

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Ал-й Л. Мисун, Ал-р Л. Мисун

**НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ
ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ АПК**

Монография

Минск
БГАТУ
2025

Мисун, Ал-й Л. Научно-методические основы повышения техносферной безопасности на объектах АПК : монография / Ал-й Л. Мисун, Ал-р Л. Мисун. – Минск : БГАТУ, 2025. – 388 с.: ил. – ISBN 978-985-25-0277-1.

В монографии проанализированы источники и виды техногенных опасностей, рассмотрены направления повышения техносферной безопасности на объектах агропромышленного комплекса. Приведены методики и алгоритмы, реализованные в разработанных компьютерных программах для определения уровня производственного риска, показателя безопасности труда оператора технических средств, изложено методическое сопровождение для оценки техногенной опасности функционирования стационарных производственных объектов и безопасной эксплуатации технических средств. Предложены авторские патентные технические решения устройств, оборудования и организационные мероприятия для повышения техносферной безопасности при эксплуатации технических средств для сельскохозяйственного производства.

Издание предназначено для научных работников, специалистов АПК, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов.

Табл. 75. Ил. 63. Библиогр.: 258 наим.

Рекомендовано к изданию научно-техническим советом
учреждения образования «Белорусский государственный
аграрный технический университет»
(протокол № 6 от 10 сентября 2024 г.)

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры технологий программирования
УО «Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой» *С. Г. Ехилевский*;
кандидат технических наук, ведущий технический специалист
ООО «ТерраЦинк» *А. Н. Скрипко*

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ (Ал-й Л. Мисун)	6
1 ТЕХНОСФЕРА КАК ЗОНА ДЕЙСТВИЯ ОПАСНОСТЕЙ ПОВЫШЕННЫХ УРОВНЕЙ (Ал-й Л. Мисун, Ал-р Л. Мисун)	8
1.1 Виды техносферы. Источники опасностей для жизни и здоровья работающих в производственной среде	8
1.2 Техносферная безопасность при обращении с отходами производства и потребления на объектах АПК	16
1.3 Анализ экологической и производственной безопасности эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники и автотранспортных средств	26
1.4 Техносферные последствия загрязнения природных вод объектами АПК	39
1.5 Воздействие энергетических установок на окружающую среду	48
1.6 Роль человеческого фактора в обеспечении безопасного функционирования эргатических систем	60
1.6.1 Влияние человеческого фактора на производственный травматизм в АПК	60
1.6.2 Профессиональный отбор как метод предупреждения ошибочных действий операторов технических средств	72
1.6.3 Меры повышения устойчивости организма к вредным условиям труда	86
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ АПК	90
2.1 Влияние функционального состояния компонент эргатической системы на техносферную безопасность сельскохозяйственного производства (Ал-й Л. Мисун, Ал-р Л. Мисун)	90
2.2 Оценка уровня загрязнения почвы как индикатора техногенного воздействия на здоровье населения (Ал-й Л. Мисун)	97

2.3 Исследование вероятности возникновения травмоопасной производственной ситуации при эксплуатации технических средств (на примере уборки кормовых культур) (Ал-р Л. Мисун)	99
2.4 Теоретическое обоснование производственной безопасности регулировочных воздействий при эксплуатации технических средств (Ал-й Л. Мисун)	112
2.5 Оценка способности оператора технического средства оперативно осуществлять управленческие воздействия при устранении его отказов (Ал-р Л. Мисун)	121
2.6 Теоретическое обоснование оценки и управления производственным риском в условиях изменения параметра состояния производственной среды агропроизводства (Ал-й Л. Мисун)	125
3 НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ	138
3.1 Метод оценки техногенной опасности объекта АПК (Ал-й Л. Мисун)	138
3.2 Метод оценки приспособленности технических средств для возделывания сельскохозяйственных культур к безопасному выполнению технологического процесса в условиях изменения параметра состояния производственной среды (Ал-й Л. Мисун)	152
3.3 Метод оценки травмоопасности при восстановлении работоспособности технического средства (на примере кормоуборочного комбайна) (Ал-р Л. Мисун)	160
3.4 Оценка условий труда на рабочем месте оператора технического средства (Ал-р Л. Мисун).	167
3.5 Подбор экспертов для оценки безопасности выполнения регулируемых воздействий при эксплуатации технических средств и устранении отказов (Ал-й Л. Мисун, Ал-р Л. Мисун) . . .	170
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	175
4.1 Обоснование потенциально опасных зон при проведении регулируемых воздействий на технические средства для уборки и послеуборочной обработки кормов и зерновых культур, обработки почвы и посевов, механизации производства корнеклубнеплодов и ягод (Ал-й Л. Мисун)	175

4.2 Исследование травмоопасности при устранении отказов технического средства (на примере кормоуборочного комбайна) (Ал-р Л. Мисун)	232
4.3 Влияние профессиональной подготовки оператора технического средства на безопасность выполнения управленческих воздействий при устранении его отказов (Ал-р Л. Мисун)	244
4.4 Взаимосвязь и взаимовлияние компонент эргатической системы на безопасность труда (на примере кормоуборочного комбайна) (Ал-р Л. Мисун)	249
4.5 Исследование безопасности эксплуатации технического средства от состояния производственной среды, режимов технологического процесса и показателя приспособленности конструкции технического средства к выполнению регулировочных воздействий (на примере механизированного ухода за клюквенным покровом промышленных чеков) (Ал-й Л. Мисун)	274
5 ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА (Ал-й Л. Мисун, Ал-р Л. Мисун)	315
5.1 Технические решения для повышения производственной, экологической и пожарной безопасности, улучшения условий труда при эксплуатации технических средств для сельскохозяйственного производства	315
5.2 Технические решения для предотвращения травмоопасной ситуации при загрузке, выгрузке и транспортировке растительной массы и сыпучих материалов, повышения обзорности управления техническим средством	349
5.3 Технические решения для повышения производственной безопасности сельскохозяйственной техники при работе на склонах, внесении пестицидов, техническом обслуживании и ремонте	354
ЗАКЛЮЧЕНИЕ (Ал-й Л. Мисун, Ал-р Л. Мисун)	359
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (Ал-й Л. Мисун, Ал-р Л. Мисун)	360

ВВЕДЕНИЕ

Создание человеком в процессе развития индустриальной цивилизации комфортной искусственной среды обитания привело к загрязнению окружающей среды, возрастанию риска аварий технических систем и природных катаклизмов.

Во многих странах произошли значительные изменения в развитии промышленности, сельского хозяйства, энергетики и транспорта, завершившиеся возникновением нового вида среды обитания человека – техносферы, региона биосферы в прошлом, преобразованного людьми с помощью прямого или косвенного воздействия технических средств в целях наилучшего соответствия своим материальным и социально-экономическим потребностям. Однако многие результаты активной техногенной деятельности человека имеют отрицательное воздействие на природную среду – загрязнение воздушного и водного бассейнов, почвы.

Подход к решению данной проблемы состоит в том, чтобы выявить основные аспекты воздействия хозяйственной деятельности человека на естественные процессы в биосфере и предотвратить их негативное влияние. Это касается и сельскохозяйственного производства, где обеспечение техносферной безопасности является важнейшей задачей.

Полностью ликвидировать вредные и опасные производственные факторы, имеющие место при производстве сельскохозяйственной продукции, практически невозможно, так как некоторые из них являются неотъемлемой частью технологического процесса. При этом для прогнозирования параметров безопасности труда необходим отказ от концепции абсолютной безопасности, так как данный подход противоречит аксиоме безопасности жизнедеятельности о потенциальной опасности всякой человеческой деятельности и неизменном присутствии остаточного риска. Сложившаяся ситуация во многом объясняется и тем, что процессы труда всегда динамичны, а технологии возделывания сельскохозяйственных культур со временем устаревают. Кроме этого, спрогнозировать результат безопасного агропроизводства не всегда представляется возможным в силу множества неопределенностей организационно-технической и социально-экономической направленности. Принятие решения и управление техносферной безопасностью на объектах

агропроизводства в таких случаях связано с производственным риском, от особенностей которого во многом зависят применяемые методы управления им.

Следует также отметить, что в последние десятилетия активно проводится работа по разработке технических устройств и оборудования для повышения техносферной безопасности агропроизводства, улучшения условий труда. Вместе с тем, с учетом усложнения систем управления современной сельскохозяйственной техникой, необходимы новые научно обоснованные подходы, способствующие обеспечению безопасной ее эксплуатации в специфических условиях изменяющейся природно-техногенной среды агропроизводства, а также ожидаемых последствий от негативного воздействия опасных и вредных производственных факторов в процессе эксплуатации технических средств.

1 ТЕХНОСФЕРА КАК ЗОНА ДЕЙСТВИЯ ОПАСНОСТЕЙ ПОВЫШЕННЫХ УРОВНЕЙ

1.1 Виды техносферы. Источники опасностей для жизни и здоровья работающих в производственной среде

В техногенном аспекте важно определить источники распространения выбросов и отходов агропроизводства, выявить их долю в общем круговороте веществ, оценить качественные и количественные изменения, происходящие в природных объектах, провести экспертную оценку воздействия различных технологий на окружающую среду и выбрать из них оптимальные. Ежегодно в мире в результате деятельности человека в атмосферу поступает 25,5 млрд т оксидов углерода, 190 млн т оксидов серы, 65 млн т оксидов азота, 1,4 млн т хлорфторуглеродов (фреонов), органические соединения свинца, углеводороды (в т. ч. канцерогенные, вызывающие онкологические заболевания) [1].

Для обеспечения одного человека необходимыми предметами жизнедеятельности используется ежегодно около 20 т природных ресурсов Земли, из них 98 % превращаются в отходы, которые рассеиваются в биосфере, загрязняя ее и нарушая эволюционно сложившиеся биогеохимические циклы [1].

В настоящее время общая мощность источников антропогенного загрязнения во многих случаях превосходит мощность естественных. Так, природные источники окиси азота выбрасывают около 30 млн т азота в год, а антропогенные – 35–50 млн т; двуокиси серы, соответственно, около 30 млн т и более 150 млн т [1]. Свинца попадает в биосферу почти в десять раз больше, чем в процессе природных загрязнений. При этом границы техногенной системы определяются зоной влияния агропредприятий на окружающую среду.

Техносферу условно можно разделить на следующие виды: производственную, транспортную, селитебную (жилую), бытовую и др., каждая из которых характеризуется техногенными опасностями. При этом абсолютным показателем негативности техносферы является сокращение продолжительности жизни.

Когда человек создавал техносферу, он стремился повысить рост коммуникабельности, улучшить на некий уровень удобство среды

своего обитания, снабдить себя защитой от всевозможных негативных воздействий естественного характера. Именно это благотворно отразилось на условиях жизни и деятельности людей и в соответствии с другими факторами положительно сказалось на продолжительности жизни. Однако городская и производственная среды по уровню безопасности находились за рамками допустимых требований. Пытаясь получить самые высокие результаты от хозяйственной деятельности, современное человечество стало использовать небииосферные источники энергии (ядерные и термоядерные), тем самым задавая высокие темпы геохимическому преобразованию природной среды. Многие процессы, вызванные деятельностью человека, оказались направленными против относительно нормального режима в биосфере. На качественное изменение среды обитания повлияли быстрые темпы роста численности населения и урбанизация, увеличение потребления энергетических и минеральных ресурсов, увеличение числа транспортных средств, химизация сельского хозяйства и быта человека, неэкологичность технологических процессов, техногенные аварии и катастрофы и др. [1].

Источниками опасностей для жизни и здоровья работающих в производственной сфере являются здания и сооружения, технологическое, подъемно-транспортное и другое оборудование. Один элемент производственной сферы может являться источником опасностей нескольких видов. Так, техногенные опасности включают потенциальные и реальные. Потенциальные опасности несут скрытую угрозу здоровью работника. Реальные – это опасности, которые в данный момент или в течение какого-либо времени негативно влияют на человека. Когда на источник опасности воздействует их инициатор, потенциальные превращаются в реальные. Одной из особенностей системы «человек–производственная среда» является то, что работник выступает в этой среде одновременно как объект негативного воздействия производственной среды и инициатор образования реальных угроз или преобразования потенциальных в реальные. Его иницирующие воздействия на источник опасности являются результатом усталости, невнимательности, непрофессионализма, умышленного или случайного нарушения правил охраны труда и других причин. Другими инициаторами угрозы являются объективные факторы природного и техногенного характера.

Проявление первичных негативных факторов (столкновение транспортных средств, обрушение конструкций, взрыв и т. д.) в чрезвычайных ситуациях может вызвать цепь вторичных негативных воздействий – пожар, загазованность, затопление помещений, разрушение систем повышенного давления, химическое, радиоактивное и бактериальное воздействие и т. п. Последствия (число травм и жертв, материальный ущерб) от действия вторичных факторов часто превышают потери от первичного воздействия, например авария на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) [2].

Большая часть негативных факторов имеет характер прямого воздействия (яды, шум, вибрация и т. п.). Но широкое распространение в последнее время получают вторичные факторы (фотохимический смог, кислотные дожди и др.), которые возникают в среде обитания из-за энергетических или химических процессов взаимодействия с компонентами биосферы или между собой первичных факторов. Уровни и масштабы воздействия негативных факторов постоянно нарастают и в ряде регионов техносферы достигли таких значений, когда человеку и природной среде угрожает опасность необратимых деструктивных изменений [1]. Под влиянием этих негативных воздействий изменяется окружающий нас мир и его восприятие человеком, происходят изменения в процессах деятельности и отдыха людей, в организме человека возникают патологические изменения и т. п. Практика показывает, что полностью устранить негативные воздействия в техносфере затруднительно. Для обеспечения защиты в условиях техносферы реально лишь ограничить воздействие негативных факторов допустимыми уровнями с учетом их одновременного действия. При этом соблюдение предельно допустимых уровней воздействия – один из основных путей обеспечения безопасности жизнедеятельности человека в условиях техносферы.

При техногенных авариях и катастрофах величины вредных факторов могут достигать чрезвычайно высоких значений. В качестве критерия безопасности техносферы используют допустимую вероятность (риск) возникновения подобных событий [1]. Обеспечить нулевой риск невозможно, поэтому используется понятие приемлемого (допустимого) риска, который представляет компромисс между уровнем безопасности и возможностями его достижения. Введение приемлемого риска направлено на защиту человека.

При возникновении техногенных аварий человеческий фактор часто является определяющим. Так, на объектах с повышенным риском из-за ошибок персонала происходит до 60 % аварий [1]. Ошибки, допускаемые человеком, реализуются при проектировании технических систем, их техническом обслуживании, неправильной организации рабочего места оператора и т. д. Все чаще причиной несчастных случаев становятся психологические качества человека. К возникновению негативных факторов в техносфере могут приводить и стихийные бедствия, которые часто сопровождаются разрушением производственных объектов, гидросооружений, транспортных магистралей, возникновением пожаров и т. п. Особую опасность представляют выбросы радиоактивных, химически опасных и других опасных веществ при разрушениях или повреждениях хранилищ, технологического оборудования на объектах атомной энергетики, химической промышленности, агропромышленного комплекса АПК.

Вплоть до шестидесятых годов двадцатого века считалось, что основное влияние на природное равновесие окружающей среды оказывают промышленность и транспорт, а возможное негативное влияние сельского хозяйства недооценивалось [3]. Сельскохозяйственное производство воздействует на естественные ресурсы разнообразно и влияет на окружающую среду как в положительном, так и в отрицательном аспектах [4]. Достижения научно-технической революции способствовали интенсификации и индустриализации сельскохозяйственного производства, внедрению новых технологий возделывания культур, созданию высокоурожайных сортов и гибридов растений, продуктивных пород животных и птиц. В Республике Беларусь величина экологически безопасного сельскохозяйственного производства составляет около 50 % от суммарных его объектов. Основными критериями производимой сельскохозяйственной продукции считаются полное удовлетворение потребностей различных категорий потребителей и ее экологическая безопасность. Сельскохозяйственное производство должно вписываться в окружающую природную среду, не вызывая нарушения природного баланса и экологического равновесия. В то же время неравномерность внесения удобрений вызывает и неравномерность почвенного плодородия и полегание посевов, что ухудшает качество урожая и затрудняет уборку. Основными причинами неравномерного внесения минеральных удобрений являются: несоблюдение правил производ-

ства работ, недостаточные технические возможности машин, неточное вождение машинно-тракторных агрегатов (МТА). Первая причина обусловлена недостаточным контролем со стороны специалистов за регулировкой и настройкой технических средств, качеством выполнения технологического процесса. Центробежные разбрасыватели имеют ряд достоинств [5], однако получить с их помощью качественное распределение минеральных удобрений затруднительно. Это зависит от различных факторов: качества удобрений (плотности, формы гранул, сыпучести, влажности и др.); скорости и направления ветра; точности установки дозы; частоты вращения дисков, угла наклона дисков; количества и формы лопаток; высоты дисков над поверхностью поля и растений; места подачи удобрений на диск (положение туконаправителя); соблюдения стыковых проходов и др. [5].

Актуальной проблемой техносферной безопасности в Республике Беларусь является обращение с непригодными и запрещенными к использованию пестицидами [6]. Применение различных групп пестицидов дает быстрый и эффективный результат, однако превышение доз и предельно допустимых концентраций ведет к накоплению их в почве, миграции по пищевым цепям, попаданию в организм человека. Пестициды используются в сельском хозяйстве для борьбы с заболеваниями растений, сорняками и насекомыми-вредителями. Хранение пестицидов требует больших затрат на оборудование специализированных площадок (полигонов, хранилищ) и систематического контроля состояния окружающей среды [1].

В настоящее время широко разрабатываются рациональные формы организации агроландшафтов, которые становятся основой сохранения и возобновления природных ресурсов, экологизации сельскохозяйственного производства, улучшения охраны окружающей среды, условий труда и жизни человека.

Многие страны на определенном этапе своего развития активно использовали осушительную мелиорацию для решения продовольственной проблемы. Быстрые приросты населения при относительно низкой продуктивности традиционных земель заставляли использовать мелиорацию новых земель для получения дополнительных объемов сельскохозяйственной продукции [3]. Но в последующем, с развитием общей культуры земледелия и особенно ростом интенсификации агропроизводства, освоение новых земель

почти прекратилось, даже наблюдается вывод прежних мелиорированных земель, особенно торфяно-болотных, из хозяйственного оборота и придание им прежнего естественного облика (заболачивание, залесение, залужение). Перспективное использование торфяных почв Беларуси определяется необходимостью сохранения и поддержания благоприятной окружающей среды и экономного расходования органического вещества для устойчивого развития сельскохозяйственного производства.

Производственные процессы в животноводческой отрасли вызвали существенное ухудшение экологической ситуации. Животноводческие предприятия являются потенциальными источниками загрязнения почвы и водоемов. Навоз, по данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), может быть фактором передачи более ста видов возбудителей болезней животных, в т. ч. опасных и для человека. Особенно опасен жидкий навоз, получаемый при бесподстилочном типе содержания животных. Патогенная микрофлора в жидком навозе благодаря высокой влажности и большому содержанию в нем аммиака и хлоридов, препятствующих размножению термофильных микроорганизмов, остается жизнеспособной длительное время. Возникли проблемные ситуации и с переработкой, обезвреживанием и использованием больших количеств навоза, в значительной степени жидкого, получаемого при бесподстилочном содержании, утилизации трупов животных [1].

В системе Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь для переработки сельскохозяйственных продуктов имеются мясо- и молокозаводы, льнокомбинаты, а также внутрихозяйственные крахмальные, консервные цеха и другие агропредприятия, производственная деятельность которых загрязняет атмосферу выбросами технологического оборудования и системами вытяжной вентиляции. В выбросах мясокомбинатов содержатся сероводород, аммиак, фенолы, кетоны, диоксид серы, оксид углерода, сажа, древесная и костная пыль. Основное вредное воздействие на загрязнение атмосферы оказывают запахи, которые распространяются на расстояние до 20 км. На предприятиях льнообработки образуются загрязненные воздушные выбросы при транспортировке, сортировке и механической обработке волокна. Льняная пыль, в основном органического происхождения, содержит обрывки волокон, шелухи, костры. Основную массу ее составляют

частицы размером до 4 мкм. Из минеральных элементов присутствуют Si, Al, Ca, Mg, Ni, Na, Fe, Sr, относящиеся к нетоксичным веществам. Нетоксичная пыль минерального и органического происхождения малоопасна, ее предельно допустимая концентрация (ПДК) составляет 2–6 мг/м³ в рабочей зоне и 0,5 мг/м³ в атмосферном воздухе [1].

Агропредприятия мясо-молочной специализации представляют опасность для водных источников. Содержание неприятно пахнущих веществ наиболее велико в технологических выбросах. Доля вредных веществ, поступающих в атмосферу с неконденсировавшейся частью паров, составляет более 50 % от общего количества выбрасываемых одорантов. С выбросами систем местной вентиляции в атмосферу поступает около 10 % массового выброса одорантов, столько же выбрасывается через оконные, дверные и технологические проемы производственных зданий. Остальная часть неприятно пахнущих веществ поступает в атмосферу с выбросами общеобменной вентиляции.

Для повышения техносферной безопасности сельскохозяйственно-го производства целесообразен переход к адаптированным технологиям, что способствует и целенаправленному наращиванию производства экологически чистой продукции растениеводства и животноводства, основанному на современных технологиях, рациональном использовании природных ресурсов и охране окружающей среды.

Для оценки влияния опасностей на человека и среду обитания используют абсолютные и относительные показатели негативности техносферы. К абсолютным показателям относят [1]:

- численность людей $T_{тр}$, пострадавших от воздействия травмирующих факторов;
- численность людей T_z , получивших профессиональные заболевания;
- сокращение продолжительности жизни (СПЖ_а) при воздействии одного или нескольких негативных факторов.

Относительные показатели используют для оценки травматизма в производственных условиях. К ним относят:

- показатель частоты травматизма K_q – число несчастных случаев, приходящихся на 1000 работающих за определенный период времени (обычно год):

$$K_q = T_{тр} \cdot 1000 / C, \quad (1.1)$$

где C – среднесписочное число работающих;

– показатель тяжести травматизма K_T – средняя длительность нетрудоспособности, приходящаяся на один несчастный случай:

$$K_T = D / T_{тр}, \quad (1.2)$$

где D – суммарное число дней нетрудоспособности по всем несчастным случаям;

– показатель нетрудоспособности – произведение показателя частоты K_n и показателя тяжести:

$$K_n = D \cdot 1000 / C. \quad (1.3)$$

Следовательно:

$$K_n = K_n K_T; \quad (1.4)$$

– показатель частоты несчастных случаев с летальным исходом $K_{л}$ – уровень принудительной смертности на производстве:

$$K_{л} = N_{л} \cdot 1000 / C, \quad (1.5)$$

где $N_{л}$ – число летальных исходов на производстве;

– показатель сокращения продолжительности жизни СПЖ при воздействии вредного фактора или их совокупности

$$СПЖ = (П - СПЖ_a / 365) / П, \quad (1.6)$$

где $П$ – средняя продолжительность жизни, лет;

– региональная младенческая смертность РМС – число смертей детей в возрасте до одного года из 1000 новорожденных;

– материальный ущерб.

1.2 Техносферная безопасность при обращении с отходами производства и потребления на объектах АПК

Агропромышленный комплекс можно рассматривать как производство, характеризующееся образованием ряда отходов и возможностью утилизации отходов других отраслей. Методология обращения с ними в сельском хозяйстве должна предусматривать минимизацию образования отходов и рациональную утилизацию их в хозяйствах, а также использование отходов других производств для стабилизации плодородия почв на основе сбалансированного содержания питательных веществ.

Все то, что производится, добывается и потребляется, рано или поздно превращается в отходы. Все образующиеся отходы делят на отходы производства и потребления, которые могут находиться в газообразном, жидком, пастообразном или твердом состоянии, представляя опасность различной степени для окружающей среды и человека.

Отходы в зависимости от токсичности химических веществ, содержащихся в них, проявляют различную степень воздействия на окружающую среду. При размещении отходов негативное воздействие их на природную среду достаточно часто сопровождается нарушением ландшафта с изменением отдельных элементов геологической среды, загрязнением воздушного бассейна, вод суши, моря, подземных вод, истощением их ресурсов и деградацией водных экосистем, а также загрязнением и деградацией почв, приводящих к истощению ресурсов растительного и животного мира. Уровень негативного воздействия отходов на природную среду оценивается степенью их токсичности, приводящей к различным степеням экологического неблагополучия в местах образования и размещения отходов. Экологическая обстановка в местах образования и размещения отходов может быть классифицирована следующим образом: относительно удовлетворительная, напряженная, критическая, кризисная и катастрофическая. В зависимости от степени экологического неблагополучия в местах образования и размещения отходов наблюдаются изменения природной среды и деградация естественных экосистем, нередко приводящие к изменению среды обитания и состояния здоровья человека.

Обращение с отходами подразумевает деятельность, связанную с их образованием, сбором, перевозкой, хранением, использованием и обезвреживанием.

Все производственные отходы различаются по классам токсичности и степени опасности (таблица 1.1). Класс токсичности определяют на основе ПДК химических веществ, содержащихся в отходах. Индекс токсичности каждого компонента твердых отходов рассчитывают по формуле (1.7), а суммарный индекс токсичности – по формуле (1.8), с помощью которого (таблица 1.1) определяют класс токсичности и соответствующую ему степень опасности отхода [1]:

$$K_i = \frac{\text{ПДК}_i}{(S + C_{\text{в}})_i}, \quad (1.7)$$

где ПДК_i – предельно допустимая концентрация токсичности вещества, содержащегося в отходе;

S – коэффициент, отражающий растворимость его в воде (величина безразмерная);

$C_{\text{в}}$ – содержание данного компонента в общей массе отходов;

i – порядковый номер данного компонента;

$$K_{\Sigma} = \frac{1}{n^2 \sum_{i=1}^n K_i}, \quad (1.8)$$

где n – выбранное число компонентов, имеющих минимальные значения K_i , причем $K_1 < K_2 < K_3$ и $2K_1 < K_3$.

Таблица 1.1

Классификация опасности отходов производства на основе ПДК химических веществ, содержащихся в них [1]

Расчетное значение K_{Σ}	Класс токсичности	Степень опасности отходов
Менее 2	I	Чрезвычайно опасные
2–6	II	Высокоопасные
16–30	III	Умеренно опасные
Более 30	IV	Малоопасные

При выращивании и уборке урожая, переработке, хранении и подготовке к продаже продуктов сельского хозяйства образуются отходы. Так, от всей массы кукурузы, выращенной для консервирования, примерно 50 % составляют полевые отходы, около 30 % – отходы обработки и менее 20 % – само зерно в консервированном виде [6]. При выкашивании риса образуется большое количество соломы, а обмолот риса дает 20 % шелухи, содержащей 18 % двуокиси кремния, трудносжигаемой и не находящей никакого применения. К отходам при производстве сельскохозяйственных культур относят также отходы урожая, главным образом это листья, стебли, обрезки, падалица и отбракованные фрукты в виде влажных отходов, жнивье и солома, скорлупа и шелуха, мешки из-под удобрений и т. п.

Большие объемы отходов образуются в животноводстве. Одна молочная ферма со 100 дойными коровами дает примерно 14 т твердых отходов в сутки. Один откормочный комплекс на 10 тыс. голов крупного рогатого скота может дать 260 т отходов в сутки [1]. Основные сведения о твердых отходах, получаемых на животноводческих фермах, приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Основные сведения о твердых отходах животноводства и птицеводства [1]

Источники отходов отраслей сельского хозяйства	Образование навоза на 1 гол. в год, т	Вид основных отходов	Состав твердых отходов
1	2	3	4
Животноводство:		Древесина, мешки из-под удобрения, навоз, туши животных, пестициды, инсектициды, фунгициды, глистогонные средства и микробиоциды	Опилки, щепа, сучья, обрезки, лигнин, органические волокна, азот, фосфор, калий, белки, жиры и сало, углеводы, аммиак и нитраты
– крупный рогатый скот	10		
– лошади	10		
– свиньи	8		

Наибольшую часть твердых отходов в животноводстве составляет навоз. Утилизируют его, как правило, путем вывоза на поля с последующей запашкой в почву. Удобрительная ценность навоза зависит от способа содержания скота и метода его удаления. Как показывает отечественный опыт, лучшей удобрительной ценностью обладают органические удобрения (навоз), получаемые при подстилочном содержании скота с механизированной системой удаления навоза по сравнению со стойловым содержанием скота и гидромеханизированной системой удаления навоза.

В животноводстве образуются отходы, относящиеся к IV классу опасности [1]. Расчет и фактические данные указывают на возможность образования в стойловый период (180 дней) 1 млн т навоза для хозяйств всех форм собственности в области. Фермы, навозохранилища, силосные ямы оказывают наибольшее негативное влияние на атмосферу, подземные и поверхностные источники. Выбросы в атмосферу от животноводства, по разным оценкам, могут составлять более 200 тыс. т в год. В их составе присутствуют аммиак, сероводород, меркаптаны, фосфиды, индол, ароматика и др.

С развитием птицеводства появились крупные птицефабрики, размещаемые, как правило, вблизи крупных городов, и занимающиеся производством яиц, переработкой птицы на мясо, воспроизводством молодняка и выращиванием кормовых культур на собственных землях. В результате хозяйственной деятельности на птицефабриках образуется достаточно большое количество твердых отходов. Например, от кур-несушек массой 2,0–2,5 кг собирают около 0,11 кг помета 70 %-й влажности ежедневно, или 30 г твердого вещества в сутки [1].

Птицеводство является одним из источников загрязнения атмосферного воздуха, подземных и грунтовых вод и почвы. Ценность же птичьего помета как удобрения, зависит от возраста птицы, способа содержания, влажности помета и других факторов. В птичьем помете содержится до 3 % N, 1,5 % P и около 1 % K [1]. Не рекомендуется размещать птичий помет вблизи жилищ, санаторно-курортных зон, кемпингов и зон рекреации в летний период. Поэтому возникает необходимость в организации мест временного хранения до того момента, когда его можно будет внести в почву. Для этого используют глубокие ямы, устраиваемые в виде резервуаров. При планировании места временного хранения отходов учитывают время хранения и ежедневное его поступление, степень распространения

запаха. Резервуар можно располагать выше или ниже поверхности земли. Чаще его размещают ниже уровня земли для более легкого заполнения. Зная предполагаемое время хранения отходов, можно установить размеры навозохранилища. Если учесть, что от 1000 кур-несушек образуется около $0,113 \text{ м}^3$ помета в сутки, то для хранения отходов от 1000 птиц в течение 5 месяцев потребуется хранилище (резервуар) вместимостью $16,8 \text{ м}^3$ отходов и вода в случае использования гидравлических способов удаления помета. С целью полного опорожнения резервуара в него перед выгрузкой заливают воду и начинают откачивать жидкую массу с понижением уровня в нем на $\frac{1}{3}$ глубины резервуара, затем оставшуюся массу размещают и через 15–30 мин ее выгружают. Сверху резервуары перекрывают бетонными плитами.

Сухой помет хранят в крытых помещениях, которые должны быть полностью изолированы, чтобы предотвратить размножение мух. Достаточно широко применяют высушенный птичий помет, используемый в качестве органического удобрения. Обезвоживают помет механическим или термическим способом [1].

Для обезвреживания отходов птицефабрик можно использовать метод аэробного компостирования, протекающего вследствие биологической активности микроорганизмов, существующих в этих отходах. При достаточном количестве воздуха преобладают аэробные типы организмов, которые, используя кислород для дыхания и метаболизма, выделяют CO_2 , H_2O и тепло. Оптимальная температура компостирования 50°C – 60°C . С увеличением температуры может произойти самовозгорание, а если температура опускается ниже указанного предела, деятельность бактерий снижается или прекращается [1].

Для выбора оптимального способа переработки отходов свиноводства важно знать, что на их физические и химические свойства влияют физиология (размер, пол, порода и активность) животных, рацион (усвояемость и содержание протеина и волокна), а также окружающая среда (температура и влажность). Добавление в пищу антибиотиков для профилактики заболеваний влияет на биологические свойства отходов [1]. Количество ежедневных отходов от свиней колеблется в зависимости от породы и возраста свиньи, метода откармливания и состава самих отходов, количества сточных вод (таблица 1.3). В среднем количество сточных вод составляет на 45 кг живой массы свиней до $3,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{сут}$, или 3,6 л/сут [1].

Таблица 1.3

Показатели отходов свиноводства [1]

Животные	Показатель		Количество отходов			
	Возраст, недель	Масса, кг	жидких и твердых		только твердых	
			м ³	л	м ³	кг
Поросята	6–9	18,1	0,002	1,7	0,001	1,1
	9–13	45,3	0,004	3,6	0,003	2,7
Свиньи:	18–23	95,2	0,008	84,0	0,006	5,6
– без подстилки	20–52	136,0	0,012	12,0	0,008	7,9
– на подстилке	52 и более	226,7	0,020	18,9	0,014	13,6
Боровы	–	–	0,015	15,1	0,014	13,6

Если вблизи свиноводческих комплексов имеются достаточные площади земельных угодий, то навоз вносят разбрасыванием. Жидкие отходы свиноводства, распределяемые по полям дозой 11–30 т/га, являются для почвы дополнительным источником питательных веществ.

Влияние органических отходов на окружающую среду и водные организмы определяют по количеству кислорода, потребляемого аэробными бактериями для биологического разрушения органических веществ (БПК), и химическому потреблению кислорода (ХПК). По БПК и ХПК устанавливают количество химически окисляемого органического вещества в отходах. В среднем БПК составляет около 0,14 кг/сут в расчете на свинью массой 45 кг, а ХПК – около 1,4 кг/сут [1].

Для сравнения влияния отходов животноводства с бытовыми отходами введен популяционный эквивалент (ПЭ), который определяют как отношение БПК в отходах, образующихся при содержании животных, и БПК в отходах, образующихся в результате жизнедеятельности людей.

Основная проблема при внесении жидкого навоза – устранение запаха, для этого к навозу перед транспортировкой добавляют специальные вещества, уменьшающие запах. Желательно разбрызгивать навоз в прохладный безветренный день. После внесения навоза почву необходимо обработать дисковым культиватором, что также уменьшает запах. Распространен способ внесения жидкого навоза

с использованием дождевальных машин, применяемых при орошении. В этом случае в местах содержания животных предусматривают системы гидронавозоудаления, резервуар-хранилище, систему гидротранспорта, дождевальные машины. Главное преимущество отходов животноводства анаэробной обработки – способность разрушать большее количество органического материала на единицу объема, чем при аэробной обработке, а также возможность в определенных условиях получать полезный продукт – метан. Газ, производимый в анаэробных автоклавах, содержит 60 %–80 % метана. Остальной газ – это двуокись углерода с небольшими количествами различных промежуточных продуктов. Место для анаэробного водоема выбирают вдали от жилых строений при условии, что преобладающие ветры не относят запах к населенным пунктам. Грунт под водоемом должен быть непроницаемым. Нельзя устраивать водоемы на песчаных почвах или известняковых формациях без специальных противοфилтpационных экранов.

По конструкции водоемы должны быть аналогичны бассейнам или навозохранилищам, используемым на фермах. Они могут иметь круглую, квадратную или прямоугольную форму в плане. Лучше делать водоемы шириной до 15 м, чтобы можно было удалять ил с помощью экскаватора либо всасывающего грунтового насоса. Поскольку для анаэробных водоемов обязательно проникновение света или свободного кислорода, они должны быть достаточно глубокими. Сток из анаэробных водоемов с отходами свиноводства в естественные водные источники не допускается. Поверхностный сток дождевых и талых вод необходимо отводить от водоема, т. к. он способствует его переполнению. Все водоемы, особенно анаэробные, с большой глубиной, огораживают. Для улучшения условий работы водоема и продления срока его эксплуатации в некоторые периоды года отходы можно разбрызгивать на сельскохозяйственные угодья, а водоем использовать только тогда, когда вывезти их на поля невозможно.

Механически аэрируемые водоемы рекомендуют выполнять круглой или вытянутой формы и глубиной 4,5–6,0 м [1]. Объем водоема определяют из расчета 0,006 м³ на 1 кг массы свиньи. Основанием водоема должны быть плотные водонепроницаемые глины, в противном случае предусматривают противοфилтpационный экран. Водоем желательно располагать вблизи свинарника, чтобы уменьшить длину

эксплуатационных трубопроводов. В процессе эксплуатации водоема необходимо поддерживать непрерывную работу аэратора.

Ядовитые газы и запахи, образующиеся при хранении отходов могут вызывать раздражение слизистых оболочек глаз, органов дыхания, а также кожных покровов как у свиней, так и у обслуживающего персонала.

При остановке вентиляции в плотно закрытом свинарнике свиньи могут погибнуть от удушья вследствие недостатка кислорода и увеличения концентрации углекислого газа или от теплового удара. Условия становятся критическими при уменьшении концентрации кислорода с 21 % (нормальная концентрация) до 10 % и менее. Свинарники должны быть оборудованы системами безопасности и предупреждения обслуживающего персонала при отказе вентиляционной системы. Нельзя входить в хранилище, которое предварительно не провентилировано, без специальной маски.

К числу отходов автотранспортных предприятий относятся как жидкие отходы, сбрасываемые в поверхностные и сточные воды (растворители, нефтепродукты, взвеси), так и твердые отходы, которые вывозят для захоронения на полигоны и свалки, передают на переработку и захоронение другим предприятиям или используют для собственных нужд. Жидкие отходы, образующиеся при выполнении технологических процессов мойки, очистки деталей, электрохимической обработки, малярных и других работ, являются основными загрязнителями сточных вод. Автотранспортными предприятиями в среднем из расчета на один автомобиль в поверхностные водоемы сбрасывается 100 кг отходов в год, в т. ч., кг: сухой остаток – 76; хлориды – 17; сульфаты – 4; взвеси – 1; остальное – 2 [1]. Образуется большое количество ила и грязи, в которых содержится много вредных примесей, в т. ч. нефтепродуктов и тяжелых металлов.

Объемы твердых отходов технологических процессов зависят от периодичности проведения регламентных работ и номенклатуры используемого оборудования. При выполнении операций обслуживания и ремонта автомобилей используются прокат металлов (прутки различного сечения, листовая сталь, фасонный прокат различных размеров, изделия из свинца, олова, меди, припой, латунные трубки), режущий инструмент, электротехнические материалы, фрикционные материалы и др. В результате механической обработки деталей, их замены, а также других видов производственной деятельности

объем твердых отходов, вывозимых с автотранспортных предприятий на захоронение и свалки, составляет на один автомобиль около 250 кг в год, в т. ч., %: смет в виде пыли – 41; отходы потребления – 19; древесные отходы и макулатура – по 16; тормозные накладки – 4; стеклобой – 3; резина (кроме шин) – 2. Объем твердых отходов, передаваемых автотранспортными предприятиями на дальнейшую обработку другим организациям, составляет на один автомобиль примерно 900 кг в год, в т. ч., %: лом черных металлов – 38; осадок очистных сооружений – 31; автопокрышки – 20; отработанные масла – 9; лом аккумуляторных батарей – 2 [1]. Часть образующихся твердых отходов используется непосредственно на предприятиях. Так, древесную стружку применяют как поглотитель при уборке разливов нефтепродуктов, серную кислоту сливают из отслуживших аккумуляторных батарей и повторно используют.

Отработанные растворы моющих средств содержат нефтепродукты и взвеси (до 5 г/л), поверхностно-активные вещества (до 0,1 г/л) и щелочные электролиты (до 20 г/л) [1]. Поскольку для восстановления деталей используются гальванические процессы, сточные воды гальванических участков содержат кислоты, щелочи, соединения хрома, соли меди, никеля, цинка и кадмия. При периодической замене моторного масла, антифриза, аккумуляторных батарей происходят залповые выбросы этих компонентов, которые сливают на землю или в канализацию, что загрязняет сточные воды. Антифриз не только загрязняет сточные воды, но и вызывает коррозию металлов. В его состав входят вода, этиленгликоль и различные присадки. Расход антифриза составляет в среднем 5 л на один автомобиль в год. Этиленгликоль является токсичным веществом и при попадании на землю вызывает гибель растительности. Отработанные антифризы следует сливать в специальные емкости и отправлять на переработку. При обезжиривании поверхностей изделий органическими растворителями, подготовке лакокрасочных материалов, их нанесении на поверхность изделия и сушке покрытия выделяются вредные вещества, причем около 4 % объема расходуемых лакокрасочных материалов попадает в сточные воды. Кроме загрязнения воздуха и воды происходит загрязнение территории предприятия твердыми отходами – отслужившими автопокрышками, аккумуляторами и демонтируемыми деталями.

Как особую проблему выделяют нефтеотходы, промасленный песок и ветошь. До настоящего времени нефтеотходы применялись для заполнения систем гидравлики в животноводстве и сельхозтехнике, но с введением системы лицензирования используемые методы не находят своего применения. Хозяйство, имеющее 0,5 т/год отработанных аккумуляторов, 0,5–2,0 т/год отработанных нефтепродуктов и 0,05–0,10 т/год промасленного песка и ветоши, с малой вероятностью будет обращаться за лицензией [1]. Более целесообразно использовать эти отходы в хозяйстве для заполнения гидросистем, розжига горнов в кузне и др.

Рациональное обращение с отходами в сельском хозяйстве предусматривает также использование отходов других производств для создания стабильных и сбалансированных агроэкосистем при минимуме затрат. Показательным является применение осадков коммунальных сточных вод (ОСВ) в качестве удобрений, что увеличивает концентрацию гумуса на 0,5 %–1,3 % в пахотном слое и способствует восстановлению плодородия почв.

Агропромышленный комплекс Республики Беларусь следует рассматривать как значительный потенциал образования отходов растительного и животного происхождения, доля которых в настоящее время составляет порядка 32,7 % (без ущерба образования галитовых отходов и глинисто-солевых шлаков) в общем объеме образования отходов. Рациональное обращение с отходами предприятий АПК в перспективе должно предусматривать широкое использование их для производства биомассы как возобновляемого источника энергии.

Кроме того, часть отходов, полученных на одной стадии производства, может быть использована в качестве исходного материала на другой стадии, если он удовлетворяет техническим требованиям и условиям его применения. Другую часть отходов утилизируют совместно с твердыми бытовыми отходами на полигонах или санкционированных свалках. Третью часть производственных отходов, относящихся к наиболее опасной категории, обезвреживают и захоранивают на специальных полигонах. При этом используются котлованы глубиной до 10–12 м, разбитые на карты-котлованы размерами в плане до 200×200 м, и штабеля высотой до 9–10 м, а для особо вредных отходов – специальная тара, которая размещается в котлованах, и железобетонные резервуары [1].

Основание полигонов должно быть водонепроницаемым, поэтому в основании карт-котлованов и штабелей обязательно устройство противифльтрационных экранов и разгрузочных дренажей, исключающих эмиссию загрязняющих веществ в окружающую среду.

В соответствии с правилами охраны окружающей среды от отходов производства и потребления – использование, обезвреживание и захоронение отходов I, II, III классов, а при необходимости и IV класса токсичности осуществляют на специализированных предприятиях или на полигонах по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов, обустроенных в соответствии со строительными нормами и правилами (СНиП). Границы территорий, отведенных для размещения опасных отходов, должны находиться на расстоянии не менее 3 тыс. м от границ городов и населенных пунктов, лесопарковых, курортных, лечебно-оздоровительных, рекреационных зон.

1.3 Анализ экологической и производственной безопасности эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники и автотранспортных средств

При эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники (МСХТ) различают следующие показатели экологической безопасности [1]:

- удельные выбросы CO, CH и NO_x в отработавших газах (ОГ) дизельных двигателей внутреннего сгорания (ДВС);
- дымность ОГ дизеля (в установившемся режиме и режиме свободного ускорения) с учетом условий эксплуатации;
- содержание CO и CH в отработавших газах карбюраторных ДВС;
- содержание CO и CH в ОГ газобаллонных ДВС;
- утечки газа из систем питания газобаллонных ДВС машин;
- содержание CO в воздухе рабочей зоны оператора трактора или сельскохозяйственной машины (герметичность кабины);
- утечки моторного, трансмиссионного и гидравлического масла, дизтоплива, охлаждающей жидкости;

- выбросы (утечки) отработавших газов помимо выхлопной трубы трактора или сельскохозяйственной машины;
- шум внешний и внутренний (в кабине водителя), создаваемый трактором (сельскохозяйственной машиной);
- вибрации на рулевом колесе и на сиденье оператора трактора (машины);
- удельное давление на почву движителей машины.

По воздействию на организм человека компоненты выбросов ДВС в атмосферу подразделяют:

- на токсичные (CO , NO_x , SO_2 , C_xH_y , свинцовые соединения);
- канцерогенные ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}$);
- раздражающего действия (акролеин, формальдегид, SO_2 , C_xH_y);
- надоедающие (C_xH_y , сажа, пары масел).

Для выявления причин образования вредных веществ в ОГ необходимо знать принципиальное устройство ДВС и происходящие в них процессы.

В процессе окисления (сгорания) топлива в ДВС образуются нетоксичные компоненты (водяной пар и диоксид углерода) и описанные ранее токсичные вещества, являющиеся продуктами неполного сгорания (оксид углерода) или побочных реакций, протекающих при высоких температурах (оксиды азота), а некоторые содержатся в топливе и при работе двигателя выбрасываются с ОГ (тетраэтилсвинец). Образование токсичных веществ зависит от способа смесеобразования и условий сгорания топливовоздушной смеси, поэтому различается содержание токсичных веществ в выбросах бензиновых двигателей и дизелей (таблица 1.4).

Таблица 1.4

Токсичные компоненты, выделяющиеся при сжигании 1 кг топлива в двигателях внутреннего сгорания [1]

Основные компоненты	Карбюраторный двигатель		Дизель	
	Масса, г	Относительное содержание, %	Масса, г	Относительное содержание, %
1	2	3	4	5
Оксид углерода	225	73,8	25	25,5
Оксид азота	55	18,1	38	38,8

Основные компоненты	Карбюраторный двигатель		Дизель	
	Масса, г	Относительное содержание, %	Масса, г	Относительное содержание, %
Углеводороды	20	6,6	8	8,2
Оксид серы	2	0,7	21	21,4
Альдегиды	1	0,3	1	1,0
Сажа	1,5	0,5	5	5,1
Итого	304,5	100	98	100

Прежде всего на работу ДВС влияет состав горючей смеси, для оценки которого используют коэффициент избытка воздуха:

$$\alpha = L_d / L_t, \quad (1.9)$$

где L_d – масса воздуха, действительно участвующего в процессе сгорания топлива;

L_t – масса воздуха, теоретически необходимого для сгорания топлива.

Различают следующие составы горючей смеси:

– нормальная смесь, $L_d = L_t$ ($\alpha = 1$). Например, для сгорания 1 кг бензина необходимо около 15 кг воздуха. Двигатель, работающий на нормальной смеси, развивает мощность, близкую к максимальной, а удельный расход топлива незначительно больше минимального;

– обедненная смесь, $L_d > L_t$ ($\alpha = 1,05–1,15$). В этом случае на 1 кг бензина приходится более 15 кг, но не свыше 16,5 кг воздуха. При работе на такой смеси мощность ДВС несколько снижается, поскольку скорость сгорания смеси замедляется, но экономичность двигателя возрастает;

– бедная смесь, $L_d > L_t$ ($\alpha = 1,2$). На 1 кг бензина приходится свыше 16,5 кг воздуха. Работа ДВС на этой смеси сопровождается резким падением мощности и возрастанием удельного расхода топлива. Смесь со значением коэффициента избытка воздуха $\alpha > 1,3$ в цилиндре не воспламеняется;

– обогащенная смесь, $L_d < L_t$ ($\alpha = 0,8–0,9$). На 1 кг бензина тратится менее 15 кг, но не менее 13 кг воздуха. В этом случае ДВС

развивает максимальную мощность, поскольку скорость сгорания увеличивается, но экономичность двигателя ухудшается;

– богатая смесь, $L_d < L_t$ ($\alpha = 0,6–0,8$). На 1 кг бензина приходится менее 13 кг воздуха. Работа на такой смеси вызывает падение мощности ДВС и значительное ухудшение экономичности. Смесь со значением коэффициента избытка воздуха $\alpha < 0,5$ в цилиндре не воспламеняется.

В зависимости от режима работы бензинового ДВС коэффициент α может изменяться в пределах 0,60–1,15. Внешним признаком работы ДВС на бедной смеси служат вспышки (выстрелы) в карбюраторе, а на богатой смеси то же явление, но в выпускной трубе.

Дизель работает с коэффициентом $\alpha = 1,20–1,65$, что объясняется менее благоприятными условиями смесеобразования из-за отсутствия специального устройства для смешивания топлива с воздухом вне цилиндра. В дизелях время, отводимое на смесеобразование, в 20–30 раз меньше, чем у карбюраторных ДВС.

Работа бензиновых ДВС происходит на обогащенных смесях, поэтому причиной образования в ОГ оксида углерода является недостаток кислорода. Также из-за недостатка кислорода в ОГ поступают частицы газообразного топлива (C_xH_y). Однако если в смеси будет избыток кислорода (обедненная), произойдет образование оксидов. Максимальное их количество образуется при высоких частотах вращения коленчатого вала бензиновых ДВС. При малых частотах вращения и холостом ходе количество оксидов азота резко сокращается, но возрастает выброс CO и C_xH_y .

В ОГ дизелей концентрации CO и C_xH_y наиболее высоки при полной нагрузке. При переходе на режим холостого хода или при уменьшении нагрузки они несколько уменьшаются за счет снижения температуры сгорания топлива.

Основой всех правовых, организационных и технических систем по снижению производственного шума являются допустимые уровни на рабочих местах [7]. Согласно нормативам внешний шум автотранспортных средств, служащий одним из показателей производственной безопасности, не должен превышать установленной величины на расстоянии 7,5 м от их оси перпендикулярно направлению движения. Шумовое воздействие автотранспортных средств в составе транспортных потоков отличается от влияния на окружающую среду одиночного автомобиля, поскольку здесь имеет

место сложение шумов. Однако уровни шума, выраженные в децибелах, складывать арифметически нельзя, в данном случае общий уровень шума определяется по закону энергетического суммирования. Например, суммарный уровень шума L_{Σ} , дБ (дБА), нескольких одинаковых источников вычисляют по формуле

$$L_{\Sigma} = L_1 + 10 \lg n, \quad (1.10)$$

где L_1 – уровень шума одного источника, дБ (дБА);

n – число источников.

При одновременном воздействии двух источников с разным уровнем шума его суммарный уровень

$$L_{\Sigma} = L_a + \Delta L, \quad (1.11)$$

где L_a – наибольший из двух суммируемых уровней шума, дБ (дБА);

ΔL – добавляемая величина, зависящая от разности уровней шума источников, дБ (дБА).

Из приведенных зависимостей следует, что если уровень шума одного источника выше уровня другого на 8–10 дБ (дБА), то суммарный уровень шума будет незначительно превышать уровень шума более интенсивного источника.

Источниками звуков и шумов являются колеблющиеся твердые, жидкие и газообразные тела. Колебания (вибрации) механизмов и машин возникают под действием периодических или случайных возмущающих сил. Периодические вибрации возникают, когда объект содержит вращающиеся или возвратно-поступательно движущиеся части. В ДВС такими частями являются кривошипно-шатунный механизм и механизм газораспределения, топливopодводящая аппаратура и др. Вибрации ДВС возбуждают колебания всего автомобиля, который содержит и другие возбудители периодических колебаний, в частности элементы трансмиссии.

Существенный вклад в шумовое воздействие автомобиля вносят системы впуска и выпуска, система охлаждения ДВС и работа вентиляторов, компрессоров, электрических генераторов. Система впуска излучает акустические колебания в диапазоне частот 50–800 Гц

с уровнем до 108–110 дБА. В случае применения турбонаддува его аэродинамический шум, достигающий 135 дБА, может значительно превышать шум других агрегатов ДВС.

Характер вибрации и шума трансмиссии автомобиля определяется конструктивными особенностями, частотой вращения и нагрузкой валов и зубчатых зацеплений, наличием и параметрами изгибных и крутильных колебаний, величинами остаточных дисбалансов. Уровни шума трансмиссий оцениваются в 75–80 дБА и располагаются в диапазоне частот 400–5000 Гц.

У мощных автомобилей средний уровень звуковой энергии, излучаемой коробкой передач, может достигать 103–106 дБА, что обусловлено взаимодействием зубьев шестерен. Прежде всего речь идет о зубьях с эвольвентным профилем, который при контакте шестерен теоретически должен обеспечить обкатывание одного зуба по поверхности смежного без удара и без скольжения. Для обеспечения крутящего момента и необходимой прочности зуба выбираются его модуль и ширина. При этом предполагается, что контакт происходит по всей ширине зуба и «пятно контакта» теоретически должно занимать всю ширину зуба при соответствующей его высоте. Только при выполнении этого условия может быть обеспечен расчетный коэффициент полезного действия передачи.

Шум значительно возрастает, если стенки корпуса передачи выполнены недостаточно жесткими, а при работе под нагрузкой корпус деформируется. В результате искажений в зацеплении зачастую возникает пульсирующее схождение и расхождение смежных зубьев за один оборот шестерен, что служит причиной «завывания» передачи в процессе ее работы под нагрузкой.

Еще одним источником внешнего шума автомобиля является качение шин, значимость которого проявляется при скоростях движения свыше 70 км/ч. Основное влияние на формирование шума оказывают:

- конструктивные параметры шин, их материал и рисунок протектора;
- скорость движения машины;
- нагрузка на шину;
- состояние протектора (новый, изношенный, восстановленный);
- давление воздуха в шине;
- состояние и профиль дорожного полотна.

Шум, излучаемый шинами при свободном движении автомобиля по асфальтированному шоссе, составляет 62–80 дБА при скоростях от 50 до 110 км/ч, а основные составляющие спектра находятся в диапазоне частот 100–1500 Гц.

Практически все топливо, сгоревшее в цилиндрах ДВС, превращается в теплоту. На номинальном режиме работы ДВС количество теплоты на единицу эффективной мощности в час составляет для карбюраторного двигателя 11,9–16,8 МДж/(кВт·ч), для дизелей – 8,7–11,9 МДж/(кВт·ч). Если учесть, что общая мощность работающих в настоящее время ДВС более чем в пять раз превышает мощность всех электростанций страны, можно оценить, какое количество теплоты поступает в окружающую среду. Наряду с тепловыми выбросами других источников это способствует образованию над населенными пунктами «островов теплоты», где в ночное время температура воздуха может на 10 °С превышать температуру в ближайших пригородах.

Тепловые выбросы ДВС автомобилей влияют на теплонапряженность кабины водителя и ее микроклимат [1]. При наличии ДВС с жидкостным охлаждением поток горячего воздуха от ее радиатора направлен, как правило, вдоль автомобиля в сторону кабины. В результате средняя температура стенки кабины со стороны моторного отсека может превышать температуру наружного воздуха на 25 °С, а у переднего стекла – на 13 °С – 16 °С. Указанное обстоятельство обуславливает дополнительную нагрузку на систему нормализации микроклимата в кабине, вследствие чего холодопроизводительность должна быть соответственно увеличена. Поскольку в теплый период года для нормализации микроклимата в кабинах автомобилей широко применяются зарубежные хладоновые (фреоновые) кондиционеры, привод которых осуществляется от ДВС объекта его использования, то это вызывает дополнительные затраты мощности, а следовательно, и дополнительный расход горючего, что связано с увеличением выбросов вредных веществ с ОГ. Механическая мощность N_o , потребляемая на привод кондиционера, зависит от его холодопроизводительности Q_o . Оценка уровня совершенства кондиционера по отношению к потребляемой им мощности производится с помощью холодильного коэффициента:

$$\eta_o = Q_o / N_o. \quad (1.12)$$

Величина холодильного коэффициента η_0 кондиционеров автомобилей составляет 0,9–1,4 при продувке конденсатора кондиционера наружным воздухом в случае его монтажа перед радиатором охлаждения ДВС. Более высокое значение η_0 характерно для режима работы кондиционера и автомобиля в целом, если осуществляется достаточно интенсивный отвод теплоты от конденсатора, что имеет место, например, при движении автомобиля по загородной автодорожке с относительно большой скоростью, когда набегающий поток воздуха хорошо продувает и конденсатор, и радиатор системы охлаждения ДВС. В этих условиях на свободной автомагистрали температура воздуха не подвержена аномалии из-за теплового воздействия ДВС. Иная ситуация складывается при движении автомобиля в городских транспортных потоках. Здесь из-за возросшей температуры окружающего воздуха (тепловое воздействие множества автомобилей) и в связи с ухудшением режима обдува конденсатора кондиционера эффективность его работы падает, что и обуславливает снижение величины η_0 до минимума. Следовательно, требуется дополнительный расход энергии на функционирование кондиционера даже без учета необходимости некоторого увеличения его холодопроизводительности из-за возросшей тепловой нагрузки при изменении внешней температуры.

Холодопроизводительность кондиционера автомобиля зависит не только от окружающей температуры и требуемой температуры воздуха на рабочем месте водителя, но и от объема кабины. Чем больше кабина, тем значительнее притоки теплоты, что и обуславливает возрастание холодопроизводительности кондиционера. Поскольку такие автотранспортные средства, как грузовые автомобили различной грузоподъемности, тракторы, строительные дорожные и другие тяжелые машины, имеют различный объем кабин (от 1,5 до 4 м³), то созданы кондиционеры холодопроизводительностью 2,3–7,3 кВт с учетом специфики эксплуатации этих машин [1]. У большегрузного автомобиля с объемом кабины 4 м³ при условно постоянной холодопроизводительности кондиционера $Q_0 = 7,3$ кВт изменение энергозатрат на его привод оценивается по преобразованному выражению

$$N_0 = Q_0 / \eta_0. \quad (1.13)$$

При $\eta_0 = 1,4$ значение $N_0 = 5,2$ кВт, а при $\eta_0 = 0,9$ величина $N_0 = 8,1$ кВт. Следовательно, энергозатраты на привод кондиционера возрастают по крайней мере на 2,9 кВт, что существенно сказывается на увеличении вредных выбросов с ОГ. Таким образом, эксплуатация автомобилей с кондиционером не только вызывает рост тепловых выбросов ДВС, но и негативно влияет на выбросы ОГ.

От состояния почв, качества и площади зеленого покрова Земли зависят продуктивность биосферы и состояние атмосферы, поскольку в процессе фотосинтеза, важного звена в цепочке жизнеобеспечения биосферы, происходят постоянный круговорот и обновление диоксида углерода, кислорода и воды, являющихся ключевыми компонентами атмосферы. В настоящее время под сельскохозяйственные культуры используется около десяти процентов всей суши.

Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур предусматривают многократные проходы техники по полю. Вследствие этого площади полей подвергаются за сезон двух-четырёхкратному воздействию ходовых систем технических средств, а отдельные участки поля – восьми-шестнадцатикратному [1]. Увеличение давления на почву и числа проходов движителей ходовых систем сельскохозяйственной техники по полю поставили перед земледелием серьёзную проблему переуплотнения почв, которая с каждым годом становится все острее. Причем переуплотнение почв происходит не только в пахотном, но и в подпахотном горизонтах (на глубину 0,6–1,0 м) с сохранением этого негативного последствия в течение ряда лет. В результате корневая система растений формируется в пределах почвообрабатываемого слоя (25–30 см), содержание влаги в котором неустойчиво, что в значительной мере отражается на стабильности урожая выращиваемых культур. Поскольку максимальная глубина обработки почвы в растениеводстве в основном не превышает 30 см, процесс снижения эффективности плодородия почвы под воздействием многократного уплотнения ходовой частью машин носит кумулятивный (сосредоточенный) характер. Урожайность сельскохозяйственных культур снижается от 5,1 % при одно-двукратном уплотнении в первый год и до 18 % на четвертый год после четырех-восьмикратного суммарного уплотняющего воздействия.

Последствия уплотнения почвы движителями МСХТ определяются характеристиками почвы во время воздействия и, главным образом, максимальным контактным давлением. При воздействии движителя с максимальным контактным давлением 125,5 кПа физические свойства почвы практически восстанавливаются через год в результате саморазуплотнения почвы и проводимых обработок. При максимальном контактном давлении 183–205 кПа существенное остаточное уплотнение в пахотном слое сохраняется в течение двух лет. Связано это с тем, что высокое контактное давление деформирует структуру почвы, отдельные ее агрегаты, пористость которых не восстанавливается обработкой почвы и ее рыхлением [1]. Проблема переуплотнения почвы машинно-тракторными агрегатами в последние десятилетия выдвинулась на одно из первых мест в ряду антропогенных воздействий на природную среду. Переуплотнение ведет к усилению основного антропогенного фактора деградации почв и ландшафтов – водной и ветровой эрозии.

Воздействие на окружающую среду при эксплуатации автомобиля сказывается не только токсическими веществами отработавших газов, сажей, парами топлива, но и продуктами износа деталей автомобиля, фрикционных материалов (накладки тормозов, дисков сцепления – источники асбестосодержащих пылей), дорожного покрытия и шин при их взаимном трении (покрытие зимой изнашивается на толщину до 6 мм, а летом – до 2 мм, а износ шин на 1 км дороги при интенсивности движения 5000 автомобилей в час составляет 250 кг/год). Выброс резиновой пыли при эксплуатации легковых автомобилей оценивается в 1,35, грузовых – в 17,1, автобусов – в 53,2 кг в год на одну транспортную единицу, а асбестосодержащей пыли (до 30 % асбеста) от износа тормозных накладок – 0,8–1,5 кг в год на автомобиль. Ремонтные работы по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей ведутся на производственных участках, технологическое оборудование которых – станки, средства механизации и котельные установки – представляет собой стационарные источники выделения загрязняющих веществ (таблица 1.5).

Таблица 1.5

Источники выделения вредных веществ в производственных процессах автотранспортных предприятий [1]

Зона, участок, отделение	Производственный процесс	Используемое оборудование	Выделяемые вредные вещества
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1. Участок мойки подвижного состава	Мойка наружных поверхностей	Механическая (моечные машины), шланговая мойка	Пыль, щелочи, поверхностно-активные синтетические вещества, растворенные кислоты, фенолы
2. Зона технического обслуживания участка диагностики	Техническое обслуживание	Подъемно-транспортные устройства, осмотровые канавы, стенды, оборудование для замены смазки и комплектующих, система вытяжной вентиляции	Оксид углерода, углеводороды, оксид азота, масляный туман, сажа, пыль
3. Слесарно-механический участок	Слесарные, расточные, сверлильные, строгальные работы	Токарные, вертикально-сверлильные, фрезерные, шлифовальные и другие станки	Абразивная и металлическая пыль, масляный туман, эмульсия

Продолжение таблицы 1.5

Зона, участок, отделение	Производственный процесс	Используемое оборудование	Выделяемые вредные вещества
4. Электротехнический участок	Заточные, изолированные, обмоточные работы	Заточные станки, электролудильные ванны, оборудование для пайки, стенды испытаний	Абразивная и асбестовая пыль, канифоль, пары кислот
5. Аккумуляторный участок	Сборочно-разборочные и зарядные работы	Ванны для промывки и очистки, сварочное оборудование, стеллажи, система вытяжной вентиляции	Промывочные растворы, пары кислот, электролит, шламы, щелочные аэрозоли
6. Участок топливной аппаратуры	Регулировочные и ремонтные работы топливной аппаратуры	Проверочные стенды, специальная оснастка, система вытяжной вентиляции	Бензин, керосин, дизельное топливо, ацетон, бензол
7. Кузнечно-рессорный участок	Ковка, закалка, отпуск металлических изделий	Кузнечный горн, термические ванны, система вытяжной вентиляции	Угольная пыль, сажа, оксиды углерода, азота, серы, загрязненные сточные воды

Продолжение таблицы 1.5

Зона, участок, отделение	Производственный процесс	Используемое оборудование	Выделяемые вредные вещества
8. Медницко-жестяницкий участок	Резка, пайка, правка, формовка по шаблонам	Ножницы по металлу, оборудование для пайки, шаблоны, система вытяжной вентиляции	Пары кислот, третник, наждачная и металлическая пыль, стружка и другие отходы
9. Сварочный участок	Электродуговая и газовая сварка	Оборудование для электродуговой сварки, ацетиленовый генератор, система вытяжной вентиляции	Минеральная пыль, сварочный аэрозоль, оксиды марганца, азота, хрома, хлорид водорода, фториды
10. Арматурный участок	Резка стекол, ремонт дверей, полов, сидений, внутренней отделки	Электрический и ручной инструмент, сварочное оборудование	Пыль, сварочный аэрозоль, древесная и металлическая стружка, металлические и пластмассовые отходы
11. Обойный участок	Ремонт и замена изношенных и поврежденных сидений, полок и др.	Швейные машины, раскройные столы, ножи для кроя и резки поролона	Минеральная и органическая пыль, отходы тканей и синтетических материалов

Зона, участок, отделение	Производственный процесс	Используемое оборудование	Выделяемые вредные вещества
12. Участок шиномонтажа и ремонт шин	Разборка, сборка, ремонт шин	Стенды для разборки и сборки шин, оборудование для вулканизации, станки для динамической и статической балансировки	Минеральная и резиновая пыль, диоксид серы (сернистый ангидрид), пары бензина

Интенсивное загрязнение сточных вод взвешенными веществами и нефтепродуктами происходит в результате очистки и обезжиривания поверхностей деталей и узлов автомобилей с помощью щелочных и кислотных растворов, синтетических моющих средств, скипидара, жиров, формальдегида. Вместе с тем максимум загрязнений сточных вод связан с мойкой автомобилей.

1.4 Техносферные последствия загрязнения природных вод объектами АПК

Исследованиями ВОЗ установлено, что вода в водоеме считается загрязняющей, если при изменении ее состава или состояния она становится менее пригодной для различных видов водопользования, в то время как в природном состоянии она соответствовала бы предъявляемым требованиям. Такая формулировка касается физических, химических и биологических свойств, а также наличия в воде посторонних жидких, газообразных, твердых и растворимых веществ.

Высокий рост водопотребления по самым различным направлениям является характерной чертой XXI в. Так, затраты огромного количества воды в земледелии связаны с необходимостью обеспечения продуктами все возрастающее население Земли. Чтобы произвести 1 кг растительной массы, различные растения вынуждены

расходовать на транспортицию от 150–200 до 800–1000 м³ воды. В вегетационный период 1 га площади, занятый кукурузой, испаряет 2–3 млн т воды; для выращивания 1 т пшеницы, риса или хлопка требуется порядка 1500, 4000 и 10 000 т воды соответственно. Для производства 1 кг молока необходимы затраты 4 т воды, а 1 кг мяса – 26 т.

Сельскохозяйственные стоки содержат частицы почвы, биогены, входящие в состав удобрений, пестициды, помет сельскохозяйственных животных и ассоциированные к ним бактерии, остатки нефтепродуктов и др. Высокой концентрацией растворенных и нерастворенных загрязняющих веществ отличаются сточные воды животноводческих комплексов. Например, 5 тыс. м³ высококонцентрированных сточных вод сбрасывается в год из свиноводческих комплексов на 116 тыс. свиней. Эти биогенные соединения, попадая в реки, а затем в озера и водохранилища, концентрируются там до токсичных условий (таблица 1.6).

Таблица 1.6

Классификация сточных вод по их воздействию на водоемы [1]

Группа	Характер примесей	Характер действия примесей на водоемы и водные организмы	Источник сточных вод
1	Неорганические со специфическими токсическими свойствами	Изменение органолептических и физико-химических свойств воды, отравление водных организмов, жаберные заболевания рыб и т. д.	Производства химической промышленности, электрохимические производства, тепловые электрические станции и др.
2	Неорганические без специфических токсических свойств	Содержат взвешенные вещества	Производство керамической, силикатной промышленности, углеобогащательные фабрики, тепловые электрические станции и др.

Группа	Характер примесей	Характер действия примесей на водоемы и водные организмы	Источник сточных вод
3	Органические со специфическими свойствами	Отравляют водные организмы, ухудшают качество воды, создают дефицит кислорода	Химические и нефтехимические производства, тепловые электрические станции и др.
4	Органические без специфических токсических свойств	Создают дефицит кислорода	Пищевая, перерабатывающая промышленность животноводческого и свиноводческого комплексов, тепловые электрические станции и др.

По химическому характеру примеси сточных вод разделяются на газовые, минеральные и органические. В таблице 1.6 представлена классификация сточных вод по их действию на водоемы.

Ингредиенты сточных вод после мойки машинно-тракторных агрегатов и других передвижных источников разнообразны и зависят от характера загрязнений на поверхностях машин: почвенно-растительными остатками, нефтепродуктами, ядохимикатами, органическими и минеральными удобрениями. Наиболее распространенным ингредиентом сточных вод, образующихся после мойки техники, являются взвешенные минеральные вещества и нефтепродукты. Способы и эффективность их удаления определяются фракционным составом частиц. Наличие в сточной воде значительного количества частиц диаметром более 100 мкм указывает на целесообразность использования метода отстаивания. Высокая концентрация полидисперсных взвешенных частиц нефтепродуктов способствует образованию эмульгированных нефтепродуктов,

способных создавать в воде устойчивые эмульсии, практически неотделимые при безреагентном отстаивании. Фактором, обуславливающим процесс разделения эмульсий, является наличие эмульгаторов, которые можно разделить на поверхностно-активные, растворимые, нерастворимые (твердые эмульгаторы).

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) содержатся в нефтепродуктах и синтетических моющих средствах, применяемых для мойки машин (щелочные соли, полифосфаты). Они уменьшают поверхностное натяжение на границе раздела фаз и образуют сольватную прослойку, препятствующую сближению капель нефтепродуктов.

Твердые минеральные удобрения, являющиеся источником загрязнения сточных вод, из-за повышенной плотности и размеров частиц способны быстро оседать, а относительно небольшая их растворимость в воде обеспечивает равномерное насыщение всего объема воды электролитами. Минеральные удобрения, будучи солями различных кислот, являются коррозионно-активными компонентами сточных вод.

К числу токсичных и инфицированных ингредиентов сточных вод относятся остатки навоза. Их наличие вызывает сильную загрязненность воды органическими веществами, патогенными бактериями, вирусами, яйцами гельминтов и аскарид. Конечные продукты окисления – метан, органические кислоты, сероводород, аммиак и другие соединения, являющиеся источниками загрязнений не только водной, но и воздушной сред. Обеззараживание и очистка таких стоков затруднена из-за того, что возбудители заболеваний, яйца гельминтов и аскарид окружены защитной оболочкой и вследствие этого медленно погибают.

К токсичным ингредиентам сточных вод относятся агрохимикаты. Различают хлорорганические, фосфорорганические и ртутноорганические ядохимикаты. Хлорорганические соединения, попадая в отстойник, сорбируются взвешенными веществами и осаждаются вместе с ними на дно. Фосфорорганические соединения быстро разлагаются в сточной воде, поэтому методы сорбции неприемлемы. В сточных водах после мойки зерновых сеялок содержатся в виде коллоидных растворов ртутноорганические соединения (РОС). При отсутствии эффективных очистных сооружений рассмотренные ингредиенты сточных вод становятся опасным источником загрязнения окружающей среды.

Сточные воды условно можно разделить на четыре категории:

- загрязненные почвенно-растительными остатками;
- загрязненные нефтепродуктами;
- контактируемые с минеральными удобрениями;
- контактируемые с пестицидами.

В санитарном отношении сточные воды, относящиеся к первой и второй категориям, не содержат патогенных бактерий и вирусов, что позволяет использовать их в оборотных системах водоснабжения. Сточные воды, относящиеся к третьей категории, могут использоваться в оборотной системе при условии ограниченного коррозионного влияния удобрений на оборотную среду.

Сточные воды четвертой категории отводятся и очищаются отдельно от воды, предназначенной для оборотного водоснабжения.

После мойки оборудования животноводческих комплексов в сточных водах содержатся органические вещества и бактерии. В целях снижения загрязнения окружающей среды рекомендуется обеззараживать стоки и использовать осветленную их часть на технологические нужды. Необходимо, чтобы сточные воды не попадали в водоемы, представляющие собой сложные экосистемы, формировавшиеся в течение длительного времени эволюции. В них постоянно идет процесс адаптации биоценоза к изменяющимся условиям существования, в т. ч. и к изменению состава примесей. Состояние равновесия может быть нарушено по многим причинам, но особенно в результате сброса сточных вод. Отклонение экосистемы от равновесного состояния, вызванное сбросом сточных вод, может привести к отравлению и гибели определенных популяций гидробионтов, угнетению всего биоценоза. Отклонение от равновесия отрицательно сказывается на процессах самоочищения, приводящих водоем в оптимальное (равновесное) для него состояние. Важнейшие из них: осаждение грубодисперсных и коагуляция коллоидных примесей; окисление (минерализация) органических примесей; окисление минеральных примесей кислородом; нейтрализация кислот и оснований; гидролиз ионов тяжелых металлов, приводящий к образованию их малорастворимых гидроксидов и выделению их из воды. Санитарные и гигиенические требования к количественному составу сточных вод с почв наружной очистки сельскохозяйственной техники приведены в таблицах 1.7–1.8.

Таблица 1.7

Санитарные требования к качественному составу сточных вод с постов наружной мойки сельскохозяйственных машин [1]

Показатели качества воды	Санитарные требования		
	к воде водоемов	к сточным водам, сбрасываемым в канализацию	к сточным водам, используемым для оборотного водоснабжения
Взвешенные вещества, мг/л	4–10	500	70
Нефтепродукты, г/л	0,05; 0,10; 0,30 (в зависимости от назначения водоема)	25	20
Тетраэтилсвинец, мг/л	–	–	0,0001
Ядохимикаты, мг/л	0,002; 0,500	–	–
Поверхностно-активные вещества, мг/л	Анионактивные – 0,05; 0,50; неионогенные – 0,05; 0,11	20 20	Не нормируются Не нормируются
Реакция воды, pH	6,5–8,5	6,5–8,5	7,1–8,5

Таблица 1.8

Гигиенические требования качества очистки сточных вод (критерий для закрытых систем технического водоснабжения) [1]

Показатели	Допустимые уровни
Взвешенные вещества, мг/л	3,0
БПК ₅ , мг/л	5,0
ХПК, мг/л	50,0
Коли-индекс	1000

Примечание: БПК, ХПК – биохимическое и химическое потребление кислорода.

Процессы самоочищения зависят и от температуры воды, состава примесей, концентрации кислорода, ее рН, концентрации вредных примесей, затрудняющих протекание процессов самоочищения водоемов или препятствующих им. Особенно значим в процессах самоочищения кислородный режим водоемов. Расход кислорода на минерализацию органических веществ определяется через биохимическое потребление кислорода (БПК), которое выражается количеством O_2 , использованного в биохимических (при помощи бактерий) процессах окисления органических веществ за определенное время инкубации пробы. Пользуются или пятисуточной ($БПК_5$), или полной ($БПК_n$) биохимической потребностью кислорода. При большом сбросе органических веществ наступает дефицит кислорода, дестабилизируется биоценоз, развивается анаэробная (бескислородная) минерализация органических веществ, что вызывает значительное ухудшение качества воды. Для сохранения самоочищающей способности воды необходимо более чем десятикратное разбавление стоков чистой водой. Согласно расчетам, на обеззараживание сточных вод в настоящее время расходуется одна седьмая часть мировых ресурсов речного стока. Если сброс сточных вод будет возрастать, то в ближайшее десятилетие для этой цели потребуются расходовать все мировые ресурсы речного стока.

Нарушение и даже разрушение биоценоза в водоеме возможно при значительном сбросе в него органических веществ, не относящихся к вредным или ядовитым веществам. Столь же тяжелые экологические последствия наступают в водоеме при сбросе в него веществ, необходимых для существования живых организмов: соединения (соли) фосфата, азота, калия, кальция, серы, магния. Биогены в увеличивающихся объемах поступают в гидросферу из всех названных источников, но особенно из стоков сельскохозяйственного производства.

Попадая в водоемы и водостоки, биогены вызывают бурный рост фитопланктона – множества видов водорослей, представляющих собой отдельные клетки. Вместе с частицами почвы, выносимыми в водоемы из-за эрозии почв, фитопланктон препятствует прохождению солнечного света в толщу воды, вследствие чего нарушаются процессы фотосинтеза водных растений, погруженных в воду. В результате резко уменьшается поступление кислорода, производимого растениями при фотосинтезе: рыбы и другие обитатели

водоемов задыхаются и гибнут. Вещество этих частиц не отнесено к разряду химически вредных, но они уменьшают прохождение света в толщу воды, засоряют жабры и пищедобывающие органы, обволакивают икринки рыб и других водных организмов. Какие из перечисленных источников загрязнения гидросферы наиболее опасны в этом отношении, определяется соотношением населенных пунктов и сельскохозяйственных предприятий.

Сельскохозяйственные стоки не только вызывают эвтрофикацию и обеднение воды кислородом, но и создают угрозу инфекционных заболеваний. Люди и животные, зараженные болезнетворными бактериями, вирусами и другими паразитами, могут выделять в стоки большое количество таких патогенов или их яиц. Именно по этой причине случались опустошительные эпидемии холеры, брюшного тифа. Особую опасность для гидросферы несут агрохимикаты, загрязняющие как грунтовые воды, так и водоемы. Агрохимикаты опасны в связи с их способностью накапливаться в организмах (биоаккумуляция) и с возможностью биоконцентрирования.

Обеспечение населения доброкачественной питьевой водой позволяет решить следующие проблемы [1]:

- предупредить роль воды как фактора передачи и последующего возникновения инфекционных заболеваний;
- предупредить этиологическую роль воды в возникновении заболеваний, связанных с избыточным или недостаточным поступлением в организм химических веществ, обладающих аллергенным, канцерогенным, токсическим и иным действием;
- исключить роль воды в возникновении нервно-психических перегрузок, связанных с ее неудовлетворительными органолептическими свойствами как природного, так и искусственного происхождения.

Кроме того, доброкачественная вода необходима для обработки пищевых продуктов, изготовления лекарственных средств, содержания домашних животных, личной гигиены, поддержания санитарного состояния жилища, для полива зеленых насаждений, выполнения технологических процессов при производстве пищевых продуктов, напитков и т. д. Другими словами, для сохранения здоровья человека, создания оптимальных условий для его хозяйственно-бытовой и производственной деятельности должна использоваться вода хорошего качества, то есть благоприятная по органолептическим свойствам, безвредная по химическому составу и безопасная в эпидемиологическом отношении.

Загрязнение почвы – это и появление в ней химических соединений, не являющихся ее естественной составной частью и не свойственных почве данного типа. Внесение в почву огромного количества химических удобрений, пестицидов, промышленных отходов способствует образованию искусственных геохимических провинций с измененным составом и свойствами почвы. Около промышленных предприятий образуются техногенные биохимические провинции с повышенным содержанием в биосфере свинца, мышьяка, фтора, ртути, кадмия, марганца, никеля и других элементов, представляющих реальную опасность прямого и косвенного влияния на организм. Оценка уровня химического загрязнения почв как индикатора техногенного воздействия на здоровье населения проводится по показателям, разработанным при сопряженных геохимических и геогигиенических исследованиях окружающей среды. Такими показателями являются: коэффициент концентрации химического вещества (K_c), который определяется отношением фактического содержания определяемого вещества в почве C_i мг/кг почвы к региональному фоновому значению $C_{\phi i}$ [1]:

$$K_c = \frac{C_i}{C_{\phi i}}, \quad (1.13)$$

и суммарный показатель загрязнения (Z_c), равный сумме коэффициентов концентраций химических элементов загрязнителей и выраженный формулой [1]

$$Z_c = \sum(K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n-1), \quad (1.14)$$

где n – число определяемых суммируемых веществ;

K_{ci} – коэффициент концентрации i -го компонента загрязнения.

Анализ распределения геохимических показателей, полученных в результате апробирования почв, дает пространственную структуру загрязнения селитебных территорий и воздушного бассейна, и позволяет выделить зоны риска для здоровья населения.

Основные задачи санитарной охраны почвы: сохранение естественных свойств почвы; предупреждение внесения в почву токсичных,

канцерогенных веществ с выбросами и отходами промышленных предприятий и пестицидами, применяемыми в сельском хозяйстве.

Для оценки выбросов автотранспорта на почву используют результаты химического анализа образцов почвы, отобранных на различных расстояниях в пределах 100 м по обеим сторонам магистрали. Загрязнения по мере увеличения расстояния от полотна дороги снижаются, но определенное отклонение от этой закономерности свойственно соединениям цинка, максимальное содержание которого нередко регистрируется на некотором расстоянии от проезжей части. Загрязнение почв тяжелыми металлами в придорожной полосе связано с продолжительностью эксплуатации дорог. В поверхностном (до 5 см) слое почвы 7...16-метровой придорожной зоны при интенсивном движении до 10 000 транспортных единиц в сутки содержится около 600...1000 мг/кг железа, 20 мг/кг цинка, 10 мг/кг свинца, 0,2 мг/кг кадмия.

Большое влияние на состав почвы оказывает химизация сельского хозяйства. В гигиеническом отношении особое значение имеют пестициды, очень устойчивые к воздействию внешних факторов. Систематическое применение пестицидов ведет к их накоплению в атмосферном воздухе, воде и почве, продуктах растительного и животного происхождения, организме человека. К таким препаратам относятся хлорорганические соединения, в частности ДДТ.

Почва имеет большое эпидемиологическое значение. В ней могут находиться и передаваться человеку контактным и непрямым (через пыль, воду, животных, пищевые продукты, напитки) путем возбудители многих инфекционных заболеваний, а также яйца и личинки гельминтов.

Поэтому необходимо постоянно наблюдать за состоянием почвы, выбрав для контроля приоритетные загрязняющие вещества, и разрабатывать концепцию ее охраны. Этот выбор определяется, прежде всего, степенью опасности и токсичности загрязнителей и их влиянием на здоровье человека.

1.5 Воздействие энергетических установок на окружающую среду

Топливо-энергетический комплекс в целом и объекты энергетики в частности принадлежат к числу наиболее интенсивно воздействующих на окружающую среду. У энергетики наиболее

высокие темпы развития и масштабы производства. Доля участия энергетических предприятий в загрязнении окружающей среды продуктами сгорания органических видов топлива, содержащих вредные примеси, а также отходами низкопотенциальной теплоты значительна. От типа энергоустановок зависит их влияние на окружающую среду. Воздействие тепловых электростанций на окружающую среду во многом зависит от вида сжигаемого топлива (таблица 1.9).

Таблица 1.9

Выбросы в атмосферу ТЭС мощностью 1000 МВт [1]

Топливо	Выбросы				
	Углерод	CO	NO _x	SO ₂	Частицы
Уголь	400	2000	27 000	110 000	3000
Нефть	470	700	25 000	37 000	1200
Природный газ	34	—	20 000	20,4	500

При сжигании твердого топлива в атмосферу поступают летучая зола с частицами недогоревшего топлива, сернистый и серный ангидриды, оксиды азота, некоторое количество фтористых соединений, а также газообразные продукты неполного сгорания топлива. Уголь – самое распространенное ископаемое топливо на нашей планете. Специалисты считают, что его запасов хватит на 500 лет. При энергетическом использовании торфа имеет место ряд отрицательных последствий для окружающей среды, возникающих в результате добычи торфа в широких масштабах. К ним относятся нарушение режима водных систем, изменение ландшафта и почвенного покрова в местах торфодобычи, ухудшение качества местных источников пресной воды и загрязнение воздушного бассейна, резкое ухудшение условий существования животных.

При сжигании жидкого топлива, например мазутов, с дымовыми газами в атмосферный воздух поступают сернистый и серный

ангидриды, оксиды азота, соединения ванадия, солей натрия, а также вещества, удаляемые с поверхности котлов при чистке. С точки зрения экологии жидкое топливо более гигиенично.

При использовании природного газа существенным загрязнителем атмосферы являются оксиды азота. Однако выброс оксидов азота при сжигании на тепловых электростанциях (ТЭС) природного газа в среднем на 20 % ниже, чем при сжигании угля.

В теплоэнергетике источником массированных атмосферных выбросов и крупнотоннажных твердых отходов являются теплоэлектростанции, предприятия и установки паросилового хозяйства, т. е. любые предприятия, работа которых связана со сжиганием топлива. Основная часть выбросов приходится на углекислый газ – около 1 млн т, в пересчете на углерод – 1 Мт. Со сточными водами тепловой электростанции ежегодно удаляется более шестидесяти тонн органики, почти пятьсот тонн взвешенных частиц и др. [1].

Коэффициент полезного действия энергетических установок невелик и составляет 30 %–40 %. Загрязнение и отходы энергетических объектов в виде газовой, жидкой и твердой фаз распределяются на два потока: один вызывает изменения глобальные, другой – региональные и локальные. На современном этапе тепловые электростанции выбрасывают в атмосферу около 20 % от общего количества всех вредных отходов промышленности. Представляет опасность и так называемое тепловое загрязнение водоемов с многообразными нарушениями их состояния. ТЭС производят энергию при помощи турбин, приводимых в движение нагретым паром. При работе турбин необходимо охлаждать водой отработанный пар: от энергетической станции непрерывно отходит поток воды, подогретой обычно на 8 °С–12 °С и сбрасываемой в водоем. Крупные ТЭС нуждаются в больших объемах воды. Они сбрасывают в подогретом состоянии 80–90 м³/с воды. По прогнозам мировое производство энергии гидростанциями (ГЭС) не будет превышать пять процентов от общей, а одной из важнейших причин уменьшения доли энергии, получаемой на ГЭС, является значительное воздействие всех этапов строительства и эксплуатации гидросооружений на окружающую среду (таблица 1.10).

Воздействие предприятий гидроэнергетики на окружающую среду [1]

Технологический процесс	Влияние на элементы среды и живые системы				Примеры ценных реакций в биосфере
	Почвы и грунт	Воздух	Воды	Экосистемы и человек	
Строительство ГЭС	Разрушение почв и грунтов на стройплощадках, подъездных путях, хозяйственных объектах и т. п.; перемещение больших масс грунтов, особенно при строительстве плотин и обваловании водохранилищ	Аэрозольное загрязнение продуктами разрушения почв, строительными материалами (особенно цементом); химическое – в небольших объемах, в основном от работы техники, предприятий	Некоторое нарушение режима и загрязнения в местах строительства (обводные каналы и т. п.)	Частичное разрушение экосистем и их элементов (растительности, почв), фактор беспокойства для животных, интенсивный промысел и т. п. Влияние на человека в основном через изменения среды и социальные факторы	Текучая вода (река) → водохранилище → накопление химических веществ (эвтрофикация) плюс тепловое загрязнение → зарастание водоема (цветение) → обогачение органикой → превращение экосистемы гранзитного типа в аккумулятивно-застойную → порча рыбы → болезни рыб → потеря пищевых или вкусовых свойств воды и продуктов промысла

Технологический процесс	Влияние на элементы среды и живые системы				Примеры цепных реакций в биосфере
	Почвы и грунт	Воздух	Воды	Экосистемы и человек	
Работа ГЭС	То же, что и при затоплении, а также многолетнее разрушение береговой линии (абразия), формирование новых типов почв в прибрежной зоне	Повышение влажности, понижение температур, туманы, местные ветры, часто неприятный запах от гниения органических остатков	Загрязнение в результате стоков с водосбросов и разложения больших масс органики, почв, растительных остатков, древесины и т. п., образование фенолов, накопление биогенов и других веществ; усиленное прогревание, особенно мелководий	Формирование новых экосистем (в основном луговых и болотных) в зоне подтопления, зарастание вод. Цветение, нарушение миграции рыб и других гидробионтов, смена более ценных видов менее ценными, заболевания рыб (гельминты и другие паразиты), забивание жаберных щелей рыб водорослями	—

Технологический процесс	Влияние на элементы среды и живые системы				Примеры цепных реакций в биосфере
	Почвы и грунт	Воздух	Воды	Экосистемы и человек	
			(тепловое загрязнение), эвтрофикация, цветение, потеря кислорода, накопление тяжелых металлов, ила, радиоактивных и других веществ, порча воды	разрушение нерестилищ и зимовальных ям. Потеря вкусовых качеств рыб. Увеличение вероятности заболеваний людей при контакте с водными массами (купание и т. п.) и продуктами промысла	
Заполнение водохранилищ	Уход под воду плодородных пойменных земель (затопление), подъем грунтовых вод в прибрежной	Дополнительное испарение с чаши водохранилищ	Смена текущих вод на застойные, неизбежное загрязнение водохранилищ быстросрасториными или	Полное уничтожение сухопутных экосистем (сведение лесов или их гибель от подтопления, часто оставление всей биомассы в зоне затопления), смена	Давление высоких масс на ложе водохранилищ → интенсификация сейсмических явлений

Технологический процесс	Влияние на элементы среды и живые системы				Примеры цепных реакций в биосфере
	Почвы и грунт	Воздух	Воды	Экосистемы и человек	
	зоне (подтопление, заболачивание). В горных условиях такие явления выражены в меньшей степени		взмучиваемыми веществами при заполнении чаши водохранилищ и формировании берегов	прибрежных экосистем. Неизбежное переселение людей из зоны затопления, социальные издержки	

Значительные площади земель вблизи водохранилищ подтапливаются в результате повышения уровня грунтовых вод. Эти земли, как правило, переходят в категорию заболоченных. В равнинных условиях затопленные земли могут составлять десять и более процентов от затопленных. Водохранилища оказывают заметное влияние на атмосферные процессы. С повышенным испарением связано понижение температуры воздуха, увеличение туманных явлений. Имеющее место загрязнение воды вызвано не технологическими процессами производства электроэнергии на ГЭС (объемы загрязнений, поступающие со сточными водами ГЭС, составляют ничтожно малую долю в общей массе загрязнений хозяйственного комплекса), а низкое качество санитарно-технических работ при создании водохранилищ и сброс неочищенных стоков в водные объекты. Ядерная энергетика в настоящее время может рассматриваться как наиболее перспективная. Это связано как с относительно большими запасами ядерного топлива, так и со щадящим воздействием на среду [2]. К преимуществам относится также возможность строительства атомных электростанций (АЭС), не привязываясь к месторождениям ресурсов. Ядерное топливо в количестве 0,5 кг позволяет получать столько же энергии, сколько сжигание 1000 т каменного угля (таблица 1.11). Опыт эксплуатации АЭС во всех странах показывает, что они не оказывают заметного влияния на окружающую среду (таблица 1.12).

Таблица 1.11

Расход топлива и загрязнение окружающей среды
(за год при мощности АЭС и ТЭС по 1000 МВт) [1]

Фактор воздействия на среду	ТЭС	АЭС
Топливо	3,5 млн т угля	1,5 т или 1000 т урановой руды
Отходы:		
– углекислый газ	10 млн т	–
– сернистый ангидрид и др. соединения	400 тыс. т	–
– зола	100 тыс. т	–
– радиоактивные	–	2 т

Воздействие электростанций на окружающую среду в зависимости от используемого топлива [1]

Топливо	Вредные выбросы	Воздействие на окружающую среду
Уголь, мазут	Двуокись серы. Углекислый газ. Бензапирен	Кислотные дожди. Парниковый эффект. Загрязнение, деградация экосистем от продуктов сгорания, производства и транспортировки топлива
Природный газ	Двуокись азота. Углекислый газ	
Ядерное топливо	Радиоактивность	Радиоактивность ниже установленных норм и естественного фона

При работе АЭС выбросы радиоактивных элементов в окружающую среду незначительны. В среднем они в 2–4 раза меньше, чем от ТЭС такой же мощности [2].

Радиационная обстановка воздушной среды контролируется на различных удалениях в радиусе до 60 км от АЭС, причем служба внешней дозиметрии на всех постах проводит кроме этого отбор проб почвы, воды и растительности [8].

Наибольший ущерб от катастрофы на ЧАЭС понесло сельское хозяйство [2]. В Республике Беларусь радиоактивному загрязнению подверглось около двух млн га сельхозугодий [9]. В большинстве радиологических ситуаций растения подвергаются внутреннему и внешнему облучению одновременно. При загрязнении объектов природной среды радионуклидами на начальном этапе радиоактивные вещества находятся на поверхности почвы и в контакте с массой растений. Особенностью внешнего некорневого пути загрязнения растений является то, что при осаждении радиоактивных аэрозолей происходит накопление всей совокупности радионуклидов в наземной части растений, тогда как при попадании радионуклидов в почву значительная часть их прочно сорбируется и лишь часть поступает в растения.

Для количественной оценки значимости некорневого пути поступления радионуклидов в урожай принята величина коэффициента

α первичного удержания, которое определяется следующим соотношением [1]:

$$\alpha = \delta_p / \delta_v, \quad (1.14)$$

где α – коэффициент первичного удержания;

δ_p – плотность радиоактивного загрязнения наземной массы растений, Бк/м²;

δ_v – плотность выпадений, Бк/м².

Коэффициент первичного удерживания может измениться от нескольких процентов до 95 % и зависит от множества факторов: плотности растительного покрова, морфологии растений, метеорологических условий в момент выпадения радионуклидов и др. Со временем содержание радионуклидов в растительной массе снижается за счет распада изотопов, удаления радионуклидов с поверхности под воздействием дождя и ветра, прироста биомассы [9].

Различные виды растений по-разному удерживают радиоактивные осадки, что обуславливает большие различия в загрязнении урожая в целом. Кроме того, разные части и органы одного и того же растения по-разному реагируют на радионуклиды. Наиболее высоким содержанием радионуклидов отличаются вегетативные органы растений. Хозяйственно ценные части урожая многих растений достаточно надежно защищены от радиоактивных выпадений (зерно зерновых, бобовых культур; початки кукурузы; клубни картофеля, подземная часть корнеплодов). Загрязнение товарной продукции этих культур может происходить в последующие периоды в результате контакта с загрязненной соломой, ботвой, почвой при уборке урожая. Из ценных частей урожая максимальная концентрация радионуклидов наблюдается в зерне гречихи, наименьшая – в зерне гороха. Выпадение радиоактивных аэрозолей очень опасно для овощных культур, у которых товарная часть продукции не защищена (томаты, огурцы, капуста, листовые овощи) [9]. Критическим продуктом растениеводства оказались естественные травы. При выпадении радиоактивных аэрозолей на луговую и пастбищную растительность значительная часть радионуклидов (65 %–90 %) накапливается в дернинном слое, который в дальнейшем служит источником поступления радионуклидов в растение

через основания стебля и поверхностные корни. Низкая продуктивность пастбищ, высокая концентрация цезия-137 в дернине обуславливает значительное поступление радионуклидов в организм коров при выпасе.

Со временем радиоактивные выпадения концентрируются в почве. Уже на второй год после аварии основным путем поступления радионуклидов в пищевые цепи являлось почвенное. Количественно переход радионуклидов из почвы в растения характеризуется коэффициентом накопления K_n , который определяется соотношением [3]:

$$K_n = C_p / C_{\text{п}}, \quad (1.15)$$

где C_p – концентрация радионуклида в растении, Бк/кг;

$C_{\text{п}}$ – концентрация радионуклида в почве, Бк/кг.

Поступление радионуклидов из почвы в растения зависит от ряда факторов. Это агрохимические показатели почвы, гранулометрический и минералогический ее состав, свойства радионуклидов, агротехнические и агрохимические способы обработки почвы. Накопление радионуклидов в урожае путем поступления их из почвы зависит от видов и сортов особенностей растений. В товарной части урожая в расчете на сухую массу больше всего радионуклидов содержат корнеплоды (свекла, морковь), несколько меньше – бобовые культуры (горох, вика), затем картофель и меньше всего зерновые злаковые культуры. Причем озимые зерновые накапливают в 2,0–2,5 раза меньше радионуклидов, чем яровые. По степени накопления радионуклидов овощные культуры можно расположить в следующий убывающий ряд: щавель, горох, боб, редис, морковь, картофель, салат, чеснок, лук, томаты, огурцы, капуста [3].

Меньше всего загрязняется кормовая свекла, т. к. это пропашная культура, которая высевается рядками. Кроме того, свекла имеет стержневую корневую систему, которая проникает в нижние чистые слои. Большое значение имеет высокая урожайность свеклы, что приводит к снижению концентрации радионуклидов. Картофель – культура со слаборазвитой корневой системой, которая

составляет около 8 % от вегетативной массы. Именно поэтому под картофель вносят много органических удобрений, что способствует снижению поступления радионуклидов в растение. Основная часть цезия-137 концентрируется в вегетативной массе картофеля, поэтому товарная часть растения загрязнена незначительно. Из овощных культур наиболее загрязненными радионуклидами являются культуры с малым вегетационным периодом [1; 3]. В настоящее время продукция садов, как правило, чистая, т. к. основная масса корней деревьев находится ниже загрязненного слоя, хотя в первые годы после аварии на ЧАЭС имело место загрязнение садов.

При осаждении радиоактивных аэрозолей подстилающая поверхность выступает в роли аккумулятора радионуклидов. По способности задерживать радиоактивные выпадения элементы подстилающей поверхности образуют следующий убывающий ряд: хвойные, лиственные леса; луга и посевы; пашня. Наиболее чувствительны к действию ионизирующих излучений леса: они прочно удерживают радионуклиды, препятствуют развитию процесса ветрового и водного переноса радиоактивных веществ. Древесная растительность характеризуется более высокой способностью удерживать радионуклиды по сравнению с травянистой и выполняет роль фильтра радиоактивных выпадений [3]. После выпадения радионуклидов на лесную растительность начинается их вертикальная и горизонтальная миграция под действием ветра и атмосферных осадков. В результате основная часть радионуклидов сосредотачивается в лесной подстилке и почве, становясь доступной для усвоения корневыми системами. Это относится главным образом к долгоживущим радионуклидам цезию-137 и стронцию-90, т. к. при относительно длительном процессе миграции в подстилку и почву, который для стронция-90 составляет 45 лет в березовом и 8–9 лет в сосновом лесу, происходит распад короткоживущих и среднеживущих радионуклидов. Благоприятным фактором для лесоиспользования является то, что из суммарного количества радионуклидов, выпавших в лесах, в древостое сосредоточено около четырех процентов, в подстилке до 85 %, остальное – в минеральном слое почвы [1].

1.6 Роль человеческого фактора в обеспечении безопасного функционирования эргатических систем

1.6.1 Влияние человеческого фактора на производственный травматизм в АПК

Абсолютно безопасных производств не существует, всегда присутствует определенный риск травмирования [11], который может исходить как от самого человека и его неправильных (опасных) действий (человеческий фактор), а может не иметь к его особенностям непосредственного отношения (внешний риск). Виновниками большинства несчастных случаев являются сами пострадавшие. Эти данные свидетельствуют, что безопасный труд в значительной мере проблема психолого-педагогическая. Дополнительным подтверждением такого заключения может служить тот факт, что девять несчастных случаев из десяти возникают обычно там, где не предусмотрены правила техники безопасности и технические средства защиты [1].

Главная причина такой ситуации заключается не столько в технике и организации труда, сколько в ошибках самого работника, который что-либо не предусмотрел или преднамеренно нарушил правила, пренебрег предусмотренными средствами защиты. Таким образом проявляется человеческий фактор, выражающийся в совершении человеком ошибочных, преднамеренных или непреднамеренных опасных действий или проявлений опасного бездействия, каждое из которых может обернуться несчастным случаем.

Опасное действие работника может быть следствием как одной причины, так и группы причин, которые сводятся к четырем группам [10]:

- «не умеет»: работник не владеет необходимыми для данной работы знаниями, методами, приемами, не имеет соответствующих навыков;

- «не хочет»: работник способен качественно и безопасно выполнять данную работу, но не соблюдает требования безопасности, т. е. нет мотивации, не развита соответствующая психологическая установка;

- «не может»: работник находится в таком физическом или психологическом состоянии, что несмотря на умение и желание допускает опасное действие. Немаловажное значение для поддержания физического состояния работника имеет и его возраст;

– «не обеспечен»: работник не исполняет предписанное действие из-за необеспеченности инструментами, приборами, информацией и т. д.

Первые три группы причин обусловлены индивидуальными и личностными качествами работника (человеческий фактор). Четвертая группа является внешним по отношению к работнику фактором, т. е. это производственная среда, в которой протекает трудовая деятельность. Поэтому для установления причинно-следственной связи производственного травматизма в эргатической системе, важными элементами которой являются человек или группа людей и техническое устройство, посредством которого человек осуществляет свою деятельность, необходим углубленный анализ несчастных случаев с учетом психофизиологических и временных факторов, в т. ч. распределение несчастных случаев по стажу работы пострадавших, дням недели и времени суток.

Объективными предпосылками травматизма и несчастных случаев в отраслях агропромышленного комплекса является неизбежное взаимодействие человека с высокопроизводительным оборудованием, эксплуатирующимся при больших силовых нагрузках, давлении, высоких скоростях, уровне шума, вибрации [11] и др. Особое внимание отводится изучению причин, опасных производственных факторов. Вместе с тем наличие опасного производственного фактора (источника) или совершение работающим опасного действия (нарушение установленных регламентов) сами по себе могут и не привести к травме. Однако если такие нарушения приобретают систематический характер в условиях объективной опасности, то по законам статистики они в определенный непредсказуемый момент из травмоопасной ситуации могут перерасти в травму. Там, где есть опасные производственные факторы и нарушения правил безопасности труда, всегда присутствует вероятность несчастного случая. Чем более опасными являются условия труда и чем больше нарушений установленных регламентов имеет место, тем больше риск травмирования.

Все случайности имеют свои причины, при этом причины могут быть как в самом объекте, так и во внешних условиях. Учитывая, что каждый несчастный случай является случайным событием, необходимо выявлять причины, имеющие место в самом объекте и во внешних условиях. Например, проявление опасного производственного

фактора по отношению к пострадавшему будет внешним проявлением явлений, приведших к травме, а попадание человека в опасную зону, халатность, нарушение правил, дисциплины труда будет являться внутренним проявлением явлений, характеризующих психофизиологическое состояние пострадавшего.

Анализ причин производственных аварий, сопровождающихся несчастными случаями на объектах АПК Республики Беларусь [11], показал, что одной из основных причин их возникновения являются ошибочные действия работников. Аналогичная ситуация характерна и для других отраслей. Так, по вине человека, управляющего техникой, происходит в мире около 45 % аварий на атомных станциях, 60 % авиакатастроф, 80 % катастроф на море и до 90 % автокатастроф. С опасными действиями персонала или опасными условиями труда либо с совместным действием этих двух факторов связано 98 % аварий и несчастных случаев. Поэтому основными элементами, направленными на снижение аварийности и травматизма, являются разработка и внедрение программ обучения персонала безопасным методам труда и улучшения состояния безопасности производства, а также изучение предпосылок возникновения ошибочных действий персонала, то есть влияния человеческого фактора.

Из литературных источников известно [10], что если в средствах труда, условиях, организации и содержании деятельности не учитываются психофизиологические возможности и ограничения, присущие каждому человеку, то создаются предпосылки возникновения ошибок. Существует ряд методов (профессиональный отбор, обучение, психофизиологическая подготовка и др.), предназначенных для выявления и учета этих возможностей и ограничений, тем самым направленных на снижение вероятности ошибочных действий работника.

В понятии «человеческий фактор» недифференцированно представлены индивидуальные, личностные и групповые свойства и характеристики людей, органически включенные в социально-экономические системы как часть в целое. Под человеческим фактором следует понимать «широкий круг психологических и психофизиологических свойств», которые так или иначе проявляются в конкретной деятельности работника. Правильное же сочетание способностей человека и возможностей машины при функционировании «человек–машина» обуславливает оптимальное использование человеком технических средств в соответствии с их назначением [11].

Человеческий фактор выражается в основном в неумении персонала непрерывно определять и оценивать реальные опасности на рабочих местах и принимать верное решение в сложившейся экстремальной обстановке. Происхождение человеческого фактора объясняется также наличием определенных индивидуально-психологических свойств, обуславливающих подверженность несчастным случаям, которая напрямую зависит от таких факторов, как быстрота реакции, концентрация и распределение внимания, координация движений и др. Поэтому довольно значительна доля человеческого фактора в ошибках работников, чьи психофизиологические возможности ограничены [10].

Человеческий фактор определяют и как показатель способности персонала своевременно и качественно выполнять поставленные задачи, проводить оценку и анализ данного фактора на основании фактической и необходимой численности работников для выполнения комплекса работ по безопасной эксплуатации технических средств, численности обученного персонала по определенным видам работ и числу допущенных персоналом нарушений требований производственной безопасности по виду работ. В свою очередь, деятельность работника может носить разнообразный характер, но в общем виде ее можно представить как четыре основных этапа: восприятие поступающей информации, анализ и обобщение информации, принятие решения о необходимости выполнения действия и выполнение принятого решения. Сбой или некорректное выполнение любого из этих этапов деятельности приводит к возникновению ошибочных действий, создает предпосылки для возникновения техногенных аварийных ситуаций. Поэтому на каждом из этапов работник должен совершать контроль собственного поведения на производстве.

Изучение причин возникновения ошибок в процессе трудовой деятельности является одним из основных направлений в проблеме исследований профессиональной надежности работника.

Ошибки работников при эксплуатации технических средств обусловлены в значительной мере просчетами в профессиональном отборе и классифицируются следующим образом [1]:

- невыполнение требуемого действия;
- выполнение нетребуемого действия;
- выполнение требуемого действия, но в ошибочной последовательности;

– неправильное выполнение требуемого действия.

Также предлагается разделять причины ошибочных действий на непосредственные и отдаленные. К непосредственным причинам относится несоответствие психологических возможностей для переработки информации, недостатки навыка или умения, внимания и др. Отдаленные причины ошибок связаны с недостатками системы управления и организации труда на рабочем месте, подготовки к выполнению задачи, состоянием организма, обусловлены слабой психологической установкой работника.

Ошибки, возникающие в процессе производственной деятельности, по степени их преднамеренности делятся на умышленные и неумышленные. Неумышленно совершаемые ошибки обуславливаются следующими причинами [1]:

а) внешними: эргономические недостатки средств, условий и организации деятельности;

б) внутренними:

– недостаток собственных возможностей (профессиональная непригодность, недостаточная подготовленность, нарушения функционального состояния и психических процессов организма работника);

– неиспользование собственных возможностей (недооценка значимости решаемых задач, потеря веры в свои возможности и т. п.).

Умышленные ошибки возникают [1]:

а) под влиянием внутренних конфликтов;

б) в поисках интереса в труде;

в) для преднамеренного наказания обидчика;

г) во спасение – нарушение правил безопасности для избежания более серьезного нарушения.

Вероятность того, что поведение работника в условиях неопределенности приведет к нарушению производственной деятельности, зависит от его личных качеств: устойчивости к неопределенности, способности выдерживать и переносить такое состояние и умения искать и находить недостающую информацию.

При анализе психофизиологических аспектов надежности производственной деятельности работника могут иметь место ошибки, возникающие из-за восприятия (если работник не успел обнаружить, не узнал, не сумел различить отклонения хода технологического процесса от регламентного); памяти (забыл, не успел

запомнить, не сумел удержать в памяти, сохранить); мышления (не понял, не успел схватить, не предусмотрел, не разобрался); внимания (не сумел удержать, не успел охватить всего, быстро устал). Так, среди причин ошибок недостатки восприятия отмечаются в 40 %–70 % случаях, в переработке информации – 19 %–40 %, неправильного принятия решения – 12 %–20 % [1].

Безошибочность и надежность выполнения производственных функций работником зависит от умственных (психических), психологических его особенностей, квалификации и состояния здоровья. В действиях человека выделяют три функциональные части: мотивационную, ориентировочную, исполнительную. Ошибка любой из этих частей влечет за собой ошибочное действие в целом, которое может стать причиной возникновения аварий и несчастных случаев. Исходя из этого, причины возникновения опасных ситуаций и несчастных случаев можно условно разделить на группы [10]:

- нарушение мотивационной части: нежелание выполнять определенные действия (человек недооценивает опасность, склонен к риску, отрицательно относится к трудовым и (или) техническим регламентам работ; возможно, находится в состоянии стресса, алкогольного опьянения и т. д.);

- нарушение ориентировочной части: незнание правил эксплуатации технических систем, требований по организации безопасного труда (неспособность к обучению либо отсутствие профессиональной подготовки);

- нарушение исполнительной части: невыполнение правил, инструкций, предписаний и норм вследствие несоответствия психофизиологических возможностей человека условиям и требованиям производственной деятельности (недостаточная координация, плохая концентрация внимания и др.).

Для устранения негативного влияния ошибочных действий каждой из выделенной группы причин возникновения травматических производственных ситуаций рекомендуются профилактические мероприятия (рисунок 1.1).

Возрастает роль человеческого фактора в современном агропроизводстве с учетом физиологических, психологических и психофизиологических свойств, которыми обладают люди и которые так или иначе проявляются в трудовой деятельности. Имеются в виду потребности и способности человека, мотивы его поведения, его

интересы и творческие возможности, работоспособность, интеллект и эмоции, воля и характер, сознание и самосознание, формирование социальных установок и ценностных ориентаций.



Рис. 1.1. Основные мероприятия по предупреждению ошибочных действий работников в процессе производственной деятельности [10]

По тому, насколько все эти качества соответствуют характеру и особенностям производственной деятельности, можно судить и о степени обеспечения безопасности труда.

Характеризуя человека с позиции личности безопасного типа, необходимо опираться на комплекс имеющегося у него количественно подтвержденных показателей высокого профессионализма и высокого уровня физиологических, психологических, психофизиологических и социально-психологических характеристик.

Профессиональные качества специалиста любого профиля определяются на основании свидетельства об образовании, стажа работы, занимаемых должностей и характеристик с предыдущего места работы. Степень надежности этих критериев для получения представления о профессионализме специалиста крайне мала, поэтому необходима

разработка научно обоснованного тестирования для определения уровня профессионального мастерства.

При рассмотрении физиологических основ безопасной деятельности человека важно обратить внимание на то, что классическая физиология накопила большой арсенал данных, которые могут быть положены в основу формирования личности безопасного типа. Так, если в безопасных условиях производственной деятельности человека наблюдается устойчивость основных физиологических функций – констант, поддерживающихся по принципу саморегуляции на постоянном уровне, – то в условиях высокого уровня опасных и вредных производственных факторов нормальное взаимодействие различных функциональных систем организма человека затрудняется и внутренние механизмы саморегуляции нарушаются. Функциональные изменения часто свидетельствуют о наступившем состоянии декомпенсации, когда защитные силы организма больше не могут компенсировать происходящие в нем изменения и наступает утомление работника. Специфика утомления зависит от вида нагрузки и времени, необходимого для восстановления исходного уровня работоспособности.

Важным показателем при определении утомления являются психофизиологические характеристики, которыми оценивают память, внимание, сенсомоторную координацию, эмоциональную устойчивость, уровень тревожности, готовность и склонность к риску, готовность к действиям в напряженных (стрессовых) ситуациях, свойства нервной системы и др. Одним из важных критериев безопасности в производственных условиях является готовность работника к деятельности в напряженных (эмоциональных) ситуациях. Готовность к деятельности в напряженных ситуациях определяется не только тем, что человек хладнокровно или трезво встречает опасность, но и выработанной способностью к сокращенным алгоритмам принятия решений, мгновенному извлечению из памяти нужной информации, использованию в качестве информационных признаков неинструментальной информации.

Сильное физическое и особенно умственное утомление ухудшает внимание, память, мышление, может вызвать не только ошибки в действиях человека, стать причиной неправильного использования им техники, но и задержать формирование у него готовности к деятельности в напряженной ситуации [11].

При выполнении работ, характеризующихся высокой степенью ответственности и требующих поиска новых, нестандартных путей выхода из напряженной ситуации, наблюдались такие явления, как снижение критичности мышления, ухудшение координации и точности движения, соразмерных усилий, принимаемых к органам управления техникой, нарушение внимания и других психофизиологических характеристик.

Состояние готовности к деятельности в напряженных ситуациях зависит от мотивов поведения личности, ее потребностей, отношения к окружающему, к предъявленным требованиям, к своим возможностям. Поэтому уделяют внимание вопросам мотивации людей, воспитанию у них ответственного и активного отношения к поставленной задаче.

В связи с возрастающим значением операторской деятельности на производствах, в том числе и в АПК, важное значение имеют работы, позволяющие судить о степени надежности и безопасной деятельности специалистов этого профиля. В трудных ситуациях, когда разум не подсказывает немедленного правильного решения, возникает поведение, характеризующееся напряженностью, аффектом, фрустрацией (состояние тщетного ожидания, сопровождающееся различными отрицательными переживаниями: разочарованием, раздражением, тревогой, отчаянием, что приводит к дезорганизации деятельности), растерянностью и другими подобными состояниями.

Для решения проблемы прогнозирования профессиональной надежности человека большое значение имеют сведения о поведении работника в экстремальных условиях. Выделяют следующие характерные типы: напряженный, трусливый, тормозной, агрессивно-бесконтрольный и прогрессивный [1]. Наиболее распространенным является напряженный тип поведения. Важнейшими признаками его являются скованность движений и импульсивный характер их выполнения, что у операторов, например, выражается в прикованности взгляда к объектам слежения и судорожном сжатии рукояток управления. Это сопровождается большим нервно-психическим напряжением и, как следствие, снижением эффективности, надежности и безопасности деятельности. Теоретически такое поведение трактуется как результат борьбы подкорковых (эмоциогенных) доминант с корковыми, связанными с волевыми усилиями. Полагают, что здесь имеет место неуравновешенность в эмоционально-волевой

сфере личности, в результате чего происходит с переменным успехом борьба эмоциональных и волевых компонент психической деятельности, что сопровождается чрезмерными нервно-психическими затратами и быстрым утомлением человека. Исследования эмоциональной устойчивости работы оператора показали, что у большинства людей в процессе специально организованного обучения, направленного на формирование навыков, напряженность может быть снята путем выработки стереотипов. При этом трудовая деятельность на уровне навыка приобретает свойства стабильности, надежности и помехоустойчивости.

Трусливый тип эмоционального поведения проявляется в преднамеренном уклонении человека, в частности оператора, от выполнения порученных ему функций в затрудненных условиях, в его стремлении оградить себя от вмешательства в ход событий. Трусливый тип эмоционального поведения находит объяснение в доминировании инстинкта самосохранения [10].

Тормозной тип поведения проявляется в явно выраженной заторможенности действий, обычно возникающей при действии сильных эмоциогенных факторов [10].

Для агрессивно-бесконтрольного типа поведения, являющегося наиболее яркой и опасной формой проявления эмоциональной неустойчивости человека, характерны срывы деятельности, в результате которых человек начинает действовать враждебно и бессмысленно, усугубляя состояние управляемой им системы, ускоряя наступление аварий.

Для людей с прогрессивным типом поведения характерны ироническое отношение к опасности, умение найти комические моменты при самом затруднительном положении, самообладание, рассудительность и самоконтроль. Такие люди отличаются надежностью, повышенной работоспособностью с минимальной затратой сил, незначительной утомляемостью.

Главную роль в сохранении эмоционального равновесия человека играют его волевые качества, проявляющиеся в умении заставить себя путем самоприказа сознательно управлять ситуацией и адекватно регулировать свои действия, применяя методы психической саморегуляции.

Трудно поддается коррекции поведение представителей «тормозного» типа, у которых в условиях стрессовых ситуаций действует

охранительное торможение, вызванное чрезвычайно сильной, подкорковой доминантной, парализующей волю человека; здесь срабатывает механизм рефлекса естественной осторожности, который лишает его возможности предпринимать какие-либо действия.

Важную роль в успешности профессиональной деятельности, особенно в условиях стрессовых ситуаций, играют установочные, или мотивационные, позиции поведения. Вместе с тем все больше данных свидетельствует о том, что психофизиологические факторы (индивидуальные качества человека, его способности, характер, темперамент и другие свойства) в сложной обстановке не суммируются арифметически, а образуют определенный комплекс, который в конечном счете реализуется либо в правильном, либо в ошибочном действии.

Для формирования понятия личности безопасного типа важно также учитывать достижения в области социальной психологии [11]. Эта наука оперирует такими социально-психологическими критериями, как отношения отдельных людей и групп между собой, удовлетворенность взаимоотношениями (или пренебрежением ими), принадлежность к определенной социальной прослойке, установки на общественные и личные ценности, чувство профессиональной значимости (или ненужности), социальной желательности и др. Личность безопасного типа должна обладать способностью эффективно управлять собой и своим временем, четко определять как цели выполняемой работы, так и собственные цели, решать возникающие проблемы быстро и эффективно, гибко реагировать на изменение производственной ситуации и др.

Сложные технологические процессы агропроизводства, работа в условиях дефицита времени, особенно в период уборочных работ, во все большей степени требуют объединения усилий членов коллектива (бригады), что ставит перед личностью безопасного типа задачу создания групп, способных быстро достигать желаемых результатов в работе и быть надежными (успешными) в профессиональной деятельности [11].

В жизнедеятельности любого человека неизбежным является риск, но необходимость риска часто пугает людей, делает их менее надежными. Люди вкладывают много усилий в его снижение (минимизацию), а итогом этого являются непродуманные, тяжеловесные решения, низкие результаты, разрушенные планы,

невыполненные задания, ошибки, неправильные действия, приводящие к аварийной ситуации, и т. п.

Важной характеристикой личности безопасного типа является умение управлять собой, что означает поддержание физического здоровья, рациональное распределение сил, спокойный и сбалансированный подход к жизни, к производственной деятельности, способность справляться со стрессом, рациональное и эффективное распределение времени жизни, поддержание высокой работоспособности, корректная оценка своих психофизиологических особенностей, высокая склонность к индивидуальному развитию и т. д.

Усложнение отношений в системе «оператор–машина–среда» требует надежного успешного руководства этой системой, т. к. цена ошибок в процессе управления ею значительно возрастает [11]. Для эффективного и надежного управления такой системой необходим учет поведения человека в экстремальной ситуации, поскольку страх перед реальной или представляемой опасностью может блокировать способность правильной оценки сложной обстановки и организации защитных мероприятий. Таким образом, формирование личности безопасного типа – это научно обоснованная система мероприятий, направленных на коррекцию и развитие индивидуальных способностей личности, выявленных при профотборе, благодаря которым удастся достичь новых качественных результатов по безопасности труда и повышению работоспособности человека. Эта система включает как формирование личного выбора безопасной деятельности, так и управление процессом формирования личности безопасного типа руководителями агропроизводств и службой охраны труда предприятия. В свою очередь, управление процессом формирования личности безопасного типа предполагает проведение профессионального отбора, повышение качества профессиональных навыков, активизацию уровня психофизиологических функций, коррекцию функциональных состояний работающих, обучение методам психофизиологической релаксации (нервно-мышечная релаксация, проведение сеансов пассивной и активной релаксации, психической саморегуляции, применение функциональной музыки, арттерапии, ароматерапии), применение фитотерапии, фитопрофилактики, применение эффективных средств индивидуальной защиты, создание оптимальных параметров производственной среды и др. Нормирование личности безопасного типа

следует рассматривать не как идеальную, а как важную, жизненно необходимую практическую задачу.

Изложенный анализ состояния проблемы безопасности труда и повышения работоспособности работников АПК позволяет сделать следующие обобщения [10–11]. Во-первых, технический прогресс создает меняющиеся специализированные структуры, которые зачастую не принимают во внимание особенности человека. Живой организм не обладает способностью быстро адаптироваться к изменяющимся условиям, как искусственные объекты, разрабатываемые и приспособляемые к действиям человека. Появляется качественно новая среда (производственная, информационная, техногенная, санитарно-гигиеническая и др.), которая и порождает проблему истощения природного ресурса здоровья и работоспособности человека. Статистические данные о росте числа несчастных случаев, аварий и катастроф подтверждают их возрастающую зависимость от человеческого фактора. Во-вторых, установление критериев безопасности труда работающих, формирование личности безопасного типа для тех или иных производственных условий, психофизиологический отбор, разработка тренинговой программы развития умений безопасного поведения, обучение и воспитание работающих могут оказаться главными в решении задач охраны труда. Технические характеристики управляемой системы должны соответствовать возможностям человека: его физиологическим, психофизиологическим и социально-психологическим характеристикам, а также профессиональной подготовке.

Однако, отдавая приоритет личности безопасного типа в решении проблемы безопасности труда работника и повышении его работоспособности, необходимо выбирать комплексный подход с использованием имеющихся теоретических и практических разработок и по другим способам, а также при помощи средств безопасности труда.

1.6.2 Профессиональный отбор как метод предупреждения ошибочных действий операторов технических средств

Несмотря на широкое использование автоматизации и механизации сельскохозяйственных процессов, повышенный контроль со стороны человека является неотъемлемой частью функционирования

человеко-машинной системы. Безотказно работающих машин и механизмов не существует и при возникновении отказа в работе любого технического средства необходимо немедленное вмешательство человека, выполнение им функций управления. Это требует от работника большой ответственности, так как от правильности, своевременности, безошибочности и эффективности его действий зависит качество работы управляемой им системы, сохранность оборудования и жизни людей [11].

Усовершенствованию функционирования человеко-машинной системы способствуют следующие факторы [11]:

- повышение уровня профессиональных знаний оператора МСХТ;
- наличие соответствия индивидуальных качеств оператора профессиональным требованиям.

Следует отметить, что второму фактору отдается приоритет, так как непрофессионализм работника сказывается на росте аварийности и травматизма на производстве.

Как научные исследования, так и практика, показывают, что далеко не любой человек соответствует требованиям профессии и может успешно выполнять соответствующую работу. Если индивидуальные личностные и психофизиологические качества человека соответствуют требованиям профессии, то он, при прочих равных условиях, быстро и эффективно овладевает ею, успешно и без срывов выполняет необходимую работу. При отсутствии такого соответствия необходимый уровень мастерства либо не достигается, либо, если и достигается, то исполнитель «платит за это несоразмерно высокую физиологическую цену», работает на пределе своих возможностей. В результате резко повышается вероятность профессиональных срывов в критических ситуациях, увеличивается риск возникновения и обострения психических и психосоматических расстройств.

Задачу определения соответствия индивидуальных качеств человека профессиональным требованиям решает профессиональный отбор – научно обоснованный допуск людей к определенному виду профессиональных обязанностей. Установлено, что проведение профессионального отбора, на примере отдельных отраслей экономики, позволяет снизить уровень травматизма (коэффициент частоты на 25 % и коэффициент тяжести на 14 %), в среднем на 15 % повысить надежность функционирования человеко-машинных сис-

тем и более чем на 10 % снизить риск аварийности [197–198]. Кроме того, профотбор, в большинстве случаев, является ключевым элементом современных систем и методов управления персоналом, позволяющим повысить социально-экономическую эффективность производства [11].

В зависимости от целей профотбора можно выделить четыре основных его направления: медицинский, социально-психологический, образовательный и психофизиологический [11].

В задачу медицинского отбора входит выявление тех людей, которые по состоянию здоровья могут заниматься данным видом трудовой деятельности [11]. В комплексе профессионального отбора медицинский отбор является исходным, так как остальные виды отбора проводятся лишь среди лиц, которые по состоянию здоровья признаны годными. Образовательный отбор направлен на выделение тех лиц, исходные знания которых обеспечивают успешное овладение данной специальностью или непосредственное выполнение профессиональных обязанностей. Социально-психологический отбор выполняет ряд функций, в том числе и чисто профессиональных.

Особое место среди направлений профотбора занимает психофизиологический [11]. Это определено тем, что только в случае индивидуальной профессиональной пригодности человека для выполнения определенного вида трудовой деятельности, т. е. соответствия его психофизиологических качеств характеру труда, можно ожидать высокого уровня его подготовки, ускоренного приобретения дополнительных профессиональных навыков для решения производственных задач, установки на выполнение определенного вида работы (заинтересованность, чувство ответственности), соблюдения требований безопасности труда и т. д. Психофизиологический отбор предназначен для выявления у кандидатов профессионально важных психофизиологических свойств, которые необходимы для успешного овладения профессиональными знаниями, навыками и умениями, определяющими успешность обучения в установленные сроки и эффективность последующей профессиональной деятельности по конкретной специальности. Полученные в ходе профессионального отбора результаты психофизиологических особенностей специалистов используются для индивидуализации режимов труда и отдыха работников.

Для разработки системы профессионального психофизиологического отбора основными являются следующие принципы [11]:

- отбор целесообразен, когда профессиональная успешность зависит от состояния профессионально значимых качеств, а недостаточное развитие этих качеств предопределяет низкую успешность обучения и дальнейшей работы;

- необходимость отбора определяется наличием заметных различий между специалистами, при условии, что в основе этих различий лежат индивидуальные психофизиологические особенности;

- в основе отбора лежит системный подход, предполагающий взаимосвязь и взаимозависимость профессионально значимых качеств работника и характера деятельности, ее условий, содержания и организации;

- изучение индивидуальных особенностей конкретного работника необходимо проводить с позиции всестороннего изучения личности (принцип личностного подхода);

- отбор должен представлять собой процедуру непрерывного изучения актуального состояния и динамики профессионально значимых качеств с целью прогнозирования успешности обучения и деятельности;

- результаты психофизиологического отбора должны быть использованы для активного воздействия на индивидуальность специалиста путем учета его особенностей в процессе профессиональной деятельности (принцип активности отбора).

Психофизиологический профотбор подразумевает проведение следующих этапов [11]:

- изучение трудового процесса человека-оператора и выявление профессионально значимых психофизиологических и личностных качеств для выполнения требуемых производственных функций;

- составление профессиограммы производственной деятельности;

- обоснование психодиагностических методик для исследования выявленных профессионально значимых качеств;

- проведение тестирования на основе подобранных методик;

- построение математической модели профессиональной пригодности.

Изучение трудового процесса предполагает получение комплексного знания о профессии [11]. Сложившиеся приемы и принципы изучения профессий оформляются в специальный подход –

профессиографию, под которой понимают описательно-техническую и психофизиологическую характеристику профессиональной деятельности. Результатом профессиографического исследования является профессиограмма – сводка знаний о профессии и организации труда. Объем и содержание профессиограммы зависят от цели, с которой проводится изучение профессии. Основными целями являются профотбор, производственное обучение, рационализация режимов труда и отдыха и др.

Профессиограмму также понимают как обобщенную модель успешного специалиста в данной области, как научно обоснованные нормы и требования профессии к качествам личности специалиста, которые позволяют ему эффективно их выполнять [11]. Профессионально значимые качества для определенной профессии определяются с помощью психодиагностических методик. Подбор методик для оценки профессионально важных качеств предполагает изучение психофизиологических и личностных свойств: внимания, памяти, интеллекта, логического мышления, зрительного восприятия, эмоциональной устойчивости, ответственности [10–11].

Непрерывный контроль за работой мобильной сельскохозяйственной техники требует от оператора значительного развития свойств внимания: переключения, распределения, концентрации, точности глазомера; а необходимость сопоставления текущих параметров процесса с номинальными параметрами и слежения за тенденцией их изменения – наличия хорошо развитой оперативной и долговременной памяти. Кроме того, залогом успешной работы оператора является понимание технологического режима, знание требований производственной эксплуатации технического средства, следовательно, и наличие у него развитого технического интеллекта. Высокий уровень логического мышления позволяет предупреждать возникновение аварийной ситуации, правильно выделять из множества различных отклонений параметров наиболее существенные, осуществлять оптимальную тактику работы [11]. Не менее важным для данного вида профессиональной деятельности являются личностные качества. Их необходимость определяется высокой напряженностью труда оператора, что требует обязательного наличия ответственности и эмоциональной устойчивости.

Таким образом, основными профессионально значимыми качествами оператора мобильной сельскохозяйственной техники являются

такие психофизиологические качества, как: внимание, память, технический интеллект, логическое мышление, зрительное восприятие, а также личностные качества – ответственность и эмоциональная устойчивость (таблица 1.13).

Таблица 1.13

Профессионально значимые качества оператора мобильных технических средств [11]

Профессионально значимые качества	Свойства	Мотивация значимости
1	2	3
Внимание	Устойчивость и распределение внимания. Избирательность и концентрация внимания	Необходимость постоянного контроля технологического процесса, переключения внимания с одного объекта на другой (измерительные приборы, инструмент)
Память	Объем кратковременной, долговременной памяти	Запоминание и переработка информации о текущем состоянии и нормах технологического режима
Технический интеллект	Уровень развития технического интеллекта	Необходимость понимания технологического процесса, устройства и принципа работы оборудования
Логическое мышление	Установление логических отношений, способность обобщения и абстрагирования	Прогностическая природа решаемых задач, умение выявлять отклонения в технологическом процессе
Зрительное восприятие	Точность глазомера	Выполнение функций слежения за состоянием подконтрольных объектов, измерение объектов деятельности без помощи инструментов и приборов

Профессионально значимые качества	Свойства	Мотивация значимости
Личностные:		
Эмоциональная устойчивость	Выдержанность, отсутствие нервного утомления	Высокая напряженность труда
Ответственность	Нормативность поведения, деловая направленность	Высокая ответственность за безопасность других людей и материальные ценности

В настоящее время накоплен большой опыт использования психофизиологических методик при проведении профессионального отбора. При подборе методик необходимо учитывать ряд требований, главными из которых являются [11]:

- валидность или прогностическая ценность – комплексная характеристика теста, включающая сведения об области исследуемых явлений и репрезентативности диагностической процедуры по отношению к ним. Иными словами – это «... понятие, указывающее нам, что тест измеряет и насколько хорошо он это делает» [11];

- надежность теста – это мера стабильности результатов, полученных с помощью конкретной методики при повторных исследованиях одного и того же испытуемого;

- дифференцированность теста – данное требование означает, что каждый тест (методика) должен быть направлен на оценку определенного качества или совокупности качеств.

Для профессионального отбора и пригодности работников используются следующие методики:

- оценки индивидуально-личностных особенностей (МОИЛО);
- оценки способностей к абстрактно-логическому мышлению;
- оценки сенсомоторных качеств специалиста;
- оценки профессиональной пригодности по типу темперамента.

Для оценки индивидуально-личностных особенностей рекомендуется ряд подходов, в том числе и метод многостороннего исследования личности (ММИЛ), позволяющий количественно оценить индивидуально-личностные особенности и сравнить их выраженность

у конкретных лиц со средними для населения или определенного контингента значениями и границами их статистической нормы [11]. Этот метод дает представление о выраженности и соотношениях десяти основных индивидуально-личностных характеристик на основе оценки степени сходства конкретных обследуемых с эталонными группами лиц, у которых исследуемые качества выражены максимально. Степень сходства обследуемых лиц с эталонными группами тем больше, чем выше показатель соответствующей шкалы. ММИЛ оценивает следующие психологические особенности [11]:

- озабоченность состоянием своего здоровья, ипохондрические тенденции;
- уровень тревоги, напряженности, тенденции к снижению настроения, активности, работоспособности, депрессивные черты, заниженная самооценка;
- демонстративность, стремление обратить на себя внимание, производить внешнее впечатление, истерические черты;
- стремление пренебрегать социальными нормами и правилами поведения, неспособность учитывать негативный опыт при планировании поведения, импульсивность, несдержанность;
- стремление придерживаться традиционного мужского стиля поведения, мужественность, властность, склонность к лидерству;
- высокая самооценка, настойчивость, целеустремленность и, одновременно, раздражительность, обидчивость, недоверчивость, склонность видеть в поступках окружающих проявления враждебности;
- легкость возникновения тревожных реакций, мнительность, неуверенность в себе, трудности в выборе вариантов принимаемых решений;
- своеобразие мышления, необычность подходов к решению различных задач, трудности во взаимопонимании с окружающими, эмоциональная холодность и отчужденность;
- уровень активности, оптимизма, фон настроения, переключаемость, беспечность и поверхностность;
- стремление контролировать и ограничивать контакты с окружающими, круг общения.

Среднее время выполнения теста ММИЛ – один час. Для этого необходимы брошюра с набором утверждений и подробной инструкцией, бланк ответов.

Подъемы профиля ММИЛ могут быть оценены с помощью специальной шкалы Т-баллов, которая позволяет соотнести конкретные результаты с нормативными. Подъемы ММИЛ за 70 Т-баллов с высокой (до 95 %) надежностью указывают на повышенную вероятность профессиональных срывов [11].

Также для оценки индивидуально-личностных особенностей работника может использоваться тест «16 личностных факторов Кэттелла» (16 ФЛО), позволяющий соотнести выраженность индивидуальных черт конкретных лиц с нормативами [11]. Изначально этот тест был разработан для оценки профессионально значимых качеств работника при проведении профконсультаций и позволяет оценивать следующие характерологические особенности [11]:

- эмоциональность, отзывчивость и общительность;
- развитость интеллектуальной сферы;
- эмоциональный контроль, способность не дезорганизовываться в критических ситуациях, последовательность, практичность;
- независимость, настойчивость, властность, доминантность;
- активность, свобода поведения, раскованность;
- добросовестность, приверженность чувству долга, ответственность;
- энергичность, тяга к риску, острым ощущениям, бесстрашие;
- мягкость, чувствительность, сентиментальность;
- склонность к повышенной самооценке, недоверчивость, холодность, склонность к соперничеству;
- непрактичность, нереалистичность, недостаточность связи интересов и побуждений с обычными житейскими потребностями;
- развитость воспитанных форм поведения, сдержанность, корректность;
- тревожность, напряженность, чувствительность к замечаниям и упрекам;
- гибкость мышления, устойчивость точки зрения, категоричность суждений;
- самостоятельность, независимость от группы;
- организованность, самоконтроль поведения, способность строить его с учетом требований окружения, прагматичность;
- напряженность потребностей, тревога по поводу неудовлетворенных потребностей, повышенный уровень притязаний.

Тест содержит 187 утверждений, к каждому из которых даны три готовых ответа. Обследуемому предлагается выбрать наиболее подходящий с его точки зрения вариант ответа. Время выполнения теста до 50 минут [10].

В отличие от ММИЛ, снижение значений отдельных факторов теста 16 ФЛО не менее значимы, чем подъемы [10]. Факторы теста независимы и интерпретируются отдельно друг от друга, а значительные отклонения показателей факторов от средних могут указывать на повышенную вероятность психологических срывов.

Следующий заслуживающий внимания метод для оценки индивидуально-личностных особенностей оператора мобильного технического средства заключается в изучении степени субъективной склонности работника исходить при оценке ситуации из внутренних критериев (тест УСК) [11]. Наиболее приемлем этот метод к лицам, имеющим склонность брать ответственность за происходящие события на себя и считающим, что в состоянии управлять ситуацией, организовывать и влиять на нее. Тест включает 44 вопроса, на которые работник должен ответить «верно»–«неверно». Время выполнения теста приблизительно 15 минут [11].

Для оценки способностей к абстрактно-логическому мышлению практикуется тест «Прогрессивные матрицы Равена». Этот тест дает возможность оценить способности к решению графических абстрактно-логических заданий в условиях дефицита времени [12–13]. Результаты теста отражают уровень интеллекта, способность находить ключи к решению не встречавшихся ранее логических задач. Следует, однако, указать, что успешность выполнения теста Равена мало зависит от уровня культуры, образования работника и определяется в основном природными особенностями центральной нервной системы. Тест состоит из 60 заданий нарастающей сложности. Оцениваются общее число правильно решаемых в установленное время задач и доля правильно решенных из числа просмотренных задач (успешность выполнения теста и процент ошибок). Время выполнения теста – 20 минут [11]. Показатели теста коррелируются с успешностью обучения и профессиональной деятельности. При этом существенное снижение показателей теста может отмечаться у лиц с некоторыми психическими расстройствами. Выраженные снижения показателей теста Равена позволяют определить круг лиц, склонных к нарушениям социального поведения.

Для оценки сенсомоторных качеств оператора мобильного технического средства рекомендуются методы, основанные на [11]:

- простой сенсомоторной реакции (ПСМР);
- сенсомоторной реакции на звук и свет (ССМР);
- реакции на движущиеся объекты (РДО);
- индивидуальной логической беседе.

Метод ПСМР предназначен для исследования основных нервных процессов [14] и позволяет определить время простоя сенсомоторной реакции на зрительный раздражитель. Оценивается время на световой сигнал. Дается сто предъявлений раздражителя (светящегося квадрата) на экране компьютера, который нужно как можно быстрее погасить нажатием кнопки.

Метод сенсомоторной реакции на звук и свет (ССМР) используется для изучения динамики основных нервных процессов [15] и заключается в определении времени и точности сенсомоторных реакций в условиях, когда исследуемый (механизатор) должен реагировать на строго определенную комбинацию звуковых и световых стимулов среди множества незначимых раздражителей. Предъявляется 48 различных сочетаний желтого и красного световых сигналов и звукового раздражителя (1000 Гц). Задачей оператора мобильного технического средства является опознание сочетания желтого светового и звукового сигналов и реагирование на него нажатием на кнопку. Значимыми являются 16 из 48 сигналов. Регистрируется время реакции, а также число ошибок: неопознание нужного сигнала, реакции на незначимый сигнал. Рассчитываются также средние значения и среднеквадратическое отклонение всех описанных параметров по реакциям на значимый стимул.

Для изучения оценки степени тревожности и склонности оператора к риску определяется его реакция на движущийся объект (РДО) [15], что позволяет определить точность динамического глазомера оператора мобильного технического средства и изучить баланс основных нервных процессов (торможения и возбуждения). На практике используются две модификации метода РДО. При выполнении наиболее простой классической версии метода на экране компьютера в одной и той же точке появляются два светящихся креста. Один из них начинает двигаться по окружности по часовой стрелке, а другой остается неподвижным. Движущийся крест в течение 1000 мс проходит полный круг и возвращается в исходную

точку. Задачей обследуемого является остановить движущийся крест нажатием кнопки в момент его возвращения и полного совпадения с неподвижным. Метод включает сто предъявлений движущегося светового сигнала. Рассчитывается: число полных совпадений и неточных нажатий с детализацией вида ошибки (преобладание опережающих реакций связано с превалированием процессов торможения; преобладание запаздывающих реакций – процессов возбуждения); точность совпадения крестов; среднее время реакции; среднеквадратическое время отклонения реакции.

Другая модификация метода РДО отличается тем, что на траектории подвижного креста находятся четыре неподвижных креста, расположенных на окружности в псевдослучайном порядке. Число предъявлений и порядок обсчета результатов проведения этого варианта метода РДО принципиально не отличается от вышеописанного.

Индивидуальная беседа является заключительным этапом психофизиологического профессионального отбора. Проводится после обработки и анализа экспериментальных данных и служит дополнительным средством сбора сведений об обследуемых лицах и оценки их основных качеств. В ходе беседы уточняются и дополняются данные экспериментальных исследований, сопоставляются представления о том, каким образом личностные и психофизиологические особенности работника проявляются в их реальном поведении [14–17]. В ходе беседы вопросы формируются так, чтобы оператор мобильного технического средства мог легко на них отвечать. При этом обращается внимание на отношение работника к обсуждаемому вопросу (безразличное, рассудочно положительное или отрицательное, позитивно или негативно эмоционально окрашено), выясняются причины подобного отношения, степень связи его с особенностями личности. В ходе беседы необходимо также обращать внимание на позы, жесты, мимику, интонацию речи оператора, его внешний вид (одежду, обувь, прическу и т. д.).

Одним из методов определения профессионально важных признаков работника является текстология, позволяющая объективным путем установить его принадлежность к тому или иному комплексу индивидуально-типологических свойств нервной системы человека.

Основными свойствами нервных процессов являются их сила, уравновешенность, подвижность. Выделяются четыре четко ограниченных типа нервной деятельности (меланхолик, холерик, сангвиник, флегматик), свойства которых представлены в таблице 1.14.

Качества, характерные для темпераментов [11]

№ п/п	Тип темперамента	Свойства, присущие темпераменту
1.	Холерический (сильный, безудержный)	Подвижный, неуравновешенный, увлеченный делом, целеустремленный, порывистый, раздражительный, вспыльчивый, прямолинейный, агрессивный
2.	Сангвинистический (сильный, живой)	Подвижный, уравновешенный; приспособляемость, общительность, контактность, жизнерадостность, склонность к лидерству, увлеченность интересным делом
3.	Флегматический (сильный с инертными нервными процессами)	Спокойный, уравновешенный; управляемость, доброжелательность, миролюбие, осмотрительность, пассивность, упорство
4.	Меланхолический (слабый тип, характеризуется слабостью как возбудительного, так и тормозного процессов)	Спокойный, неуравновешенный; выдержка, рассудительность, пессимистичность, тревожность, мнительность, замкнутость

Наличие индивидуально-типологических особенностей нервной системы имеет исключительно важное значение для профессионального отбора специалистов.

Для обеспечения достаточно высокой прогностической ценности и надежности методик при их подборе, а также при практическом использовании в процедуре профотбора, необходимо выполнять ряд требований [11]:

- методики должны позволять исследовать и оценивать именно те психофизиологические качества, которые являются профессионально значимыми для того или иного вида деятельности и выявлены в результате ее профессиографического исследования;

– методики должны быть такими, чтобы их использование не требовало какой-либо специальной, длительной подготовки испытуемых. Они должны быть простыми и, по возможности, обеспечивать массовое обследование при участии ограниченного количества обслуживающего персонала;

– создание и поддержание в период обследования стандартности: обстановки и методик обследования, инструкции, организационных форм эксперимента, формы регистрации, анализа и интерпретации результатов исследования. Недостаточная стандартизация условий проведения исследования приводит к понижению надежности методик, а, следовательно, и их ценности.

Методы исследования выбираются в соответствии с требованиями, предъявляемыми характером и условиями труда к психофизиологическим качествам операторов. С методологической точки зрения наиболее разработанными в настоящее время являются принципы построения и использования тестового метода для решения задач профессионального отбора [18].

При применении тестовых методов необходимо иметь в виду, что одни из профессионально значимых качеств могут развиваться и совершенствоваться в процессе обучения и специальных тренировок. Другие – довольно устойчивые и требуют для своего совершенствования значительного времени. Третьи (например, свойства нервной системы, темперамент и др.) – могут сохранять индивидуальные черты и особенности, оставаясь практически неизменными на протяжении всей жизни человека [19].

Завершающим этапом проведения профессионального отбора является построение модели профессиональной пригодности. Эта задача может быть решена различными математическими методами, в том числе методом «критерий знаков». Это непараметрический метод, позволяющий легко проверить, повлияла ли независимая переменная на выполнение задания испытуемыми. При этом методе сначала подсчитывают число испытуемых, у которых результаты снизились, а затем сравнивают его с тем числом, которого можно было ожидать на основе чистой случайности, далее определяют разницу между этими двумя числами, чтобы выяснить, насколько она достоверна. При подсчетах результаты, свидетельствующие о повышении эффективности, берут со знаком плюс, а о снижении – со знаком минус; случаи отсутствия разницы не учитывают [11].

1.6.3 Меры повышения устойчивости организма к вредным условиям труда

Управлять адаптацией, способствовать повышению выносливости своего организма – эту цель должны ставить перед собой люди. Самое главное условие для поддержания устойчивого гомеостаза организма, а следовательно, и механизма адаптационных процессов – гармонизация жизнедеятельности человека со средой его обитания. Одно из необходимых условий для этого – своевременное и рациональное питание. Недостаточность или избыточность питания и нарушение соотношений питательных веществ в рационе питания сказываются на деятельности организма, снижают его сопротивляемость и, следовательно, способности к адаптации. Благоприятные условия труда и отдыха, в том числе режим сна и бодрствования, отдыха и труда – также необходимое условие нормального функционирования организма [20].

Особую роль играет физическая активность. Она формирует нервные механизмы управления, активизирует взаимодействие организма с внешней средой, способствует развитию организма в целом. Движение – обязательный компонент работы всех анализаторов, оно необходимо для получения информации, развития психики. Особенности двигательной деятельности делают ее средством повышения тренированности обмена веществ, достаточно экономичной траты энергии в покое, способности организма наиболее совершенно утилизировать кислород, усиления функционирования ферментативных систем. Резистентность как результат физической активности обусловлена также повышением координации и более тонкой регуляцией в деятельности систем кровообращения, дыхания и т. д. Все эти механизмы в значительной мере являются неспецифическими. Благодаря их наличию облегчается становление адаптационных реакций по отношению к широкому спектру факторов.

Жизнь современного человека весьма мобильна, и в обычных условиях его организм непрерывно адаптируется к целому комплексу природно-климатических и социально производственных факторов (рисунок 1.2). «Цена адаптации» зависит от дозы воздействующего фактора и индивидуальных особенностей организма. Доза воздействия и переносимость зависят от наследственных и генетических особенностей организма, продолжительности и силы (интенсивности) воздействия фактора. Стресс из звена адаптации

может при чрезмерно сильных воздействиях среды трансформироваться в развитие разнообразных заболеваний [20].



Рис. 1.2. Адаптация к условиям окружающей среды и управление здоровьем человека [20]

Разработка и применение методов и средств повышения неспецифической и специфической устойчивости организма, его адаптационных возможностей, а также разработка методов и средств, повышающих компенсаторные возможности организма к действию чрезмерных, выходящих за пределы адаптационных возможностей, уровней и концентраций повреждающих факторов среды приведет к улучшению жизнедеятельности организма [20].

Разнообразие возникающих у человека мыслей и эмоций способствует как его спасению, так и гибели. Страх, волнение, раздражение, разочарование, чувство вины, депрессия и одиночество – основные реакции на стрессовые факторы. Правильный их контроль может увеличить вероятность выживания. Поэтому необходимы тренировки, чтобы дать отпор страху и принять необходимые меры к обеспечению жизнедеятельности и безопасности. Если человек не может правильно контролировать свои эмоции, развивается

бездействие. Вместо того, чтобы привести в действие свои внутренние ресурсы, человек начинает прислушиваться к своим страхам. Он потерпит психологическое поражение еще до того, как погибнет физически. В таких случаях необходимо подготовить себя к условиям выживания, то есть к активным, целесообразным действиям, направленным на сохранение жизни, здоровья и работоспособности в условиях автономного существования. Главный постулат выживания – человек может и должен сохранить здоровье и жизнь в самых суровых условиях, если он сумеет использовать в своих интересах все, что дает окружающая среда. Но для этого необходимы определенные знания и опыт. Прежде всего, необходимо: преодолеть стрессовое состояние, вызванное аварийной ситуацией; оказать первую доврачебную помощь пострадавшим; защититься от неблагоприятного воздействия факторов окружающей природной среды; обеспечить себя водой и пищей; определить собственное местоположение; установить связь и подготовить средства сигнализации. Разрешение этих и ряда других задач зависит от изобретательности и находчивости человека, его умения эффективно использовать аварийное снаряжение, подручные средства и полученные знания [20].

На основе сложившихся психологических установок и чувства уверенности в своих силах (подкрепленного позитивным опытом саморегуляции) применяют саморегуляцию и самовнушение: самоприказы, самоубеждения: «Я могу! Я добьюсь! Я выдержу! Я доведу дело до конца! Я преодолею состояние апатии, напряженности, чрезмерного возбуждения!» и т. д. Реализуя опыт аутотренинга, проводимого с помощью психолога, врача, человек осуществляет мышечную релаксацию, внушает себе чувство спокойствия, укрепляет уверенность в успехе, преодолевает эмоциональную напряженность, стимулирует себя к успешному продолжению трудовой деятельности. Эмоциональное напряжение может пойти на убыль, если внимание человека переключается от причины гнева, печали или радости на их внешние проявления – выражение лица, слезы или смех и т. д. Это говорит о том, что эмоциональное и физическое состояния человека взаимосвязаны и взаимно влияют друг на друга. Поэтому одинаково правомерны утверждения: «Мы смеемся, потому что нам весело» и «Нам весело, потому что мы смеемся». Самый простой, но достаточно эффективный способ эмоциональной саморегуляции – расслабление мимической мускулатуры. Научившись расслаблять

лицевые мышцы, а также произвольно и сознательно контролировать их состояние, можно научиться управлять и соответствующими эмоциями [20].

Важным резервом в стабилизации своего эмоционального состояния является совершенствование дыхания. Как ни странно, не все люди умеют правильно дышать. Неумение правильно дышать способствует быстрому утомлению. Эффективной эмоциональной саморегуляции способствует также использование приемов воображения или визуализации. Визуализация – это создание внутренних образов в сознании человека, т. е. активизация воображения с помощью слуховых, зрительных, вкусовых, обонятельных, осязательных ощущений, а также их комбинаций. Визуализация помогает человеку активизировать его эмоциональную память, воссоздать те ощущения, которые он испытал когда-то. Воспроизведя в сознании образы внешнего мира, можно быстро отвлечься от напряженной ситуации, восстановить эмоциональное равновесие [20].

Первым шагом к успеху в любом начинании является психологическая установка на успех, абсолютная уверенность в том, что цель будет достигнута. Необходимо приучить себя к успеху, удаче, сделать ее само собой разумеющейся, привычной. Хранить в своей памяти негативные представления равнозначно медленному самоубийству. Упражнения «вдохновения» состоят в «репетировании» напряженной ситуации обязательно в условиях успеха, с использованием цветowych и пространственных представлений [9].

Анализ совокупности негативных факторов, действующих в настоящее время в техносфере, показывает, что приоритетное влияние имеют антропогенные негативные воздействия, среди которых преобладают техногенные, сформировавшиеся в результате преобразующей деятельности человека и изменений в биосферных процессах, обусловленных этой деятельностью. Используемые в настоящее время организационно-технические мероприятия не позволяют в полной мере решать задачи обеспечения безопасности труда на объектах АПК, прогнозировать возможный уровень производственного риска, а используемые информативные признаки, получаемые при идентификации опасности условий труда, носят нечеткий характер. В каждом конкретном случае необходимо выявление «адресности» факторов риска, роли и места каждого из них, что позволило бы целенаправленно прогнозировать развитие рискованных ситуаций в АПК, своевременно разрабатывать меры по снижению последствий их влияния.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ АПК

2.1 Влияние функционального состояния компонент эргатической системы на техносферную безопасность сельскохозяйственного производства

Для исследования вероятности безопасного функционирования технологической системы производства сельскохозяйственной продукции на примере кормоуборки принимается во внимание, что каждая отдельно взятая ее компонента выполняет свои функции и при отказе вся система переходит в неработоспособное состояние. Учитывая это, следует воспользоваться аналитическими зависимостями, полученными согласно графу состояний (рисунок 2.1) системы «оператор–комбайн–среда–транспорт»:

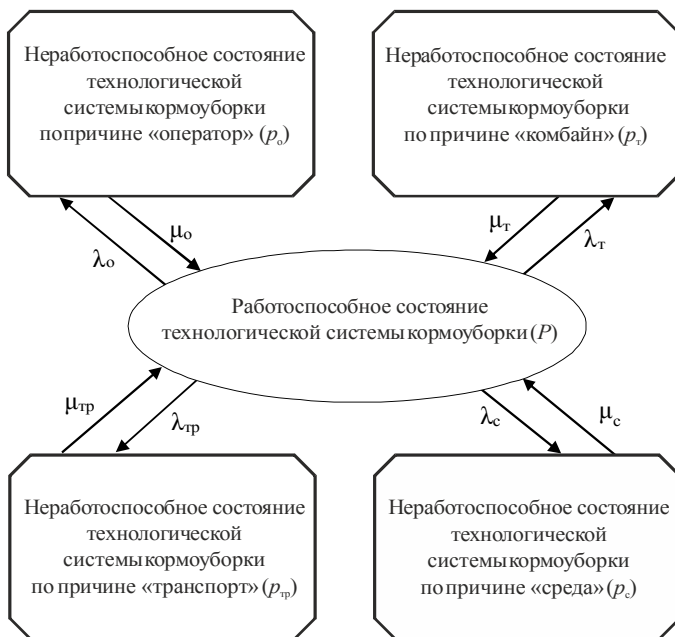


Рис. 2.1. Граф состояний системы «оператор–комбайн–среда–транспорт» на уборке кормовых культур [1]

$$\begin{cases} \frac{dP}{dt} = -\lambda_o P + \mu_o p_o - \lambda_T P + \mu_T p_T - \lambda_{TP} P + \mu_{TP} p_{TP} - \lambda_c P + \mu_c p_c; \\ \frac{dp_o}{dt} = \lambda_o P - \mu_o p_o; \\ \frac{dp_T}{dt} = \lambda_T P - \mu_T p_T; \\ \frac{dp_{TP}}{dt} = \lambda_{TP} P - \mu_{TP} p_{TP}; \\ \frac{dp_c}{dt} = \lambda_c P - \mu_c p_c. \end{cases} \quad (2.1)$$

При стационарном режиме работы системы и нормировочном условии

$$P + p_o + p_T + p_{TP} + p_c = 1 \quad (2.2)$$

система имеет (2.1) следующие решения:

$$\begin{cases} P = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_o}{\mu_o} + \frac{\lambda_T}{\mu_T} + \frac{\lambda_{TP}}{\mu_{TP}} + \frac{\lambda_c}{\mu_c}}; \\ p_o = \frac{\lambda_o}{\mu_o} P, \\ p_T = \frac{\lambda_T}{\mu_T} P, \\ p_{TP} = \frac{\lambda_{TP}}{\mu_{TP}} P, \\ p_c = \frac{\lambda_c}{\mu_c} P. \end{cases} \quad (2.3)$$

Если обозначить

$$\frac{\lambda_i}{\mu_i} = \rho_i, \quad (2.4)$$

где $i = \langle o \rangle, \langle T \rangle, \langle c \rangle, \langle TP \rangle$;

ρ_i – приведенная плотность потока отказов, то

$$p_i = \rho_i P_i. \quad (2.5)$$

Параметры λ_i , μ_i представляют собой параметр потока отказов и параметр потока их восстановления соответственно и определяются расчетным путем по данным хронометража рабочего дня комбайнера (водителя). Совокупность всех отказов по причинам «оператор» p_o , «комбайн» p_t , «окружающая среда» p_c и «транспорт» p_{tr} с учетом вероятностей поступления и их взаимосвязи составляют модель отказов системы:

$$P_i = K_i + \sum_{ij=1}^4 (A_{ij} \rho_i), \quad (2.6)$$

где $j = 1, 2, 3, 4$;

K_i – константа уравнения, соответствующая причинам отказов функционирования технологической системы уборки кормовых культур;

$A_{i,j}$ – коэффициенты при независимых переменных, соответствующих указанным причинам;

ρ_i – приведенная плотность потока отказов по причинам «оператор», «комбайн», «среда», «транспорт».

Константа уравнения рассчитывается следующим образом:

$$K_i = \frac{t_p}{t_p + t_i}, \quad (2.7)$$

где t_i – время всех простоев по причинам «оператор», «комбайн», «среда», «транспорт»;

t_p – время простоев отдельно взятых компонент системы.

При независимых отказах их плотность для системы в целом Ψ_s будет определяться как сумма приведенных плотностей всех ее компонент:

$$\Psi_s = \sum_{i="o", "t", "c", "tr"} \rho_i. \quad (2.8)$$

Учитывая условия независимости отказов компонент «оператор», «комбайн», «среда», «транспорт» и то, что их возникновение приводит к отказу всей системы, вероятность ее безотказной работы находится по формуле

$$P = P_o P_T P_c P_{Tp}, \quad (2.9)$$

где P_o, P_T, P_c, P_{Tp} – вероятности безотказной работы соответствующих компонент системы. Выразив P_o, P_T, P_c, P_{Tp} через вероятности отказов p_i , можно записать:

$$P = (1 - p_o)(1 - p_T)(1 - p_c)(1 - p_{Tp}). \quad (2.10)$$

Так как

$$p_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i} P = \rho_i P,$$

то формула (2.10) примет вид:

$$P = \prod_{i="o", "T", "c", "Tp"} (1 - \rho_i P) = (1 - \rho_o P)(1 - \rho_T P)(1 - \rho_c P)(1 - \rho_{Tp} P). \quad (2.11)$$

Преобразованное уравнение (2.11) будет выглядеть следующим образом:

$$\rho_o \rho_T \rho_c \rho_{Tp} P^4 + \sum_{i,j=1}^4 \rho_i \rho_j P + P(1 + \sum_{i,j=1}^4 \rho_i) - 1 = 0. \quad (2.12)$$

После введения в уравнение (2.12) обозначений

$$a = \rho_o \rho_T \rho_c \rho_{тр};$$

$$b = - \sum_{i,j="o","T"}^{ "c","тр" } \rho_i \rho_j; \quad c = 1 + \sum_{i,j="o","T"}^{ "c","тр" } \rho_i; \quad d = -1, \quad (2.13)$$

оно примет вид:

$$aP^3 + bP^2 + cP + d = 0. \quad (2.14)$$

Далее уравнение (2.14) следует почленно разделить на $a \neq 0$, ввести новую переменную

$$y = P + \frac{b}{3a} \quad (2.15)$$

и проделать соответствующие алгебраические преобразования:

$$y^3 + 3my + 2n = 0, \quad (2.16)$$

где

$$3m = \frac{3ac - b^2}{3a^2}; \quad 2n = \frac{2b^3}{27a^3} - \frac{bc}{3a^2} + \frac{d}{a}. \quad (2.17)$$

Число действительных корней уравнения зависит от знака дискриминанта:

$$D = n^2 + m^3. \quad (2.18)$$

Необходимо принять во внимание возможные варианты, когда $D > 0$, $D < 0$, $D = 0$, и проделать алгебраические преобразования:

$$\begin{aligned} P = 1 - \rho_o - \rho_T - \rho_c - \rho_{тр} + \rho_o \rho_T + \rho_o \rho_{тр} + \\ + \rho_o \rho_c + \rho_T \rho_{тр} + \rho_T \rho_c + \rho_c \rho_{тр} - \rho_o \rho_c \rho_{тр} - \\ - \rho_o \rho_T \rho_{тр} - \rho_o \rho_T \rho_c - \rho_T \rho_c \rho_{тр} + \rho_o \rho_T \rho_c \rho_{тр}. \end{aligned} \quad (2.19)$$

В производственных условиях имеют место различные возможные случаи. Если $p_o = p_\tau = p_c = p_{\text{тр}} = p_1$ (вероятности отказов компонент технологической системы кормоуборки равны), тогда

$$P = (1 - p_1)^4. \quad (2.20)$$

Максимальная безопасность функционирования технологической системы кормоуборки будет равна 1 при $p_o = p_\tau = p_c = p_{\text{тр}} = 0$. Тогда с учетом формулы (2.20) вероятности отказов компонент системы находятся из следующего выражения:

$$p_o = p_\tau = p_c = p_{\text{тр}} = 1 - \sqrt[4]{P}. \quad (2.21)$$

Так как

$$P = \frac{1}{1 + \sum_{i="o", "\tau", "c", "\text{тр}"} p_i},$$

то

$$p_o = p_\tau = p_c = p_{\text{тр}} = 1 - \sqrt[4]{1 + \sum_{i="o", "\tau", "c", "\text{тр}"} p_i}. \quad (2.22)$$

Если $p_o = p_\tau \neq p_c \neq p_{\text{тр}}$. Тогда $P = (1 - p_o)^3 (1 - p_{\text{тр}})$.

Откуда

$$(1 - p_o)^3 = \frac{P}{1 - p_{\text{тр}}}.$$

Так как уравнение одно, а неизвестных величин две ($p_o = p_\tau = p_c$ и $p_{\text{тр}}$), то имеется множество решений (зависимые решения). То есть, задавая $p_{\text{тр}}$, получают значения $p_o = p_\tau = p_c$ по формуле

$$p_o = p_T = p_c = 1 - \frac{1}{\sqrt[4]{(1 - p_{Tp}) \left(1 + \sum_{i="o", "Tp"}^{ "c", "Tp" } \rho_i \right)}}. \quad (2.23)$$

При $p_o \neq p_T \neq p_c \neq p_{Tp}$ получают уравнение (2.23), которое имеет множество решений.

При $p_o = p_T = p_{Tp}$ и $p_c = 0$ безопасность функционирования технологической системы кормоуборки зависит от безопасности труда оператора, надежности функционирования комбайна и транспорта и не зависит от состояния окружающей среды. Вероятности отказов компонент «оператор», «комбайн», «транспорт» определяются из зависимости

$$p_o = p_T = p_{Tp} = 1 - \frac{1}{\sqrt[4]{1 + \sum_{i="o", "T"}^{ "Tp" } \rho_i}}. \quad (2.24)$$

Если $p_o = p_T = p_{Tp} = 0$, то

$$p_c = 1 - \frac{1}{1 + \rho_c}. \quad (2.25)$$

В этом случае безотказное и безопасное функционирование технологической системы кормоуборки полностью зависит от факторов окружающей среды p_c .

При $p_o = 0$ и $p_T \neq p_c$ отказов по причине «оператор» нет. Этот вариант приближен к автоматизированному технологическому процессу без участия оператора:

$$p_T = 1 - \frac{1}{(1 - p_c) \sqrt[4]{1 + \sum_{i=T}^c \rho_i}}. \quad (2.26)$$

Случай при $p_{\tau} = p_{\text{тр}} = 0$ и $p_c \neq 0$ возможен, когда по причинам «комбайн» и «транспорт» отказов не возникает:

$$p_o = 1 - \frac{1}{(1 - p_c) \sqrt{1 + \sum_{i=0}^c \rho_i}}. \quad (2.27)$$

Ситуация при $p_c = p_{\text{тр}} = 0$ и $p_o \neq p_{\tau}$ возможна, когда окружающая среда не оказывает влияния на безопасность технологической системы, т. е. $P = (1 - p_o)(1 - p_{\tau})$. Тогда, зная p_{τ} , можно вычислить p_o по формуле

$$p_o = 1 - \frac{1}{(1 - p_{\tau}) \sqrt{1 + \sum_{i=0}^{\tau} \rho_i}}. \quad (2.28)$$

В случае, если $p_c = p_{\tau} = p_{\text{тр}}$ и $p_o \neq 0$, безопасность функционирования кормоуборки полностью зависит от человеческого фактора:

$$p_o = 1 - \frac{1}{1 + \rho_o}. \quad (2.29)$$

При $p_o = p_{\tau} = p_c = 0$ и $p_{\text{тр}} \neq 0$ кормоуборка определяется техническим состоянием транспортного средства, обслуживающего комбайн:

$$p_{\text{тр}} = 1 - \frac{1}{1 + \rho_{\text{тр}}}. \quad (2.30)$$

2.2 Оценка уровня загрязнения почвы как индикатора техногенного воздействия на здоровье населения

Оценка уровня загрязнения почв проводится по показателям, разработанным при сопряженных геохимических и геогигиенических исследованиях окружающей среды. Такими показателями являются коэффициент концентрации химического вещества K_c ,

(определяется отношением фактического содержания определяемого вещества в почве C_i к региональному фоновому значению $C_{\phi i}$, $K_c = \frac{C_i}{C_{\phi i}}$) и суммарный показатель загрязнения Z_c , (сумма коэффициентов концентраций химических элементов загрязнителей

$$Z_c = \sum(K_{ci} + \dots + K_{ci}) - (n-1),$$

где n – число определяемых суммируемых веществ;

K_{ci} – коэффициент концентрации i -го компонента загрязнения.

Анализ распределения геохимических показателей дает пространственную структуру загрязнения селитебных территорий и воздушного бассейна и позволяет выделить зоны риска для здоровья населения. К основным же задачам санитарной охраны почвы относятся: сохранение естественных свойств почвы и предупреждение внесения в почву токсичных, канцерогенных веществ с выбросами и отходами предприятий и пестицидами, применяемыми в сельском хозяйстве.

Следует отметить, что загрязнение почвы – это и появление в ней химических соединений, не являющихся ее естественной составной частью и не свойственных почве данного типа. Внесение в почву огромного количества химических удобрений, пестицидов, промышленных отходов способствует образованию искусственных геохимических провинций с измененным составом и свойствами почвы. Так, около промышленных предприятий образуются техногенные биохимические провинции с повышенным содержанием в биосфере свинца, мышьяка, фтора, ртути, кадмия, марганца, никеля и других элементов, представляющих реальную опасность прямого и косвенного влияния на организм.

Большое влияние на состав почвы оказывает химизация сельского хозяйства [5]. В гигиеническом отношении особое значение имеют пестициды, очень устойчивые к воздействию внешних факторов. Систематическое применение пестицидов ведет к их накоплению в атмосферном воздухе, воде и почве, продуктах растительного и животного происхождения, организме человека. К таким препаратам относятся хлорорганические соединения, в частности ДДТ.

Для оценки выбросов автотранспорта на почву используются результаты химического анализа образцов почвы, отобранных на различных расстояниях в пределах 100 м по обеим сторонам магистрали. Загрязнения по мере увеличения расстояния от полотна дороги снижаются, но определенное отклонение от этой закономерности свойственно соединениям цинка, максимальное содержание которого нередко регистрируется на некотором расстоянии от проезжей части. Загрязнение почв тяжелыми металлами в придорожной полосе связано с продолжительностью эксплуатации дорог.

Почва имеет большое эпидемиологическое значение. В ней могут находиться и передаваться человеку контактным и непрямым путем (через пыль, воду, животных, пищевые продукты, напитки) возбудители многих инфекционных заболеваний, а также яйца и личинки гельминтов. Поэтому необходимо постоянно наблюдать за состоянием почвы, выбрав для контроля приоритетные загрязняющие вещества, и разрабатывать мероприятия для ее охраны. Этот выбор определяется, прежде всего, степенью опасности и токсичности загрязнителей и их влиянием на здоровье человека.

2.3 Исследование вероятности возникновения травмоопасной производственной ситуации при эксплуатации технических средств (на примере уборки кормовых культур)

Как любые факторы производственной обстановки, так и любые целесообразные действия персонала в трудовом процессе становятся опасными для работника только в определенной взаимосвязи в рамках опасной производственной ситуации [21]. Функционирование уборочно-транспортного процесса кормоуборки, например, с позиции теории вероятностей можно рассматривать как последовательность наступающих поочередно одно за другим в случайные моменты времени таких событий (технологических операций), как скашивание растительной массы, ее измельчение с одновременной погрузкой в транспортное средство и отвозкой массы к месту хранения, т. е. как поток событий и отказов, возникающих в процессе выполнения технологических операций в течение рабочего дня по причинам «оператор», «комбайн», «транспорт», «среда». Рассматриваемый поток событий – простейший (обладает основными

свойствами: стационарностью, отсутствием последействия и ординарностью). Свойство стационарности для этого потока событий с определенной долей приближения можно считать приемлемым; появление такого события, как отказ, не зависит от того, какие отказы возникали раньше или возникнут в будущем, а также от их количества; появление одновременно двух и более событий – отказов кормоуборочного комбайна – практически невозможно. Поток событий отказов относится к простейшему и в том случае, когда суммарный поток состоит из большого числа независимых между собой стационарных потоков, каждый из которых мало влияет на действия суммарного [22]. В качестве отдельно взятых потоков событий могут служить потоки отказов, классифицируемые по признаку их принадлежности не только к «комбайну», но и к «оператору», «среде», «транспорту», появляющиеся независимо друг от друга [1]. Таким образом, представляя уборочно-транспортный процесс кормоуборки как функционирование технологической системы «оператор–комбайн–среда–транспорт», состояния которой изменяются под воздействием простейшего потока событий, можно считать эту систему «марковским процессом». Такой процесс иллюстрирует теория графов состояния, согласно которой обозначается состояние всей рассматриваемой системы (рисунки 2.1–2.2).

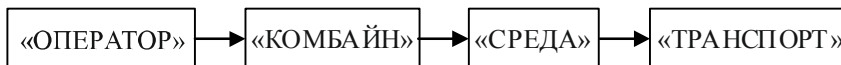


Рис. 2.2. Компоненты уборочно-транспортного процесса кормоуборки [1]

В рассматриваемом подходе построения графа состояний (см. рисунок 2.1) технологической системы уборки кормовых культур используются следующие обозначения: P – вероятность безотказной работы системы; p_o , p_t , p_{tr} , p_c – вероятности неработоспособного состояния системы по причинам отказа ее компонент – «оператор», «комбайн», «транспорт», «среда» соответственно; λ_o , λ_t , λ_{tr} , λ_c – параметр потока отказов системы по причинам «оператор», «комбайн», «транспорт», «среда» соответственно; μ_o , μ_t , μ_{tr} , μ_c – параметр потока восстановления компонент системы.

При рассмотрении системы «человек–машина» с транспортным обслуживанием работники, участвующие в процессе (комбайнер,

водитель транспортного средства), объединены в один элемент – «оператор». «Оператор» может рассматриваться как самостоятельная функционирующая подсистема со своими составляющими [1]:

$$P_o = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_o^T}{\mu_o^T} + \frac{\lambda_o^{TP}}{\mu_o^{TP}}} \text{ или } P_o = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_{oi}}{\mu_{oi}}}, \quad (2.31)$$

где P_o – надежность функционирования компоненты «оператор»;

$\sum_{i=1}^n \frac{\lambda_{oi}}{\mu_{oi}}$ – суммарная приведенная плотность потока отказов всех

операторов технических средств, участвующих в процессе.

Более полную оценку уровня безопасности труда (травмирования операторов технических средств) при эксплуатации кормоуборочных комбайнов можно получить, если рассматривать такие компоненты исследуемого процесса, как «оператор», «комбайн», «среда», «транспорт», во взаимосвязи, в которой должны быть отражены, с одной стороны, уровень профессиональной подготовки оператора, с другой – показатели эксплуатационной надежности технических средств [23]. Тогда вероятность безопасной эксплуатации системы «человек–машина» $P_{\text{чм}}$ можно рассчитать, используя следующее выражение [22]:

$$P_{\text{чм}} = 1 - P_{\text{отк}}, \quad (2.32)$$

где $P_{\text{отк}} = \frac{K_{\text{ч}}}{1000}$ – вероятность отказа системы «человек–машина».

Если воспользоваться положениями теории вероятностей относительно оценок случайных событий, каковыми являются факты травмирования, то вероятность отказа функционирования системы «человек–машина» $P_{\text{отк}}$ при независимом и зависимом видах связи между составляющими ее элементами соответственно [22]:

$$P_{\text{отк}} = p_o p_T; \quad (2.33)$$

$$P_{\text{отк}} = p_o + p_T - p_o p_T, \quad (2.34)$$

где p_o – вероятность опасного действия оператора, приводящего к отказу кормоуборочного комбайна;

p_T – вероятность отказа кормоуборочного комбайна.

Немаловажное значение для оценки вероятности опасного действия оператора технического средства имеет состояние функционального напряжения организма в процессе работы, которое характеризуется воздействием на него эмоциогенных раздражителей, информационной перегрузкой q и развивается в результате появления отрицательных эмоций [24]:

$$q = P\left(\sum_{i=1}^k A_i\right), \quad (2.35)$$

где $P(A_i)$ – вероятность опасного действия оператора [25].

При рассмотрении в целом технологического процесса уборки сельскохозяйственных культур наиболее значимым является непосредственное комбайнирование (работоспособность и эксплуатационная безопасность уборочной техники). Но рассматриваемая технологическая система переходит в неработоспособное состояние и при отказе компоненты «транспорт», поэтому решить задачу повышения безопасности ее функционирования с учетом снижения простоев кормоуборочных комбайнов возможно за счет оптимальной организации использования транспортных средств. Для моделирования такого процесса следует применить математический аппарат теории массового обслуживания.

Например, парк комплекса для уборки кормовых культур состоит из m комбайнов. Загрузка и отвоз убранный растительной массы от комбайнов обеспечивается S единицами транспорта. Часть транспортных средств, обслуживающих комплекс комбайнов, простаивает, когда количество поступивших отказов комбайнов k больше числа единиц транспорта. Для этого случая следует рассмотреть вариант транспортного обслуживания кормоуборочных комплексов, включающих три и более комбайнов с совместной

организацией работы транспортных средств, способствующей увеличению интенсивности μ обслуживания. Функция $\mu(S)$, представляющая собой суммарную интенсивность транспортного обслуживания комбайнов, является неубывающей и при определенных значениях S достигает своего максимального постоянного уровня. Поскольку на практике число транспортных средств, обслуживающих кормоуборочные комплексы, ограничено ($S_{\max} = 3$), можно предположить, что в этих пределах интенсивность суммарного потока обслуживаний пропорциональна числу транспортных средств, т. е. $\mu(S) = \mu S$. Граф состояний системы транспортного обслуживания кормоуборочных комбайнов приведен на рисунке 2.3. Рассмотрим подробно все возможные состояния системы обслуживания и их вероятности.

В состоянии X_0 все комбайны работают, отказавших комбайнов нет. Все единицы транспорта задействованы и обслуживают комбайны. Это состояние достигается, если происходит одно из событий:

A – в момент времени t система транспортного обслуживания комбайнов находилась в состоянии X_0 , и за время Δt ни у одного из m кормоуборочных комбайнов не было отказа;

B – в момент времени t система находилась в состоянии X_1 : от одного комбайна поступил отказ, и он не загружал растительной массой транспорт, т. е. простаивал; за время Δt отказ комбайна был устранен и система пришла в состояние X_0 .

По теореме сложения вероятностей находится вероятность того, что в системе транспортного обслуживания комбайнов в момент времени $(t + \Delta t)$ не будет ни одного требования:

$$P_0(t + \Delta t) = P(A) + P(B) + O(\Delta t), \quad (2.36)$$

где $O(\Delta t)$ – бесконечно малая величина высшего порядка по сравнению с Δt .

Вероятность того, что в момент t система находилась в состоянии X_0 , равна $P_0(t)$. Вероятность того, что за время Δt не было отказа ни от одного из m кормоуборочных комбайнов, равна $e^{-\lambda m \Delta t} = 1 - \lambda m \Delta t + O(\Delta t)$. Тогда по теореме умножения вероятностей

$$P(A) = P_0(t)[1 - \lambda m \Delta t + O(\Delta t)]. \quad (2.37)$$

Так как вероятность того, что в момент времени t система находилась в состоянии X_1 , равна $P_1(t)$, а вероятность того, что за время Δt комбайн загружал растительную массу в транспортное средство, равна $1 - e^{-s\mu\Delta t} = s\mu\Delta t + O(\Delta t)$, тогда

$$P(B) = P_1(t)[s\mu\Delta t + O(\Delta t)]. \quad (2.38)$$

Подставив выражения (2.37), (2.38) в уравнение (2.36), получим:

$$\begin{aligned} P(B) &= P_1(t)[s\mu\Delta t + O(\Delta t)]; \\ P_0(t + \Delta t) &= P_0(t)[1 - \lambda m\Delta t + O(\Delta t)] + \\ &+ P_1(t)[s\mu\Delta t + O(\Delta t)]. \end{aligned} \quad (2.39)$$

Преобразовать уравнение (2.37):

$$\frac{P_0(t + \Delta t) - P_0(t)}{\Delta t} = -\lambda m P_0(t) + s\mu P_1(t) + O(\Delta t).$$

После перехода к пределу при $\Delta t \rightarrow 0$ получено обыкновенное линейное дифференциальное уравнение относительно $P_0(t)$:

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda m P_0(t) + s\mu P_1(t). \quad (2.40)$$

В пределе при $t \rightarrow \infty$ получено алгебраическое уравнение

$$-\lambda m P_0 + s\mu P_1 = 0. \quad (2.41)$$

В состоянии X_k от k комбайнов поступили отказы ($1 \leq k < m$), за время Δt не загружалось растительной массой ни одно из транспортных средств ($m - k$) и не были устранены отказы ни одного из k кормоуборочных комбайнов;

C – в момент времени t система находилась в состоянии X_k , за время Δt не загружалось растительной массой ни одно из транспортных

средств $(m - k)$ и не были устранены отказы ни одного из k кормоуборочных комбайнов;

D – в момент времени t система находилась в состоянии X_{k-1} , за время Δt от одного из $(m - k + 1)$ комбайнов поступил отказ и не один из $(k - 1)$ комбайнов не был восстановлен;

E – в момент времени t система находилась в состоянии X_{k-1} , за время Δt не поступило отказа ни от одного из $(m - k - 1)$ комбайнов, а у одного из $(k + 1)$ комбайнов отказы были устранены. Тогда

$$P_k(t + \Delta t) = P(C) + P(D) + P(E) + O(\Delta t). \quad (2.42)$$

Поскольку вероятность того, что в момент времени t система находится в состоянии X_k , равна $P_k(t)$, вероятность того, что за время Δt не поступило отказа ни от одного из $(m - k)$ кормоуборочных комбайнов, равна $[1 - \lambda(m - k)\Delta t + O(\Delta t)]$, а вероятность того, что за время Δt не устранены отказы ни у одного из k комбайнов, равна $[1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)]$, то по теореме умножения вероятностей

$$P(C) = P_k(t)[1 - \lambda(m - k)\Delta t + O(\Delta t)][1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)].$$

После преобразования получено выражение

$$P(C) = P_k(t)\{1 - [\lambda(m - k) + s\mu]\Delta t + O(\Delta t)\}; \quad (2.43)$$

$$1 \leq k < m.$$

Вероятность того, что в момент времени t система транспортного обслуживания комбайнов находилась в состоянии X_{k-1} , равна $P_{k-1}(t)$. Вероятность того, что за время Δt поступил отказ от одного из $(m - k + 1)$ комбайнов, равна $[\lambda(m - k + 1)\Delta t + O(\Delta t)]$. Вероятность того, что ни один из $(k - 1)$ отказавших кормоуборочных комбайнов не обслуживался транспортным средством за время Δt , равна $[1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)]$. Тогда

$$P(D) = P_{k-1}(t)[\lambda(m-k+1)\Delta t + O(\Delta t)][1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)] \quad (2.44)$$

или

$$P(D) = P_{k-1}(t)[\lambda(m-k+1)\Delta t + O(\Delta t)];$$

$$1 \leq k < m.$$

Так как вероятность того, что рассматриваемая система транспортного обслуживания комбайна в момент времени t находилась в состоянии X_{k+1} , равна $P_{k+1}(t)$, а вероятность того, что за время Δt ни у одного из $(m-k-1)$ комбайнов не было отказа:

$$[1 - \lambda(m-k-1)\Delta t + O(\Delta t)],$$

то $P(E) = P_{k+1}(t)[s\mu\Delta t + O(\Delta t)][1 - \lambda(m-k-1)\Delta t + O(\Delta t)].$

После преобразования получено выражение

$$P(E) = P_{k+1}(t)[s\mu\Delta t + O(\Delta t)]; \quad (2.45)$$

$$1 \leq k < m.$$

Таким образом, после подстановки формул (2.43–2.45) в уравнение (2.42)

$$P_k(t + \Delta t) = P_k(t)\{1 - \lambda(m-k) + s\mu\}\Delta t + O(\Delta t) +$$

$$+ P_{k+1}(t)[\lambda(m-k-1)\Delta t + O(\Delta t)] +$$

$$+ P_{k+1}(t)[s\mu\Delta t + O(\Delta t)] \quad (1 \leq k < m). \quad (2.46)$$

После преобразования выражения (2.46) получено:

$$\frac{P_0(t + \Delta t) - P_k(t)}{\Delta t} = -[\lambda(m-k) + s\mu]P_k(t) +$$

$$+ \lambda(m-k+1)P_{k+1}(t) + s\mu P_{k+1}(t);$$

$$1 \leq k < m.$$

В стационарном состоянии

$$\lambda(m-k+1)P_{k+1} - [\lambda(m-k) + s\mu]P_k + s\mu P_{k+1} = 0; \quad (2.47)$$

$$1 \leq k < m.$$

Состояние X_m , когда все кормоуборочные комбайны не обслуживаются транспортными средствами ($k = m$), достигается, если происходит одно из событий:

F – в момент времени t от всех m комбайнов поступили отказы, и ни одно из S транспортных средств не загружалось за время Δt ;

G – в момент времени t система транспортного обслуживания комбайнов находилась в состоянии X_{m-1} , за время Δt от последнего работающего кормоуборочного комбайна поступил отказ, и ни одно из S транспортных средств не было загружено.

Тогда

$$P_m(t + \Delta t) = P(F) + P(G) + O(\Delta t). \quad (2.48)$$

Поскольку вероятность того, что в момент времени t рассматриваемая система находилась в состоянии X_m , равна $P_m(t)$, а вероятность того, что за время Δt ни одно из транспортных средств не было загружено, равна $[1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)]$, то

$$P(F) = P_m(t)[1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)]. \quad (2.49)$$

Вероятность того, что в момент времени t система транспортного обслуживания комбайнов находилась в состоянии X_{m-1} , равна $P_{m-1}(t)$, вероятность того, что за время Δt от последнего кормоуборочного комбайна поступил отказ, равна $[\lambda\Delta t + O(\Delta t)]$, вероятность того, что за время Δt ни одно из S транспортных средств не загружалось, $[1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)]$, тогда

$$P(G) = P_{m-1}(t)[\lambda\Delta t + O(\Delta t)][1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)] =$$

$$= P_{m-1}(t)[\lambda\Delta t + O(\Delta t)]. \quad (2.50)$$

После подстановки зависимостей (2.49), (2.50) в уравнение (2.48) получено:

$$\begin{aligned} P_m(t + \Delta t) &= P_m(t)[1 - s\mu\Delta t + O(\Delta t)] + P_{m-1}(t)[(\lambda\Delta t + O(\Delta t))] = (2.51) \\ &= P_m(t) - P_m(t)[s\mu\Delta t + O(\Delta t)] + P_{m-1}(t)[\lambda\Delta t + O(\Delta t)]. \end{aligned}$$

После преобразования выражения (2.51) получено:

$$\frac{P_m(t + \Delta t) - P_m(t)}{\Delta t} = \lambda P_{m-1}(t) - s\mu P_m(t) + O(\Delta t).$$

В стационарном состоянии

$$\lambda P_{m-1} - s\mu P_m = 0. \quad (2.52)$$

Полученные зависимости (2.51), (2.47), (2.52) составляют систему алгебраических уравнений, решение которой позволяет определить вероятности P_k наличия в системе транспортного обслуживания k комбайнов (при работе транспорта с взаимодействием) для стационарного состояния:

$$\begin{cases} -\lambda m P_0 + s\mu P_1 = 0; \\ (m - k + 1)P_{k-1} - [(m - k) + s\mu]P_k + s\mu P_{k+1} = 0; \\ 1 \leq k < m; \\ \lambda m P_{m-1} - s\mu P_m. \end{cases} \quad (2.53)$$

Из первого уравнения системы (2.53) найдено:

$$P_1 = m \frac{\lambda}{s\mu} P_0. \quad (2.54)$$

Второе уравнение системы (2.53) решается при $k = 1$ относительно P_2 :

$$\lambda m P_0 - \lambda(m-1)P_1 - s\mu P_1 + s\mu P_2 = 0. \quad (2.55)$$

После подстановки в зависимость (2.53) значения P_1 из (2.54) получено:

$$\lambda m P_0 - \lambda(m-1)m \frac{\lambda}{s\mu} P_0 - s\mu m \frac{\lambda}{s\mu} P_0 + s\mu P_2 = 0.$$

После преобразования

$$-\lambda(m-1)m \frac{\lambda}{s\mu} P_0 + s\mu P_2 = 0.$$

Отсюда

$$P_2 m(m-1) \left(\frac{\lambda}{s\mu} \right)^2 P_0. \quad (2.56)$$

Второе уравнение системы (2.53) при $k=2$ относительно P_3 :

$$\lambda(m-1)P_1 - [\lambda(m-2) + s\mu]P_2 + s\mu P_3 = 0. \quad (2.57)$$

После подстановки в выражение (2.57) значений P_1 из (2.54) и P_2 из (2.56) получено:

$$\begin{aligned} \lambda(m-1)m \frac{\lambda}{s\mu} P_0 - \lambda(m-2)m(m-1) \left(\frac{\lambda}{s\mu} \right)^2 P_0 - \\ - s\mu m(m-1) \left(\frac{\lambda}{s\mu} \right)^2 P_0 + s\mu P_3 = 0, \end{aligned}$$

или в конечном виде:

$$\lambda(m-2)m(m-1) \left(\frac{\lambda}{s\mu} \right)^2 P_0 + s\mu P_3 = 0. \quad (2.58)$$

Отсюда

$$P_3 = m(m-1) \left(\frac{\lambda}{s\mu} \right)^3 P_0.$$

Таким образом, из выражений (2.54), (2.56), (2.58) видно, что вероятность наличия в системе транспортного обслуживания k отказавших кормоуборочных комбайнов

$$P_k = m(m-1)\dots(m-k+1) \left(\frac{\lambda}{s\mu} \right)^k P_0 = \frac{m! \left(\frac{\rho}{s} \right)^k}{(m-k)!} P_0; \quad (2.59)$$

$$1 \leq k \leq m.$$

На основании зависимости (2.59) и нормирующего условия

$$\sum_{k=0}^m P_k = 1 \quad (2.60)$$

получены основные расчетные уравнения функционирования транспортного обслуживания кормоуборочных комбайнов:

– вероятность P_0 того, что система транспортного обслуживания комбайнов свободна, определяется из выражения

$$P_0 = \left[\sum_{k=0}^m \frac{m! \left(\frac{\rho}{s} \right)^k}{(m-k)!} \right]^{-1}, \quad (2.61)$$

– среднее число комбайнов m_2 , обслуживаемых транспортом и ожидающих выгрузку растительной массы в транспортное средство:

$$m_2 = \frac{\sum_{k=0}^m \frac{km! \left(\frac{\rho}{s} \right)^k}{(m-k)!}}{\sum_{k=0}^m \frac{m! \left(\frac{\rho}{s} \right)^k}{(m-k)!}}. \quad (2.62)$$

Полученные выражения (2.61) и (2.62) позволяют спрогнозировать безотказное и безопасное транспортное обеспечение кормоуборки.

2.4 Теоретическое обоснование производственной безопасности регулировочных воздействий при эксплуатации технических средств

Проведение регулировочных работ оператором МСХТ складывается из управленческих целенаправленных воздействий на техническое средство [26]. Для математического моделирования этого процесса воспользуемся математическим аппаратом теории целенаправленной механики человека [27], так как тело человека можно моделировать в виде агрегата твердых тел (звеньев), связанных между собой при помощи подвижных соединений. Рассмотрим модель руки человека, состоящую из трех звеньев [28] и способную вращаться относительно оси OZ (рисунки 2.4–2.5). Введем некоторые обозначения:

- ψ – угол поворота плоскости «трехзвенника» (руки);
- α – угол между горизонтальной плоскостью проекций XOY и плоскостью «трехзвенника», то есть угол наклона туловища оператора МСХТ;
- $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – углы ориентации звеньев «трехзвенника» в его плоскости;
- l_1, l_2, l_3 – длины звеньев имитирующих, соответственно, плечо, предплечье и кисть «трехзвенника»;
- C_1, C_2, C_3 – центры масс звеньев «трехзвенника»;
- $\left. \begin{matrix} x_1, y_1, z_1 \\ x_2, y_2, z_2 \\ x_3, y_3, z_3 \end{matrix} \right\}$ – координаты центров масс «трехзвенника»;
- D – точка крепления опорного сустава «трехзвенника» (руки) к плечевому суставу.

Положение рассматриваемой модели определяется четырьмя углами ($\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \psi$), если точка D неподвижна или движется заранее заданным образом. В этом случае модель имеет четыре степени свободы с обобщенными координатами $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \psi$. Уравнения связей (выражение (2.65) [28]), позволяют описать девять координат центров масс звеньев l_1, l_2, l_3 в виде функций от четырех обобщенных координат, а также определить закономерности

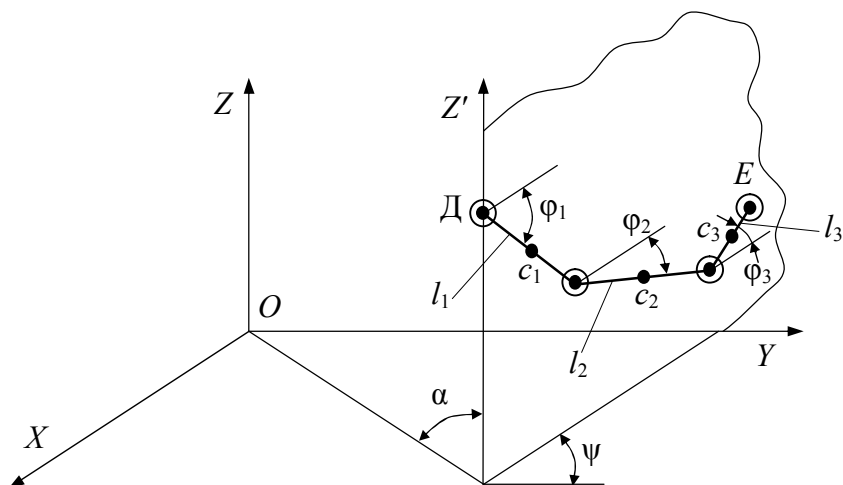


Рис. 2.4. «Трехзвенник» модели руки человека [28]

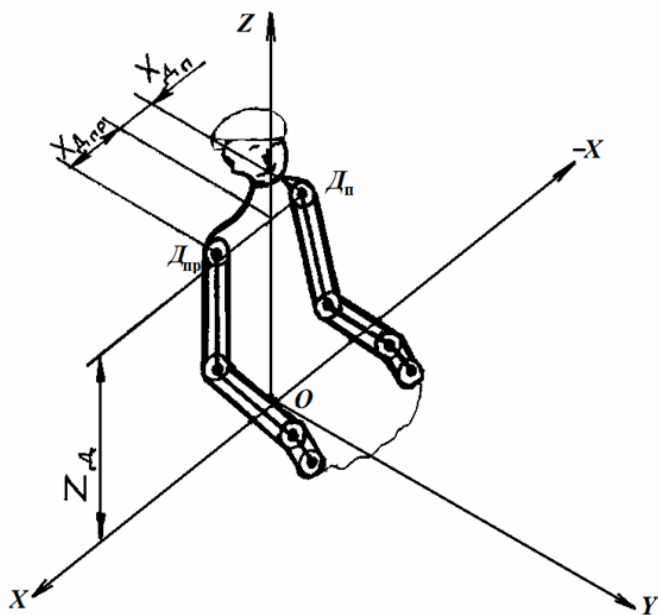


Рис. 2.5. Система координат для моделирования целенаправленной деятельности оператора МСХТ

$$\left. \begin{aligned}
 x_{\text{Д}} &= x_1 + \frac{l_1}{2} \cos \varphi_1 \sin \psi; \\
 y_{\text{Д}} &= y_1 - \frac{l_1}{2} \cos \varphi_1 \cos \psi; \\
 z_{\text{Д}} &= z_1 - \frac{l_1}{2} \sin \varphi_1; \\
 x_1 - \frac{l_1}{2} \cos \varphi_1 \sin \psi &= x_2 + \frac{l_2}{2} \cos \varphi_2 \sin \psi; \\
 y_1 + \frac{l_1}{2} \cos \varphi_1 \cos \psi &= y_2 - \frac{l_2}{2} \cos \varphi_2 \cos \psi; \\
 z_1 + \frac{l_1}{2} \sin \varphi_1 &= z_2 - \frac{l_2}{2} \sin \varphi_2; \\
 x_2 - \frac{l_2}{2} \cos \varphi_2 \sin \psi &= x_3 + \frac{l_3}{2} \cos \varphi_3 \sin \psi; \\
 y_2 + \frac{l_2}{2} \cos \varphi_2 \cos \psi &= y_3 - \frac{l_3}{2} \cos \varphi_3 \cos \psi; \\
 z_2 + \frac{l_2}{2} \sin \varphi_2 &= z_3 - \frac{l_3}{2} \sin \varphi_3,
 \end{aligned} \right\} \quad (2.63)$$

движения центров инерции трех звеньев модели руки («трех-звенника»):

$$\left. \begin{aligned}
 x_1 &= x_{\text{Д}} - \frac{l_1}{2} \cos \varphi_1 \sin \psi; \\
 y_1 &= y_{\text{Д}} + \frac{l_1}{2} \cos \varphi_1 \cos \psi; \\
 z_1 &= z_{\text{Д}} + \frac{l_1}{2} \sin \varphi_1; \\
 x_2 &= x_{\text{Д}} - \left(l_1 \cos \varphi_1 + \frac{l_2}{2} \cos \varphi_2 \right) \sin \psi; \\
 y_2 &= y_{\text{Д}} + \left(l_1 \cos \varphi_1 + \frac{l_2}{2} \cos \varphi_2 \right) \cos \psi; \\
 z_2 &= z_{\text{Д}} + l_1 \sin \varphi_1 + \frac{l_2}{2} \sin \varphi_2; \\
 x_3 &= x_{\text{Д}} - \left(l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 + \frac{l_3}{2} \cos \varphi_3 \right) \sin \psi; \\
 y_3 &= y_{\text{Д}} + \left(l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 + \frac{l_3}{2} \cos \varphi_3 \right) \cos \psi; \\
 z_3 &= z_{\text{Д}} + l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2 + \frac{l_3}{2} \sin \varphi_3.
 \end{aligned} \right\} \quad (2.64)$$

Положение конечной точки «трехзвенника» (точки E) (рисунок 2.6), принадлежащей третьему звену, имитирующему кисть руки оператора МСХТ, совпадает с положением рукоятки инструмента технологической регулировки узла технического средства, где l_p – рычаг (длина инструмента). Зная закон движения точки E, можно получить систему уравнений, позволяющую находить неизвестные координаты [27; 29]. Так, зависимость движения точки E (рисунок 2.6) в общем виде можно описать следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} x_E = f_1(t); \\ y_E = f_2(t); \\ z_E = f_3(t). \end{cases} \quad (2.65)$$

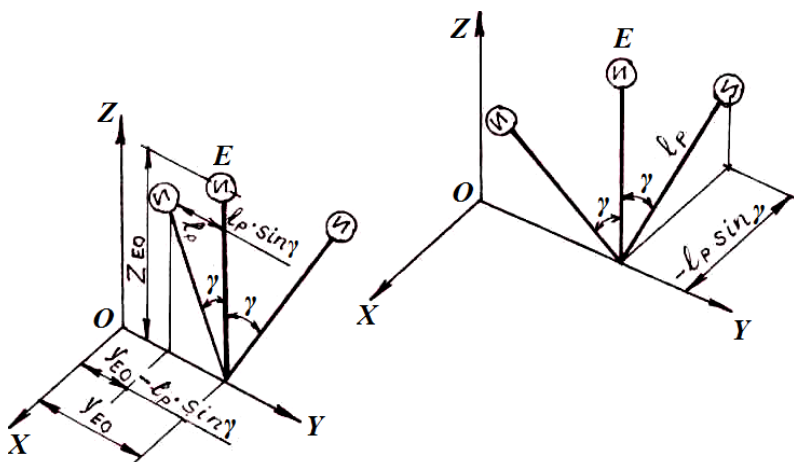


Рис. 2.6. Схемы для определения координат рукоятки инструмента технологической регулировки узла технического средства

Рассмотрим возможные варианты перемещения рукоятки инструмента технологической регулировки узла технического средства:
– при перемещении «к себе»:

$$\begin{aligned} f_1 &= x_{E_0} = \text{const}; \\ f_2 &= y_{E_0} - l_p \sin \gamma; \\ f_3 &= l_p \cos \gamma - h_p; \end{aligned} \quad (2.66)$$

– при перемещении «от себя»:

$$\begin{aligned}f_1 &= x_{E_0} = \text{const}; \\f_2 &= y_{E_0} + l_p \sin \gamma; \\f_3 &= l_p \cos \gamma - h_p;\end{aligned}\tag{2.67}$$

– при перемещении «вправо»:

$$\begin{aligned}f_1 &= x_{E_0} + l_p \sin \gamma; \\f_2 &= y_{E_0} = \text{const}; \\f_3 &= l_p \cos \gamma - h_p;\end{aligned}\tag{2.68}$$

– при перемещении «влево»:

$$\begin{aligned}f_1 &= x_{E_0} - l_p \sin \gamma; \\f_2 &= y_{E_0} = \text{const}; \\f_3 &= l_p \cos \gamma - h_p.\end{aligned}\tag{2.69}$$

В выражениях (2.66...2.69) приняты следующие обозначения:

– x_{E_0} , y_{E_0} , z_{E_0} – координаты рукоятки инструмента технологической регулировки узла технического средства находящегося в первоначальном положении;

– γ – угол изменения положения рукоятки инструмента технологической регулировки узла технического средства. Координата положения рукоятки совпадает со значением координаты z_{E_0} в первоначальном ее положении;

– h_p – высота от рукоятки инструмента технологической регулировки узла технического средства до поверхности пола кабины (или земли).

Положение конечной точки «трехзвенника», совпадающей с точкой, имитирующей положение рукоятки инструмента технологической регулировки определяется следующими координатами (выражения (2.70)...(2.71) [28]:

$$\begin{cases} x_E = x_D - (l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 + \frac{l_3}{2} \cos \varphi_3) \sin \psi; \\ y_E = y_D + (l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 + \frac{l_3}{2} \cos \varphi_3) \cos \psi; \\ z_E = z_D + l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2 + \frac{l_3}{2} \sin \varphi_3 \end{cases} \quad (2.70)$$

или

$$\begin{cases} x_E - x_D = -(l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 + \frac{l_3}{2} \cos \varphi_3) \sin \psi; \\ y_E - y_D = (l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 + \frac{l_3}{2} \cos \varphi_3) \cos \psi; \\ z_E - z_D = l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2 + \frac{l_3}{2} \sin \varphi_3. \end{cases} \quad (2.71)$$

С учетом выражений (2.70...2.71) можно записать:

$$\frac{x_E - x_D}{y_E - y_D} = \frac{-(l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 + \frac{l_3}{2} \cos \varphi_3) \sin \psi}{(l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 + \frac{l_3}{2} \cos \varphi_3) \cos \psi} = -\operatorname{tg} \psi, \text{ тогда}$$

$$\frac{x_E - x_D}{y_E - y_D} = -\operatorname{tg} \psi \text{ или } \operatorname{tg} \psi = \left| -\frac{x_E - x_D}{y_E - y_D} \right|, \text{ откуда}$$

угол поворота плоскости «трехзвенника» (руки) ψ равен:

$$\psi = \operatorname{arctg} \left| -\frac{x_E - x_D}{y_E - y_D} \right|. \quad (2.72)$$

Из выражения (2.71) можно записать

$$\begin{cases}
 (x_E - x_D)^2 = (l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 + \frac{l_3}{2} \cos \varphi_3)^2 \sin^2 \psi; \\
 (y_E - y_D)^2 = (l_1 \cos \varphi_2 + l_2 \cos \varphi_2 + \frac{l_3}{2} \cos \varphi_3)^2 \cos^2 \psi, \\
 \text{то есть} \\
 (x_E - x_D)^2 + (y_E - y_D)^2 = \left(l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 + \frac{l_3}{2} \cos \varphi_3 \right)^2, \\
 \text{откуда} \\
 \sqrt{(x_E - x_D)^2 + (y_E - y_D)^2} = l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 + \frac{l_3}{2} \cos \varphi_3; \\
 z_E - z_D = l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2 + \frac{l_3}{2} \sin \varphi_3.
 \end{cases} \quad (2.73)$$

Принимая наклон туловища (α) как его вращение относительно оси OX , можно находить новые координаты точки D :

$$\begin{cases}
 \dot{x}_D = \text{const} = x_D; \\
 \dot{y}_D = z_D \cos \alpha; \\
 \dot{z}_D = z_D \sin \alpha.
 \end{cases} \quad (2.74)$$

Результаты проведенных исследований (выражения (2.63)...(2.74) позволяют оценивать область досягаемости [28] i-й технологической регулировки технического средства, предлагать соответствующие рекомендации с точки зрения удобства, снижения риска травмирования выполнения регулировочных работ [28], с учетом коэффициентов учитывающих физиологически возможные показатели положения туловища, руки (таблица 2.1) [30], антропометрические характеристики оператора МСХТ (K_a), условия выполнения регулировочных работ при эксплуатации технического средства ($K_{т.р.}$), значения которого определены экспериментально ($K_{т.р.} = 0,4 \dots 1,0$). При неудобном расположении узлов технологических регулировок, частом их выполнении, в процессе эксплуатации

технического средства, оператору МСХТ приходится наклоняться в разные стороны, дотягиваясь до его узла, что приводит к быстрому утомлению, болевым ощущениям в суставах, снижению работоспособности и внимания. Область досягаемости для выполнения технологической регулировки технического средства оценивается в пять баллов, если выполняется условие [28]:

Таблица 2.1

Допустимые физиологически возможные значения показателей удобства выполнения регулировочных работ

Угол, град.					Координаты точки крепления руки к плечевому суставу, мм					
Поворот руки	Наклон туловища	Ориентации звеньев в плоскости «трехзвенника»			x		y		z	
		плечо	предплечье	кисть	мужчина	женщина	мужчина	женщина	мужчина	женщина
30...60	75...100	допустимое до –105	45... –35	±80	212...234	188...212	543...629	520...600	0,0	0,0

$$\left[\sqrt{(x_E - x_D)^2 + (y_E - y_D)^2} - (l_1 + l_2 + l_3/2) \right] K_a \cdot K_{т.р.} < 0, \quad (2.75)$$

где K_a – коэффициент, учитывающий антропометрические характеристики оператора МСХТ;

$K_{т.р.}$ – коэффициент, учитывающий условия выполнения технологической регулировки при эксплуатации технического средства.

Четыре балла выставляется, когда [28]:

$$\begin{aligned} & \left[\sqrt{(x_E - x_D)^2 + (y_E - y_D)^2} \right] K_a \cdot K_{\text{т.р.}} = \\ & = \left[(l_1 + l_2 + l_3/2) \right] K_a \cdot K_{\text{т.р.}} \end{aligned} \quad (2.76)$$

Оценка три и менее баллов устанавливается в случае [28]:

$$\left[\sqrt{(x_E - x_D)^2 + (y_E - y_D)^2} - (l_1 + l_2 + l_3/2) \right] K_a \cdot K_{\text{т.р.}} > 0. \quad (2.77)$$

Согласно статистике наиболее травмоопасной отраслью сельскохозяйственного производства является растениеводство. Концептуальные подходы повышения безопасности труда в технологических процессах выращивания сельскохозяйственных культур разработаны Аверьяновым Ю. И., Азаренко В. В., Горшковым Ю. Г., Дашковым В. Н., Оляничем Ю. Д., Пиуновским И. И., Шкрабаком В. В., Шкрабаком В. С., Юрковым М. М. и др. [23; 31–55]. Модели и алгоритмы управления безопасностью труда операторов мобильной сельскохозяйственной техники (МСХТ) исследовались Гальяновым И. В., Беловой Т. И., Лопатиным А. Н., Митрофановым П. Г., Тюриковым Б. М., Фоминовой О. В., Христофоровым Е. Н. [10; 21; 56–71]. Следует также отметить, что работа оператора МСХТ – тракториста-машиниста, комбайнера, механизатора, характеризуется нервно-эмоциональным напряжением в условиях управления техническим средством, а также воздействием на оператора неблагоприятных метеорологических условий, загрязненностью воздушной среды почвенной пылью, повышенным уровнем шума и вибрации. Переработка одновременно поступающего большого объема информации извне, в условиях недостаточных эргономических показателей, приводит к быстрой утомляемости оператора [72], вызывает нервно-эмоциональное напряжение, длительность которого может достигать 60 %...80 % времени смены [73]. В то же время поддержание работоспособности оператора МСХТ в течение рабочей смены позволяет ему выполнять механизированные работы в любых сложившихся ситуациях [74–78].

Подавляющее число случаев производственного травматизма операторов МСХТ связано с выполнением ими работ по технологической

настройке сельскохозяйственной техники и устранением ее отказов. Сложившаяся ситуация во многом объясняется недостаточной приспособленностью конструкции технических средств – безопасности, удобства и доступности выполнения технологических регулировок в условиях постоянного присутствия на рабочем месте операторов МСХТ опасных производственных факторов (подвижных частей оборудования, острых кромок и заусениц на поверхностях технического средства, проведением регулировочных работ на значительной высоте относительно поверхности земли и др.) [26].

Ранее проведенными исследованиями [21; 51; 56; 79–84] рассматривалась безопасность выполнения технологической регулировки от показателя приспособленности технического средства. Снижением риска травмирования оператора уборочной техники, обусловленного ее приспособленностью к выполнению технологических регулировок, занимались Алуханян В. А., Борисова Л. В., Дмитриев М. С., Сазанович В. И., Шаманова Е. В. и др. [85–88], но при этом не учитывалось влияние изменений состояния производственной среды на безопасность труда, физиологически возможные показатели положения туловища, руки оператора МСХТ и его антропометрические характеристики.

2.5 Оценка способности оператора технического средства оперативно осуществлять управленческие воздействия при устранении его отказов

Наиболее существенными факторами, влияющими на безопасность труда операторов, являются уровень профессиональной их подготовки $У_{п.п.}$, травмоопасность технического средства $р_{т.}$, а также условия труда на рабочем месте $K_{у.т.}$ [31; 55; 89]. Учитывая, что безотказно работающих машин и механизмов практически не существует, то при возникновении отказа в работе любого технического средства необходимо немедленное вмешательство работника, выполнение им функций управления. Анализ безопасности функционирования системы «человек–машина» [90–91] позволил выделить три основные функции оператора технического средства. Это обработка информации, принятие решения и управление (действие). Такой подход позволяет оператору предупреждать возникновение

аварийной ситуации, правильно выделять из множества различных отклонений наиболее существенные, безопасно и с наименьшими затратами времени выполнять управленческие воздействия на изменения в технологическом процессе. Залогом успешной работы оператора служит доскональное знание технологического процесса, требований производственной эксплуатации технического средства и техники безопасности, т. е. все то, что характеризует профессиональную подготовку [89–90]. Зависимость для определения уровня профессиональной подготовки оператора технического средства $Y_{п.п}$ должна обладать следующими характеристиками: число параметров минимально, точность – достаточная, формула – удобная для пользования. Принята зависимость мультипликативного вида [1]:

$$Y_{п.п}(P_v, \tau) = ae^{b\tau} P_v^c, \quad (2.78)$$

где P_v – уровень способностей оператора технического средства выполнять управленческие воздействия на изменения в технологическом процессе;

τ – показатель оперативности выполнения управленческих воздействий (рассчитывается как отношение фактического времени на устранение воздействий (отказа техники) ко времени, установленному согласно укрупненным нормативам времени на ремонт сельскохозяйственной техники);

a, b, c – параметры зависимости.

Уровень способностей оператора технического средства (общетехнического его развития) определяется по результатам тестирования (тест механической понятливости Беннета), согласно данным таблицы 2.2.

Таблица 2.2

Уровни общетехнического развития оператора МСХТ [1]

Наименование уровня общетехнического развития оператора	Оценка уровня	
	Количество правильных ответов	В относительных единицах
Низкий	≥ 32	$\geq 0,46$
Средний	33–38	0,47–0,54
Высокий	≤ 39	$\leq 0,55$

Оперативность выполнения в течение рабочего дня управленческих воздействий на изменения в технологическом процессе τ зависит от показателя утомляемости оператора Y_o (таблица 2.3), который рассчитывается с учетом скорости реакции оператора r , устойчивости его внимания b и координации движения k . Для расчета этого показателя используется следующая зависимость [1]:

$$Y_o = 1 - \frac{(0,40r + 0,44b + 0,29k - 0,65)}{5}. \quad (2.79)$$

Таблица 2.3

Уровни показателя утомляемости оператора МСХТ [1]

Наименование уровня утомляемости оператора МСХТ	Оценка уровня	
	в относительных единицах	в баллах
Низкий	$< 0,17$	4,25–5,00
Средний	0,17–0,35	3,40–4,24
Высокий	$> 0,35$	$< 3,40$

Определение показателя утомляемости оператора в производственных условиях осуществляется с помощью тестирования.

Для нахождения параметров зависимости (формула (2.78)) принимаются следующие диапазоны изменения P_v и τ : показатель P_v изменяется от 0,42 (низкий уровень выполнения управленческих воздействий) до 1,0 (очень высокий уровень), показатель τ – от 1,0 (время, затрачиваемое на устранение отказа согласно укрупненным нормативам времени на ремонт сельскохозяйственной техники) до 1,5. Значения параметров a , b и c (формула (2.78)) определяются с учетом принятых ограничений ($Y_{п.п} = 1,0$, $P_v = 1,0$, $\tau = 1,0$; $Y_{п.п} = 0,7$, $P_v = 0,5$, $\tau = 1,0$;

$Y_{п.п} = 0,35$, $P_v = 0,42$, $\tau = 1,5$) из системы уравнений [1]

$$\begin{cases} 1,0 = ae^{b \cdot 1,0} \cdot 1,0^c; \\ 0,7 = ae^{b \cdot 1,0} \cdot 0,5^c; \\ 0,35 = ae^{b \cdot 1,5} \cdot 0,42^c. \end{cases} \quad (2.80)$$

После соответствующих преобразований система примет вид:

$$\begin{cases} 1,0 = ae^b; \\ 0,7 = 0,5^c; \\ 0,35 = e^{b \cdot 0,5} \cdot 0,42^c. \end{cases} \quad (2.81)$$

Из второго уравнения системы (2.81) находится значение параметра c :

$$c = \frac{\ln 0,7}{\ln 0,5} = \frac{-0,357}{-0,693} = 0,515.$$

Подстановкой значения параметра c в третье уравнение системы (2.81) определяется параметр b :

$$0,35 = e^{0,5b} \cdot 0,42^{0,515},$$

откуда

$$b = \frac{\ln 0,547}{0,5} = -\frac{0,603}{0,5} = -1,206.$$

Значение параметра a находится из первого уравнения системы (2.81):

$$a = \frac{1}{e^{-1,206}} = \frac{1}{0,299} = 3,344.$$

Путем подстановки значений параметров a , b и c в формулу (2.81) получают зависимость для определения профессиональной подготовки оператора технического средства к оперативному выполнению управленческих воздействий на изменения в технологическом процессе [1]:

$$Y_{\text{п.п.}} = 3,344e^{-1,206\tau} P_v^{0,515}. \quad (2.82)$$

Условно выделяют три уровня профессиональной подготовки оператора [1] к оперативному выполнению управленческих воздействий на изменение в технологическом процессе (таблица 2.4).

Таблица 2.4

Уровни профессиональной подготовки оператора технического средства

Наименование уровня	Интервал изменения уровня профессиональной подготовки	
	В относительных единицах	В баллах
Низкий	0,20–0,34	2,00–3,39
Средний	0,35–0,69	3,40–4,24
Высокий	0,70–1,00	4,25–5,00

Таким образом, высокий уровень $Y_{п.п} = 0,7–1,0$, средний $Y_{п.п} = 0,35–0,69$, низкий $Y_{п.п} < 0,35$.

2.6 Теоретическое обоснование оценки и управления производственным риском в условиях изменения параметра состояния производственной среды агропроизводства

Проведенными исследованиями установлено, что мерой оценки негативного воздействия на безопасность труда оператора МСХТ при возделывании сельскохозяйственных культур является производственный риск, под которым понимается потенциальный ущерб для здоровья работающих в результате наступления нежелательного события, связанного с производственной деятельностью.

Так, при выполнении механизированных работ в условиях изменяющегося параметра состояния производственной среды, оператору МСХТ приходится многократно (десятки раз за смену) выполнять регулировки технического средства, что в дальнейшем сказывается на утомляемости и приводит к повышению риска травмирования оператора. Для установления зависимости безопасности выполнения технологического процесса от приспособленности технического средства к технологической регулировке

(устранению отказа техники) воспользуемся следующим выражением [28]:

$$K_{\Pi_{ik}} = a \cdot S_{ik}^l + b \cdot S_{ik} + c \cdot S_{ik}^m, \quad (2.83)$$

где $K_{\Pi_{ik}}$ – показатель приспособленности k -го технического средства к i -й технологической регулировке;

a, b, c – коэффициенты удобства, доступности и безопасности регулировочных работ;

S_{ik} – сумма баллов экспертной оценки показателей удобства, доступности и безопасности i -й регулировки k -го технического средства;

S_{ik}^l и S_{ik}^m – соответственно сумма квадратов и кубов баллов, выставленных экспертами за удобство, доступность и безопасность проведения i -й регулировки k -того технического средства.

Значения S_{ik} , S_{ik}^l и S_{ik}^m определялись в соответствии с выбранной оценочной шкалой [79–80] (в нашем случае пятибалльной шкалой). Высокий уровень приспособленности оценивался в пять баллов, средний – четыре и удовлетворительный – три балла [93].

При выводе аналитической зависимости показателя приспособленности выполнения технологической регулировки (устранения отказа) технического средства принимаем следующее [92]:

– максимальное значение суммы баллов, выставленных экспертами за выполнение регулировки будет, когда все значения показателей ее приспособленности (удобства, доступности и безопасности) оценивались экспертами в пять баллов. При этом:

$$S_1 = 5 \cdot t, \quad (2.84)$$

где t – число показателей приспособленности i -й регулировки k -го технического средства.

Тогда

$$\begin{cases} S_2 = 25 \cdot t; \\ S_3 = 125 \cdot t; \\ K_{\Pi} = 1,0; \end{cases} \quad (2.85)$$

– среднее значение суммы баллов за безопасное выполнение регулировки равно 2,5. В этом случае:

$$\begin{cases} S_1 = 2,5 \cdot t; \\ S_2 = 6,25 \cdot t; \\ S_3 = 15,625 \cdot t; \\ K_{\Pi} = 0,5; \end{cases}$$

– наименьшее значение S_1 , когда все показатели приспособленности (K_{Π}) рабочего органа технического средства к технологической регулировке оценены одним баллом и выполняется условие:

$$S_1 = S_2 = S_3 \quad \text{и равны } t, \quad \text{а} \quad K_{\Pi} = 0.$$

Принимая во внимание вышеизложенное, составим систему уравнений:

$$\begin{cases} a \cdot 5t + b \cdot 25t + c \cdot 125t = 1,0; \\ a \cdot 2,5t + b \cdot 6,25t + c \cdot 15,625t = 0,5; \\ at + bt + ct = 0. \end{cases} \quad (2.86)$$

Решая систему уравнений (2.84), получим:

$$a = \frac{1}{10,15t}; \quad b = -\frac{1}{11,5t}; \quad c = -\frac{1}{176,25t}.$$

Подставив значения коэффициентов a , b и c в формулу (2.83) и, проделав соответствующие преобразования, получим [93]:

$$K_{\Pi_{ik}} = \frac{15,3 \cdot S_{ik}^l - 17,4 \cdot S_{ik} - S_{ik}^m}{176 \cdot t}. \quad (2.87)$$

Выражение (2.87) позволяет с учетом результатов предварительного анкетирования удобства, доступности и безопасности технологической регулировки рабочего органа технического средства оценить его приспособленность к выполнению технологических процессов при эксплуатации.

Обобщенный показатель приспособленности k -го технического средства к технологическим регулировкам ($K_{\Pi_{т.с.}}$) рассчитывается как среднее геометрическое значений $K_{\Pi_{i,k}}$.

Для определения безопасности выполнения отдельно взятой i -й технологической регулировки (устранения отказа) при эксплуатации технического средства ($K_{Б_{P_i}}$) использовалась следующая формула [32]:

$$K_{Б_{P_i}} = 1,5 \cdot K_{\Pi_{ik}} - 0,5 \cdot K_{\Pi_{ik}}^2. \quad (2.88)$$

Подставив в формулу (2.88) полученное выражение для $K_{\Pi_{ik}}$ и, проделав соответствующие преобразования, получим:

$$K_{Б_{P_i}} = \frac{0,130 \cdot S_{ik}^l \cdot t - 0,148 \cdot S_{ik} \cdot t - 0,088 \cdot S_{ik}^m \cdot t - 0,04 \cdot (S_{ik}^l)^2 - 0,011 \cdot S_{ik}^2 -}{t^2} - \frac{0,001 \cdot (S_{ik}^m)^2 + 0,009 \cdot S_{ik}^l \cdot S_{ik} + 0,001 \cdot S_{ik}^l \cdot S_{ik}^m + 0,001 \cdot S_{ik} \cdot S_{ik}^m}{t^2}. \quad (2.89)$$

Показатель травмирования оператора МСХТ ($P_{R_{ik}}$) при выполнении, например, i -й технологической регулировки при эксплуатации k -го технического средства, используемого в технологическом процессе, можно записать как $1 - K_{Б_{P_i}}$. Тогда, с учетом выражения (2.88), а также показателя статистической вероятности выполнения за смену i -й регулировки k -го технического средства (p_{ik}) и коэффициента $K_{п.с.}$, учитывающего влияние выполненной сверх

установленного регламентом i -й регулировки при эксплуатации k -го технического средства на показатель травмирования оператора МСХТ, формула для определения $P_{R_{ik}}$ представлена следующим образом [55]:

$$P_{R_{ik}} = [1 - (1,5 \cdot K_{\Pi ik} - 0,5 \cdot K_{\Pi ik}^2)] p_{ik} \cdot K_{\text{п.с.}} \quad (2.90)$$

Для определения прогнозного обобщенного показателя травмирования оператора МСХТ (производственного риска) $P_{R_{\text{т.с.}}}$ с учетом ее приспособленности к выполнению технологического процесса в условиях изменяющегося параметра состояния производственной среды, антропометрических характеристик оператора МСХТ используется формула для расчета средней геометрической значений $P_{R_{ik}}$:

$$P_{R_{\text{т.с.}}} = \sqrt[n]{P_{R_{i1k}} \cdot P_{R_{i2k}} \cdot \dots \cdot P_{R_{in k}}}, \quad (2.91)$$

где $P_{R_{i1k}}, P_{R_{i2k}}, \dots, P_{R_{in k}}$ – производственный риск при выполнении i -й регулировки (устранения отказов) ($i = 1; 2; \dots; n$) при эксплуатации k -го технического средства в условиях изменяющихся параметров состояния производственной среды.

Показатель безопасности проведения технологических регулировок (устранения отказов) при эксплуатации технического средства в условиях изменяющегося параметра состояния производственной среды $P_{\text{т.р.}}$ рассчитывается по формуле [54]:

$$P_{\text{т.р.}} = \prod_{k=1}^m P(A_k), \quad (2.92)$$

где m – количество технологических регулировок (отказов);

$P(A_k)$ – вероятность безопасного выполнения технологической регулировки (устранения отказа) k -того технического средства [54]:

$$P(A_k) = 1 - P_{R_{т.с.}}$$

Полученные аналитические зависимости (2.87), (2.89)...(2.90) позволили с учетом данных травматизма в растениеводческой отрасли АПК [83] обосновать количественные показатели уровня производственного риска (таблица 2.5) и разработать для их определения алгоритм (рисунок 2.7), реализованные в компьютерной программе [93].

Таблица 2.5

Классификация происшествий по уровню производственного риска при возделывании сельскохозяйственных культур [54]

Уровень производственного риска	
Наименование уровня	Показатель уровня, % / травм за год
минимальный	До 14,0 / 1...5
предельный	14,0...29,9 / 6...11
значительный	30,0...46,9 / 12...17
угрожающий	47,0...63,9 / 18...23
катастрофический	64,0 и более / 24...37

В настоящее время имеется большой опыт оценки риска в атомной энергетике, космонавтике, самолетостроении. Рассчитывая риск по конкретному производству, получают количественное (числовое) значение, характеризующее степень безопасности данного объекта по каждому из известных опасных производственных факторов. Сравнивая фактическое значение риска с его допустимой величиной, делается вывод о степени безопасности конкретных условий труда, принимаются соответствующие управленческие решения. Фактическую величину риска, которому подвергаются работники на своих рабочих местах, необходимо постоянно оценивать соответствующим службам агропредприятия и сопоставлять с нормативно допустимым ее уровнем [94–96].

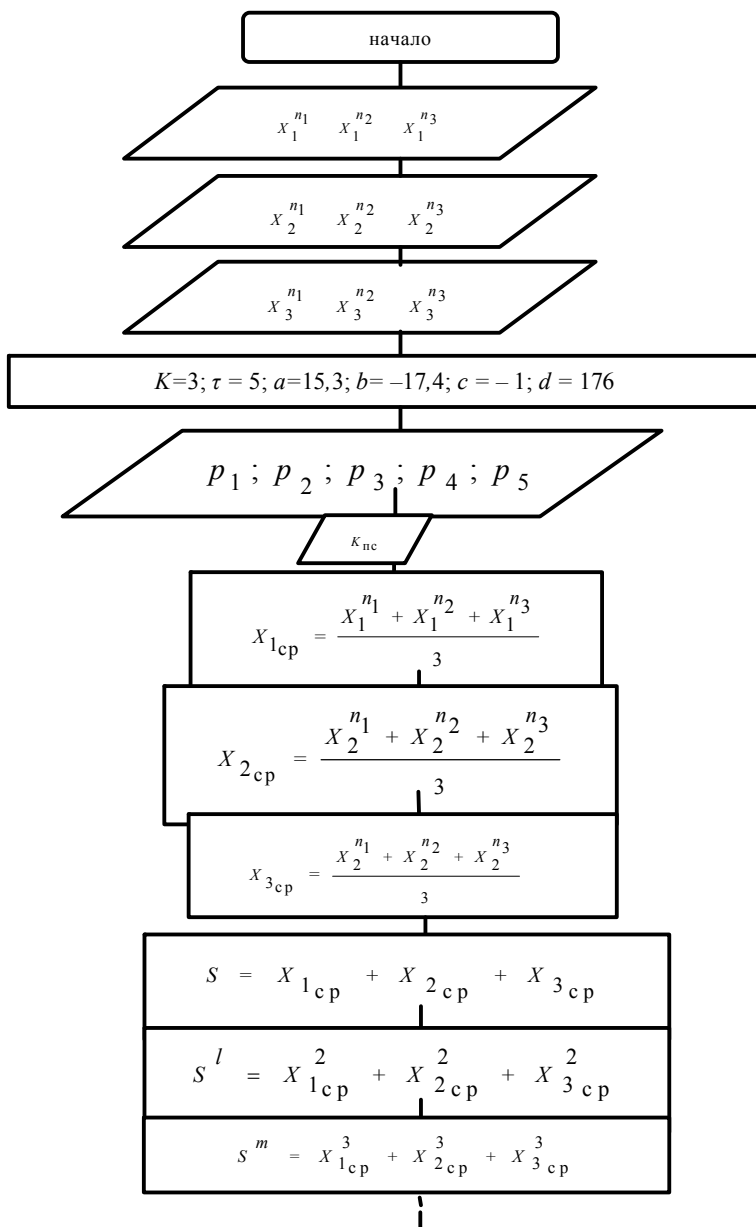


Рис. 2.7 (начало). Алгоритм определения уровня производственного риска в технологических процессах растениеводческой отрасли АПК [93]

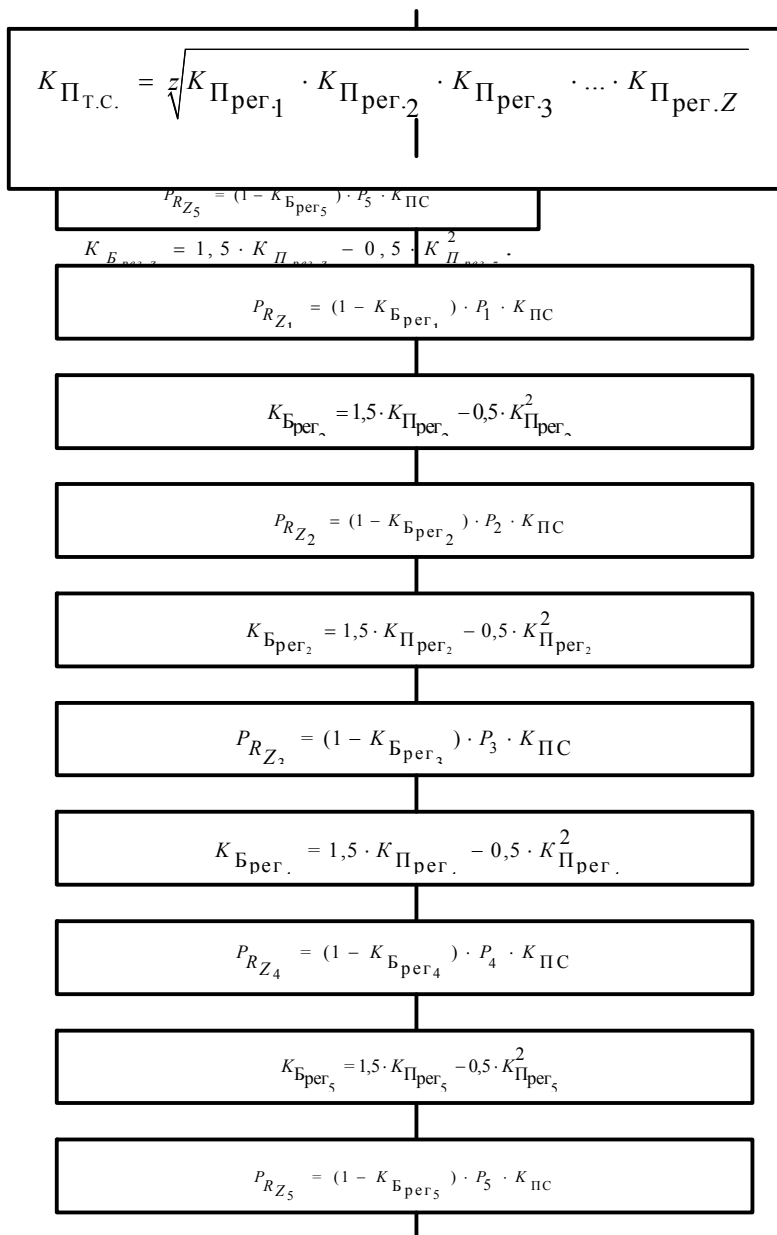


Рис. 2.7 (продолжение). Алгоритм определения уровня производственного риска в технологических процессах растениеводческой отрасли АПК [93]

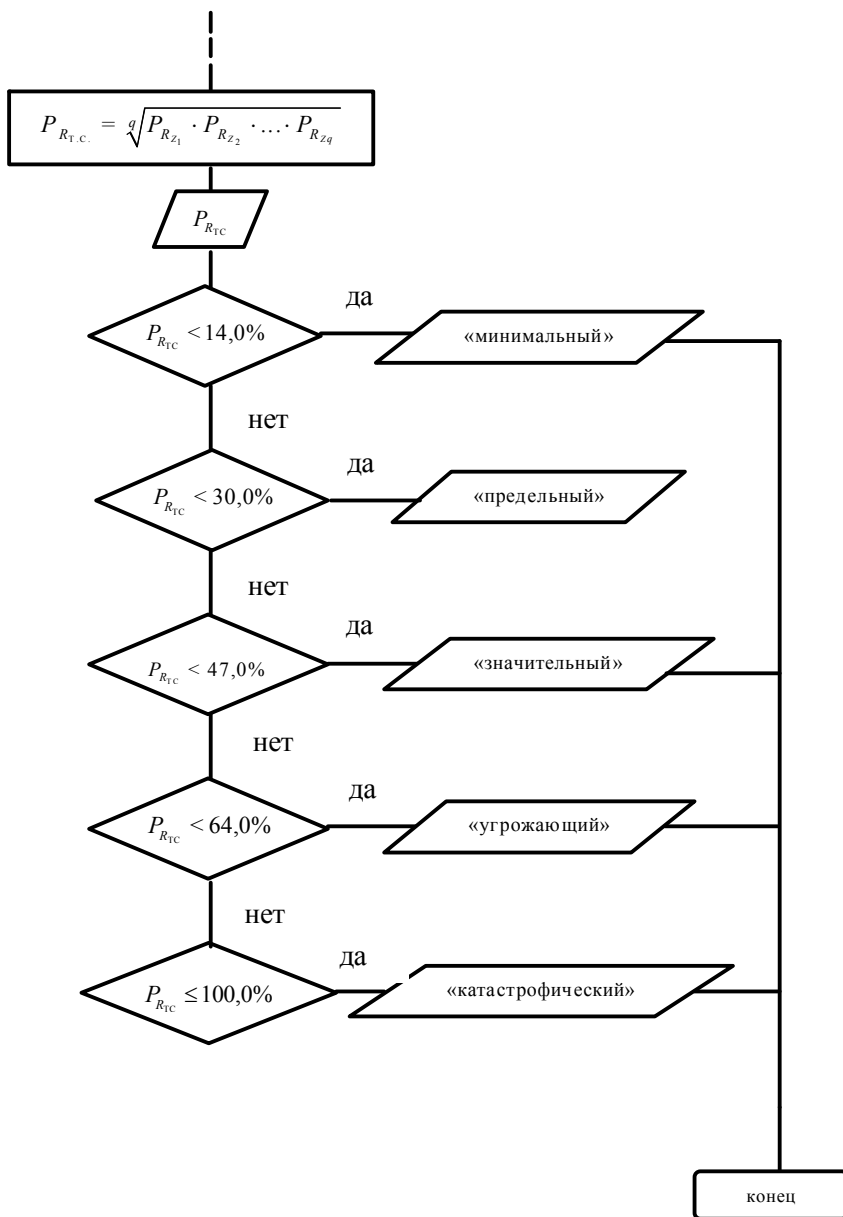


Рис. 2.7 (окончание). Алгоритм определения уровня производственного риска в технологических процессах растениеводческой отрасли АПК [93]

Множественность подходов к оценке рисков и аппроксимации производственных процессов через разнообразные математические модели позволяет адекватно управлять качеством производственной среды. Предугадать сценарий и результат безопасного производства не всегда предоставляется возможным в силу множества неопределенностей человеческой, организационно-технической, экономической и социальной направленности. Принятие решения и управление безопасностью труда в таких случаях связаны с вероятностной определенностью, то есть с понятием риска, от особенностей которого во многом зависят применяемые методы оценки и управления риском. При этом существование остаточного риска обуславливается невозможностью с точностью до ста процентов прогнозировать будущее. В то же время риск имеет место только по отношению к будущему и неразрывно связан с прогнозированием и планированием, а значит, и с принятием решений вообще [97]. Все это позволяет констатировать, что, применение теории риска к СУОТ является логически обоснованным. Кроме того, управление риском подразумевает реализацию последовательных действий [98], начиная со сбора предварительной информации об объекте исследования и заканчивая повторной оценкой после реализации выработанных корректирующих действий (рисунок 2.8).

Для управления производственным риском техносферной безопасностью в технологических процессах растениеводческой отрасли АПК при эксплуатации технических средств – выработке корректирующих действий по предотвращению повышения уровня опасности производственного риска как на стадии разработки, так и при дальнейшем использовании технического средства необходимо [1]:

- проанализировать полученные значения показателя приспособленности технического средства к технологическим регулируемым ($K_{Пт.с.}$) и безопасности их выполнения ($K_{Бпр}$);
- определить прогнозируемый показатель безопасности управления технологическим процессом при эксплуатации технического средства ($K_{Бпр}$);
- рассмотреть с учетом полученных значений показателей ($K_{Пт.с.}$; $K_{Бпр}$; $K_{Бпр}$) соответствие технического состояния технического средства производственным условиям выполнения работ. В случае несоответствия определить показатель приспособленности конструкции технического средства к безопасному выполнению

технологических регулировок и обосновать безопасные режимы эксплуатации технического средства.

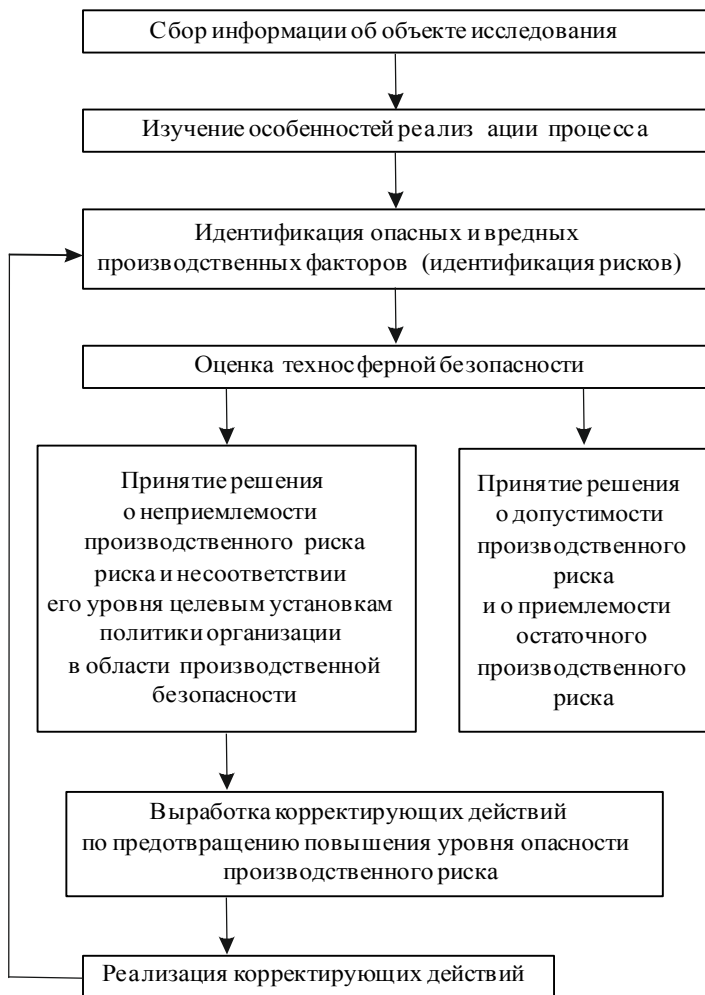


Рис. 2.8. Управление техносферной безопасностью

Выработку корректирующих действий по предотвращению повышения уровня опасности производственного риска рекомендуется осуществлять посредством моделирования технологического

процесса, с учетом уточненного показателя приспособленности технического средства к безопасному выполнению технологических регулировок (рисунок 2.9), интенсивности их выполнения и изменения параметра состояния производственной среды (таблица 2.6). Установлено, что даже при «хорошей приспособленности», например, технического средства для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов крупноплодной клюквы к технологическим регулировкам ($K_{Пт.с.} = 0,8$), но двукратном (с 15 до 30 раз) увеличении изменения состояния параметра производственной среды, показатель травмирования оператора МСХТ возрастает в 1,15 раза [99].

Таблица 2.6

Показатель травмирования оператора МСХТ при выполнении технологических регулировок с учетом изменения состояния параметра производственной среды [55]

Наименование показателя	Количество изменений за смену параметра состояния производственной среды, раз					
	5	10	15	20	25	30
Показатель травмирования ($P_{Rт.с.}$) оператора МСХТ при выполнении технологических регулировок, %:						
при $K_{Пт.с.} = 0,4$	12,10	12,60	13,10	13,60	14,20*	14,80*
$K_{Пт.с.} = 0,6$	8,45	8,60	8,80	9,00	9,30	9,60
$K_{Пт.с.} = 0,8$	3,34	3,38	3,48	3,63	3,80	4,00

Повышение работоспособности оператора МСХТ, выполняющего технологический процесс, снятие состояния его утомляемости может быть реализовано и при дополнительной организации рабочего места в кабине [100–104].

По результатам теоретических исследований обоснованы на примере уборки кормовых культур функциональные взаимосвязи и взаимовлияние компонент эргатической системы, что позволяет прогнозировать техногенную безопасность функционирования этой системы с учетом поступления отказов ее компонент; установлена

аналитическая зависимость безопасности выполнения регулировочных воздействий, устранения эксплуатационных отказов технического средства от показателей приспособленности его конструкции (удобства, доступности) к проведению этих работ с учетом параметра состояния производственной среды и антропометрических характеристик оператора технического средства; предложены корректирующие организационно-технические мероприятия для снижения уровня производственного риска при возделывании сельскохозяйственных культур.



Рис. 2.9. Номограмма для определения уровня опасности производственного риска с учетом интенсивности выполнения технологических регулировок [1]

3 НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Метод оценки техногенной опасности объекта АПК

Воздействие выбросов объекта АПК (далее – предприятия) на атмосферный воздух оценивается в зависимости от следующих критериев [1]:

- количественного и качественного состава загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух источниками выбросов предприятия;
- размера санитарно-защитной зоны предприятия;
- техногенной опасности предприятия для окружающей среды;
- числа стационарных источников выбросов предприятия;
- числа на предприятии передвижных источников выбросов;
- значений расчетных приземных концентраций, создаваемых источниками выбросов предприятия.

Таким образом, категорию техногенной опасности предприятия K_0 можно определить по формуле [1]

$$K_0 = 2A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + 2B_1 + B_2, \quad (3.1)$$

где A_1 – число условных баллов, определяемое по критерию K в зависимости показателя K_0 от количественного и качественного состава загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух стационарными источниками выбросов предприятия;

A_2 – число условных баллов по критерию L в зависимости от размера базовой санитарно-защитной зоны предприятия;

A_3 – число условных баллов по критерию Z в зависимости от техногенной опасности предприятия;

A_4 – число условных баллов по критерию N в зависимости от числа стационарных источников выбросов предприятия;

A_5 – число условных баллов по критерию P в зависимости от числа передвижных источников выбросов предприятия;

B_1 – количество загрязняющих веществ или групп загрязняющих веществ, обладающих эффектом суммации вредного воздействия на качество атмосферного воздуха, по которым источники

выбросов предприятия создают приземную концентрацию сверх установленной;

B_2 – количество загрязняющих веществ или групп загрязняющих веществ, обладающих эффектом суммации вредного воздействия на качество атмосферного воздуха, по которым источники выбросов предприятия создают приземную концентрацию в пределах установленных значений.

Наиболее частыми загрязнителями атмосферного воздуха в городах являются такие химические соединения как диоксиды серы и азота, оксид углерода, тяжелые металлы (свинец, ртуть), взвешенные вещества (пыль, дым и пр.), углеводороды, в том числе канцерогенные. Совокупность некоторых из них под действием солнечного излучения приводит к образованию в воздухе фотооксидантов. Это, в свою очередь, способствует снижению иммунозащитной функции организма, ухудшению показателей физического развития, повышению общей заболеваемости населения, особенно детей и лиц старшего возраста, и увеличению смертности.

Значение критерия техногенной опасности предприятия от количественного и качественного состава выбросов загрязняющих веществ (K) (таблица 3.1) определяется из выражения [1]

$$K = \sum_{i=1}^n \left(\frac{M_i}{S_i} \right)^{a_i}, \quad (3.2)$$

где n – число загрязняющих веществ, выбрасываемых предприятием в атмосферный воздух;

M_i – масса выброса i -го загрязняющего вещества, т/год;

S_i – значение ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест, мг/м³;

a_i – безразмерная константа [9].

Критерий K не рассчитывается и приравнивается к нулю, если

$$\frac{M_i}{S_i} < 1. \quad (3.3)$$

Таблица 3.1

Категории предприятий в зависимости от массы и видового состава выбрасываемых в атмосферу загрязняющих веществ [1]

Категория предприятия	Значения K , т/год
1	$K > 10^6$
2	$10^4 < K \leq 10^6$
3	$10^3 < K \leq 10^4$
4	$K \leq 10^3$

В зависимости от значения критерия K предприятия подразделяются на 4 категории и устанавливается периодичность их контроля и отчетности (таблица 3.2).

Таблица 3.2

Периодичность отчетности и контроля предприятия по атмосфероохранной деятельности [1]

Вид работы	Категория предприятия в зависимости от количественного и качественного состава выбросов			
	1	2	3	4
1. Инвентаризация (один раз в пять лет) источников выбросов ЗВ в атмосферу	+	+	+	+
2. Составление (ежегодно) формы статистической отчетности «2-ОС – воздух»	+	+	+	–
3. Разработка плана атмосфероохранной деятельности предприятия: – ежегодно; – один раз в пять лет	+	+	+	+

Вид работы	Категория предприятия в зависимости от количественного и качественного состава выбросов			
	1	2	3	4
4. Разработка проектов допустимых выбросов предприятия: – по полной схеме; – по сокращенной схеме; – не разрабатывают	+	+	+	+
5. Периодичность контроля атмосфероохранной деятельности предприятия: – ежегодно; – один раз в три года; – выборочно один раз в пять лет	+	+	+	+

Критерий *L* для оценки техногенной опасности предприятия рассматривается с точки зрения состояния санитарно-защитной зоны (СЗЗ) предприятия, являющейся обязательным элементом любого объекта, который может быть источником химического, биологического или физического воздействия на среду обитания и здоровье человека. Использование площадей СЗЗ осуществляется с учетом ограничений, установленных действующим законодательством.

Согласно санитарной классификации устанавливаются следующие минимальные размеры санитарно-защитных зон [1]:

- предприятия первого класса – 1000 м;
- предприятия второго класса – 500 м;
- предприятия третьего класса – 300 м;
- предприятия четвертого класса – 100 м;
- предприятия пятого класса – 50 м.

Приведенные размеры являются базовыми при обосновании расчетной СЗЗ.

В границах СЗЗ предприятий запрещается размещать:

- производственные здания и сооружения в тех случаях, когда вредности, выделяемые одним из предприятий, могут оказать вредное воздействие на здоровье или привести к порче материалов, оборудования, готовой продукции другого предприятия;
- предприятия пищевой промышленности, а также по производству посуды, тары, оборудования для пищевой промышленности, склады пищевых продуктов;
- предприятия по производству воды и напитков для питьевых целей, комплексы водопроводных сооружений для подготовки и хранения питьевой воды;
- коллективные или индивидуальные дачные и садово-огородные участки;
- спортивные сооружения, парки отдыха, образовательные учреждения, лечебно-профилактические и оздоровительные учреждения общего пользования.

Озеленение СЗЗ для предприятий IV и V классов должно составлять не менее 60 % ее территории; для предприятий II и III классов – не менее 50 %; для предприятий I класса и зон большой протяженности – не менее 40 % ее территории.

При наличии у предприятия в пределах одной производственной площадки нескольких производств размер СЗЗ принимается в соответствии с размером СЗЗ для наиболее опасного производства предприятия.

В случаях, если для предприятия установлена расчетная СЗЗ в размере, превышающем базовую СЗЗ наиболее опасного его производства, расчет производится исходя из размера расчетной СЗЗ. При этом сумма взвешенных условных баллов увеличивается на величину кратности увеличения расчетной СЗЗ относительно базовой.

Предприятие считается не оказывающим вредного воздействия на атмосферный воздух (критерий Z), если ни один его источник выбросов не попадает в категорию опасных. Источник выбросов не опасен для окружающей среды, если выполняется следующее условие [1]:

$$\frac{M_{\max}}{ПДК_{\text{м.р}}} \leq \Phi, \quad (3.4)$$

где $M_{\max}$ – максимальная величина выброса вредного вещества в атмосферу, мг/с;

ПДК_{м.р} – предельная максимально-разовая концентрация вещества, мг/м³;

Ф – величина, характеризующая условный расход воздуха, необходимый для разбавления вредного вещества, поступающего в атмосферу, до ПДК_{м.р}, м³/с. При среднем значении высоты источников выбросов по предприятию $H \leq 10$ м значение $\Phi = 0,1$ м³/с; при $H > 10$ м значение $\Phi = 0,01H$.

Если источник выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух опасен для окружающей среды, рекомендуется [1]:

– проанализировать соответствие применяемого технологического оборудования экологическим и производственно-хозяйственным стандартам;

– разработать план мероприятий на предприятии, включающий технологические, объемно-планировочные и санитарно-гигиенические решения по уменьшению объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Количественные характеристики рассмотренных критериев K , L , Z , а также критериев N и P , анализируемых по результатам инвентаризации источников выбросов предприятия, приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3

Значения критериев K , L , Z , N , P [1]

Критерий	Баллы				
	0	1	2	3	4
K , т/год	0	От 1 до 10 ³	От 10 ³ до 10 ⁴	От 10 ⁴ до 10 ⁶	Не менее 10 ⁶
L , м	50	100	300	500	1000
Z	Неопасное	Опасное	Особо опасное	–	–
N , ед.	До 5 включительно	От 6 до 10 включительно	От 11 до 50 включительно	От 51 до 100 включительно	Свыше 100
P , ед.	До 5 включительно	От 6 до 25 включительно	От 26 до 99 включительно	От 100 до 499 включительно	Не менее 500

Значения показателей B_1 и B_2 определяются следующим образом:

- если отношение фактической концентрации загрязняющих атмосферу веществ к ПДК превышает 1, то определяется показатель B_1 , равный числу таких веществ или числу групп веществ, обладающих эффектом суммации;

- если это отношение находится в диапазоне от 0,8 до 1,0, то определяется показатель B_2 , равный числу таких веществ или числу групп веществ, обладающих эффектом суммации.

Зона активного загрязнения атмосферы газовоздушным выбросом при круговой розе ветров определяется по выражению [1]

$$R = 20H \left(1 + \frac{\Delta T}{75} \right), \quad (3.5)$$

где R – радиус зоны активного загрязнения атмосферы газовоздушным выбросом, м;

H – высота источника выброса загрязняющих атмосферу веществ, м;

ΔT – мера нагретости газовоздушной смеси, град.:

$$\Delta T = T_{\Gamma} - T_{\text{в}}, \quad (3.6)$$

где T_{Γ} – температура газовоздушной смеси в устье источника выбросов, град.;

$T_{\text{в}}$ – температура окружающей среды, град.

С учетом рассчитанных значений показателей $A1$ – $A5$, $B1$ и $B2$ определяется категория техногенной опасности предприятия (таблица 3.4).

Таблица 3.4

Граничные условия для деления предприятий на категории техногенной опасности [1]

Сумма взвешенных условных баллов	до 5 включительно	от 6 до 10	от 11 до 16	от 17 до 21	свыше 21
Категория техногенной опасности предприятия	V	IV	III	II	I

Безопасное функционирование объектов АПК, снижение грозо-поражаемости зданий и сооружений существенно зависят от организации молниезащиты. В качестве критерия выбора способа молниезащиты объекта АПК целесообразно использовать себестоимость сооружения молниезащиты Q , которая складывается из общей стоимости использованных материалов $C_{\text{мат}}$ и стоимости производства, или устройства молниезащиты $C_{\text{пр}}$ [105]:

$$Q = C_{\text{мат}} + C_{\text{пр}}. \quad (3.7)$$

Стоимость материалов может быть определена, исходя из заготовительной массы материалов, себестоимость же сооружения, следовательно, и себестоимость молниезащиты – с учетом уровня организации, технологических и архитектурных особенностей агропроизводства.

Очевидно, что наиболее часто молния поражает высокие предметы, но нередко ударяет и в низменные места в зависимости от числа грозовых дней в году, высоты объекта, рельефа местности и других факторов. На ровных поверхностях молния ударяет в те места, где электрическая проводимость почвы больше (болотистая почва, берега рек, почва с сырой глиной).

Согласно требованиям раздела 6 ТКП 336-2011 [106] необходимость молниезащиты должна определяться для каждого здания или сооружения и напрямую зависит от величины рисков [105]:

$R1$ – риск угрозы человеческой жизни;

$R2$ – риск нарушения коммунального обслуживания;

$R3$ – риск потери культурных ценностей;

$R4$ – риск нанесения ущерба экономической ценности.

В общем виде формула для определения элементов рисков следующая [107]:

$$R = N \cdot P \cdot L, \quad (3.8)$$

где N – ежегодное количество опасных случаев;

P – вероятность повреждения от удара молнии;

L – последующий ущерб.

Каждый элемент риска рассчитывается на основании отнесенных к нему факторов элементов рисков, т. е. PA , PB , LA , LB и т. д. Некото-

рые элементы рисков имеют одинаковые коэффициенты и факторы, например, ND, NL и т. д.

Коэффициенты рисков (rf, gr, hz, Lo, Td и т. д.) определяются площадью стягивания молнии над объектом защиты (плотность ударов молнии, длина, ширина, высота), материалом строительных конструкций объекта, инженерным наполнением объекта (наличием инженерных сетей и систем), факторами влияния местоположения и окружающей среды, наличием молниезащиты на объекте, средств пожаротушения, возможной паники людей в случае возникновения пожара и т. п. [105]:

– риск гибели людей:

$$R1 = RA + RB + RC + RM + RU + RV + RW + Rz;$$

– риск недопустимого нарушения коммунального обслуживания:

$$R2 = RB + RC + RM + RV + RW + Rz;$$

– риск потери культурных ценностей:

$$R3 = RB + RV;$$

– риск нанесения ущерба экономической ценности (экономический):

$$R4 = RA + RB + RC + RM + RU + RV + RW + RZ.$$

С учетом неравенства между расчетной величиной рисков и допустимой (таблица 3.5) определяется необходимость устройства молниезащиты. При этом зданию требуется молниезащита, если какой-либо из рисков больше допустимого (таблица 3.5):

Таблица 3.5

Допустимые величины рисков (RT) [105]

Типы ущерба	RT
Гибель людей или увечья	10^{-5}
Нарушение коммунального обслуживания	10^{-3}
Потеря культурных ценностей	10^{-3}
Риск нанесения ущерба экономической ценности	10^{-3}

Для защиты строений, в которых помещаются животные (скотные дворы, конюшни, коровники и т. п.), ввиду повышенной чувствительности животных к шаговым напряжениям рекомендуется устанавливать отдельно стоящие молниеотводы. При этом расстояние от молниеотводов до строений должно быть не менее четырех метров, а заземлитель должен быть направлен в противоположную сторону от защищенного строения. При этом он может быть выполнен из [105]:

- а) вертикальных заземлителей, забиваемых в землю стержней или профильной стали;
- б) горизонтальных заземлителей в виде лучей или колец из стальных полос или тросов;
- в) комбинации вертикальных и горизонтальных заземлителей и др.

Удельный расчетный коэффициент сопротивления двухслойного грунта определяется по формуле [105]

$$\rho = \frac{(\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot L)}{(\rho_1 \cdot (L - H + t_{\text{полосы}}) + \rho_2 \cdot (H - t_{\text{полосы}}))}, \quad (3.9)$$

где ρ_1, ρ_2 – удельное сопротивление соответственно верхнего и нижнего слоя грунта, Ом·м;

L – длина вертикального заземлителя, м;

H – толщина верхнего слоя грунта, м;

$t_{\text{полосы}}$ – глубина заложения горизонтального заземлителя, м.

Сопротивление растеканию одного вертикального электрода определяем по формуле [105]:

$$r_{\text{г}} = \frac{0,366 \cdot k_1 \cdot \rho}{L} \cdot \left(\lg \left(\frac{2 \cdot L}{0,95 \cdot d} \right) + \frac{1}{2} \cdot \lg \left(\frac{4 \cdot t + L}{4 \cdot t - L} \right) \right), \quad (3.10)$$

где k_1 – климатический коэффициент для вертикальных электродов;

d – диаметр стержня, мм;

t – расстояние от поверхности земли до середины заземлителя, м.

Предполагаемое количество вертикальных заземлителей рассчитывается по формуле [105]:

$$n_{np} = \frac{r_{\epsilon}}{R_n \cdot \eta_{\epsilon}}, \quad (3.11)$$

где η_{ϵ} – коэффициент использования вертикальных заземлителей;
 R_n – нормируемое сопротивление растеканию тока в землю, Ом.

Сопротивление горизонтального заземлителя определяется по формуле [105]

$$r_{\epsilon} = \frac{0,366 \cdot k_2 \cdot \rho_2}{l_{\epsilon} \cdot \eta_{\epsilon}} \cdot \lg \left(\frac{2l_{\epsilon}^2}{b \cdot t_{\text{полосы}}} \right), \quad (3.12)$$

где k_2 – климатический коэффициент для горизонтальных электродов;
 l_2 – длина горизонтального заземлителя, м;
 η_{ϵ} – коэффициент использования горизонтальных электродов;
 b – ширина стальной полосы, мм.

Полное сопротивление вертикальных заземлителей (R) не должно превышать значения определяемого по формуле [105]

$$R = \frac{R_n \cdot r_{\epsilon}}{r_{\epsilon} - R_n}. \quad (3.13)$$

При отборе факторов устойчивого функционирования объекта АПК рассматриваются [105]:

X – факторы, которые влияют на поведение системы «объект защиты» (далее – система) и которыми возможно управлять (таблица 3.6);

Z – факторы, которые влияют на систему и которыми управлять невозможно вследствие ограничений (технических, технологических, экономических: сила тока молнии, частота удара молнии и т. д.);

Q – факторы, которые влияют на поведение системы, но управление ими на данном этапе развития технических наук невозможно (полярность молнии).

Таблица 3.6

Сводная таблица факторов функционирования объекта [105]

Тип фактора	Наименование фактора	Единица измерения
X	Высота объекта защиты	м
	Площадь объекта защиты	м
	Степень огнестойкости объекта защиты	—
	Размещение молниеотвода на объекте защиты или возле него	—
	Форма кровли объекта защиты	—
	Отношение высоты молниеотвода к его радиусу зоны защиты	м/м
	Сечение молниеприемника	мм
	Длина заземлителя	м
	Отношение допустимого для заземлителя молниеотвода сопротивления к удельному сопротивлению грунта	Ом/Ом·м
	Удельное сопротивление грунта	Ом·м
	Тип грунта	—
	Отношение длины заземлителя к допустимому сопротивлению	м/Ом
	Площадь заземлителя	м ²
	Тип заземлителя (вертикальный стержневой, горизонтальный)	—
	Высота молниеотвода	м
	Материал элементов молниеотвода	—
	Место расположения молниеотвода на объекте защиты или возле него	—
	Время года	—
	Удельная пожарная нагрузка в здании, сооружении	—
	Горючесть кровельного материала	—
Z	Пожарная нагрузка объекта защиты	мДж/м ²
	Сила тока молнии	кА
	Напряжение молнии	кВ

Тип фактора	Наименование фактора	Единица измерения
	Частота удара молнии	удар/км ²
	Безопасное расстояние от объекта защиты до молниезащиты	м
	Надлежащее обслуживание и контроль молниезащиты	—
	Значение сопротивления заземлителя молниезащиты, определенное инструментальным способом через промежуток времени: день/неделя/месяц	Ом
Q	Полярность молнии	—
	Высота удара молнии	м
	Психофизические особенности человека	—

Для снижения влияния грозových проявлений на объектах агропромышленного комплекса отбираются те факторы X , которые не зависят от факторов, влияющих на поведение исследуемого объекта.

Комбинации наиболее приемлемых элементов рисков определяются с учетом характеристик условий влияния грозových проявлений, характеристик здания или сооружения (в т. ч. технологических особенностей). Так, элемент риска RA характерен исключительно для случая, когда совпадают условия прямого удара молнии в здание или сооружение и наличия в здании людей. Элемент риска RC характерен для случая, когда совпадают условия прямого удара молнии в здание или сооружение и возникновения электромагнитных наводок в инженерных токопроводящих коммуникациях здания. Последствия от элемента риска RM идентичны последствиям от элемента риска RC , при этом для RM характерно условие – удар молнии около здания или сооружения. Таким образом, например, для молочно-товарной фермы набор наиболее вероятных элементов для определения риска гибели людей [105]:

$$R1 = RA + RB. \quad (3.14)$$

Элементы риска RC и RM не рассматриваются, т. к. в здании будет отсутствовать опасность взрыва. Для жилого здания в сельской местности с печным отоплением набор наиболее вероятных элементов по риску гибели людей равен [105]:

$$R1 = RA + RB + RM. \quad (3.15)$$

Для этого случая элементы риска RC и RM также рассматриваются, т. к. в здании отсутствует опасность взрыва.

В здании, оборудованном котельной установкой, работающей на природном газе, набор наиболее вероятных элементов по риску гибели людей

$$R1 = RA + RB + RC + RM. \quad (3.16)$$

Для открытого склада набор вероятных элементов по риску гибели людей равен элементу риска, при котором удар молнии в здание может вызвать повреждения, разрушения, взрыв и пожар: $R1 = RB$.

Критерии для разработки модели определения устройства молниезащиты для зданий и сооружений по рискам $R1$ – $R4$ в зависимости от их функционального назначения приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7

Критерии для разработки модели определения устройства молниезащиты [105]

Наиболее вероятные элементы риска, характерные для здания (сооружения)	Жилое здание	Производственное, складское здания	МТФ, телятники, коровник и т. д.	Открытые склады
Риск гибели людей $R1$				
RA	+	+	+	–
RB	+	+	+	+
RC	+	+	–	–
RM	+	+	–	–
Риск угрозы коммунального обслуживания $R2$				
RA	–	–	–	–
RB	+	+	+	+
RC	+	+	+	–
RM	+	+	+	–

Наиболее вероятные элементы риска, характерные для здания (сооружения)	Жилое здание	Производственное, складское здания	МТФ, телятники, коровник и т. д.	Открытые склады
Риск потери культурных ценностей $R3$				
RA	–	–	–	–
RB	+	+	+	+
RC	–	–	–	–
RM	–	–	–	–
Риск потери культурных ценностей $R4$				
RA	–	–	+	–
RB	+	+	+	+
RC	+	+	+	–
RM	+	+	+	–

3.2 Метод оценки приспособленности технических средств для возделывания сельскохозяйственных культур к безопасному выполнению технологического процесса в условиях изменения параметра состояния производственной среды

Согласно предлагаемому методу на начальном этапе предусматривается отбор кандидатов в эксперты и их тестирование. Выбор тестов для оценки профессионально значимых качеств, необходимых оператору МСХТ для определения ее приспособленности к технологическим регулировкам, устранению отказов технического средства, предполагает изучение таких его качеств, как технический интеллект, ответственность и эмоциональная устойчивость [10]. При подборе тестов (таблица 3.8) необходимо учитывать и ряд требований, главными из которых являются валидность теста, его надежность и дифференцированность [52].

Таблица 3.8

Тесты для оценки профессионально значимых качеств оператора МСХТ

Профессионально значимые качества	Свойства	Мотивация значимости	Тесты
1. Технический интеллект [11]	Уровень развития интеллекта	Необходимость понимания технологического процесса, устройства и принципа работы технических средств	Тест механической понятливости Беннета [10]
2. Ответственность (надежность в работе) [11]	Осознанность принятых решений, упорство в достижении цели	Ответственность за безопасность других людей и материальные ценности	Тест Кеттелла
3. Эмоциональная устойчивость [11]	Стабильность в поведении, эмоциях, реализм	Высокая напряженность труда	Тест Кеттелла

Для выбора экспертов из числа операторов МСХТ, оценивающих приспособленность техники к технологическим регулировкам, устранению отказов техники, рекомендуется использовать знаковый статистический метод – непараметрический подход для анализа статистических данных (результатов тестирования предполагаемых экспертов), когда закон распределения неизвестен и выводы основываются не на самих данных, а на знаках определенных функций от них.

Тестирование экспертов проводится в соответствии с подобранными тестами анонимно и на добровольной основе. Результаты тестирования приводятся к нормализованному виду [1]:

$$X_{ij}^{и(н,э)} = \frac{B_{ij}^{и(н,э)}}{B_{\max ij}^{и(н,э)}}, \quad (3.17)$$

где $X_{ij}^{n(n,\varepsilon)}$ – нормализованная оценка по i -му тесту j -го эксперта;

$B_{ij}^{n(n,\varepsilon)}$ – количество правильных ответов j -го испытуемого на вопросы по i -му тесту;

$B_{\max ij}^{n(n,\varepsilon)}$ – максимально возможное количество правильных ответов на вопросы теста ($B_{\max}^n = 70$ для теста Беннета; $B_{\max}^n = 12$ для тестов Кеттела).

Таким образом, в качестве экспертов должны выступать кандидаты, показавшие профессиональную компетентность.

При проведении экспертной оценки удобства, доступности и безопасности выполнения технологических регулировок и устранения отказов МСХТ все регулировки делятся на оперативные и установочные. К оперативным относятся технологические регулировки, выполнение которых не требует прерывания работы технического средства, и регулировки, выполняющиеся неоднократно в течение рабочей смены с прерыванием технологического процесса (остановкой машины, выключением рабочих органов и т. д.). Установочными считаются регулировки, выполнение которых производится не чаще одного раза в рабочую смену и требует прерывания технологического процесса [108].

Для сравнения удобства, доступности и безопасности выполнения технологических регулировок и устранения отказов МСХТ рекомендуется оценочная шкала от одного до пяти баллов: пять баллов означает высокую приспособленность технического средства к безопасному и эффективному выполнению работ, а в один балл оценивается как крайне низкая.

Для оценки удобства регулировки учитывается положение тела и рук оператора МСХТ в ходе ее выполнения (таблица 3.9). Так, регулировка, при выполнении которой оператор МСХТ сидит, держа руки перед собой на уровне груди (рисунок 3.1), оценивается в пять баллов. Этот вариант встречается при регулировании режимов работы рабочего органа средств механизации из кабины МСХТ. При работе оператора МСХТ с объектом регулирования сидя с поворотом или наклоном туловища до 90° регулировка оценивается в четыре балла. В два балла оценивается регулировка, выполняемая с использованием дополнительных опор, подставок и др.

Таблица 3.9

Исходные данные для оценки удобства выполнения технологических регулировок, устранения отказов МСХТ [1]

Положение оператора МСХТ	Положение рук	Баллы
Стоя или сидя	Перед собой на уровне груди	5
	Над головой	4
Стоя или сидя с поворотом или наклоном туловища до 90°	Перед собой на уровне груди	4
В приседе	Перед собой на уровне груди	3
	Сбоку с изгибом (в локтевом суставе, кисти), работа левой рукой	2
Стоя, в приседе или сидя с поворотом и наклоном туловища до 90°	Перед собой на уровне груди	2
Сидя, стоя подтягиваясь	Над головой или сбоку	1
Работа с использованием дополнительных опор, подставок и др.	Перед собой на уровне груди, сбоку или над головой	1

Чтобы определить степень доступности проведения технологических регулировок для поддержания работоспособности МСХТ, учитывают наличие пространства для их выполнения (таблица 3.10). Если оператору не требуется покинуть кабину МСХТ, регулировка оценивается в пять баллов. В случае, если для ее выполнения оператору МСХТ необходимо откинуть щиток, крышку и др., степень доступности выполняемой работы принимается равной четырем баллам. Регулировка вблизи цепных или ременных передач оценивается в три балла. Низшую оценку (один балл) имеет регулировка, требующая разборки узла рабочего органа технического средства.

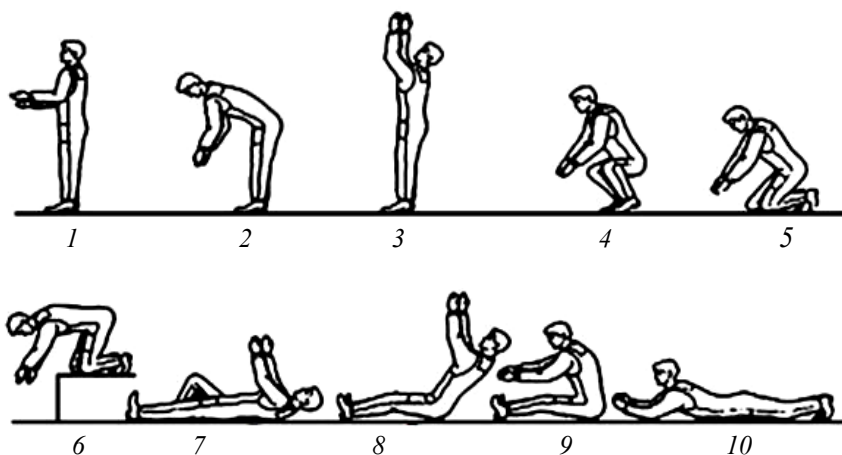


Рис. 3.1. Положение тела оператора МСХТ при проведении оценки технического обслуживания технического средства [108]:
1–3 – удобные позы, достигаемые без применения дополнительных сооружений;
4, 5, 7 – среднеудобные позы; 6, 8–10 – неудобные позы

Таблица 3.10

Исходные данные для оценки доступности
выполнения технологических регулировок, устранения отказов МСХТ

Действия оператора МСХТ [1]	Баллы
Не сходя с рабочего места без устранения каких-либо препятствий	5
Покидая рабочее место без устранения каких-либо препятствий	4
Покидая рабочее место или не сходя с него с откидыванием щитка, капота, крышки и т. д.	4
Покидая рабочее место или не сходя с него с откидыванием щитка, капота, крышки и т. д. с откручиванием болтов, гаек: – до 3; – более 3	4 3
Работа с объектом регулирования, находящимся вблизи цепных и ременных передач	3

Действия оператора МСХТ [1]	Баллы
Работа с объектом регулирования при ограничении доступа к нему другими рабочими органами (детальями)	2
Частичная и полная разборка узлов, рабочих органов, мешающих выполнению регулировок	1

Оценка безопасности выполняемых оператором работ по поддержанию работоспособности техники проводится исходя из местоположения оператора МСХТ, мер и действий, необходимых для обеспечения этого требования (таблица 3.11). Так, регулировке, производящейся из кабины МСХТ, когда не требуется ее остановка и выключение рабочего органа технического средства, т. е. исключена вероятность нахождения оператора МСХТ в потенциально опасных зонах, выставляется пять баллов. Безопасность же регулировки, выполняемой вне кабины МСХТ и требующей остановки технического средства, дополнительных лестниц и подставок, выключения рабочего органа, когда оператор МСХТ полностью находится в зоне режущих или колющих деталей машины, оценивается в три балла. Оценка в два балла выставляется технологической регулировке, при выполнении которой необходимо находиться в зоне возможного произвольного опускания рабочих органов технического средства.

Таблица 3.11

Исходные данные для оценки безопасности выполнения технологических регулировок, устранения отказов МСХТ [1]

Местонахождение оператора МСХТ [1]	Действия оператора МСХТ [1]	Баллы
В кабине	Не требуется остановка МТА и выключение рабочих органов технического средства (не требуется находиться в потенциально опасных зонах)	5
В кабине или вне ее	Требуется остановка МТА, но не требуется выключение рабочих органов технического средства (не требуется находиться в потенциально опасных зонах)	4

Местонахождение оператора МСХТ [1]	Действия оператора МСХТ [1]	Баллы
Вне кабины	Требуется остановка МТА и выключение рабочих органов технического средства:	
	– не требуется находиться в потенциально опасных зонах	3
	– требуется находиться в зоне рабочих органов и узлов МТА, имеющих шероховатость и заусенцы	3
	– требуется частично находиться в зоне режущих или колющих деталей и узлов рабочих органов МТА	3
	– требуется полностью находиться в зоне режущих или колющих деталей и узлов рабочих органов МТА	2
	– требуется находиться частично в зоне потенциально движущихся и вращающихся узлов рабочих органов МТА	2
	– требуется находиться полностью в зоне потенциально движущихся и вращающихся узлов рабочих органов МТА	1

Данный подход балльной оценки позволяет получить количественную оценку приспособленности сельскохозяйственных машин к регулировкам (устранению отказов) с учетом ряда показателей [21; 56; 79–84; 92; 108–110].

Обработка результатов экспертной оценки приспособленности технических средств к безопасному выполнению рассматриваемых работ проводится следующим образом [1]:

– определяются внутригрупповые дисперсии оценки удобства, доступности и безопасности их выполнения:

$$\sigma_i^2 = \frac{\sum X_i^2}{n} - \left(\frac{\sum X_i}{n} \right)^2, \quad (3.18)$$

где $\sum X_i$ – сумма выставленных экспертом баллов за удобство, доступность и безопасность, например регулировки технического средства;

n – количество оцененных регулировок;

– рассчитывается среднее значение внутригрупповых дисперсий:

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{\sum \sigma_i^2}{m},$$

где m – количество экспертов;

– определяются значения общей σ_{ip}^2 и межгрупповой σ^2 дисперсии:

$$\sigma_{общ}^2 = \frac{\sum X_i^2}{mn} - \left(\frac{\sum X_i}{mn} \right)^2; \quad (3.19)$$

$$\sigma^2 = \sigma_{общ}^2 - \bar{\sigma}^2; \quad (3.20)$$

– рассчитываются эмпирические значения коэффициента детерминации η^2 и корреляционного соотношения η :

$$\eta^2 = \frac{\sigma^2}{\sigma_{общ}^2} 100; \quad (3.21)$$

$$\eta = \sqrt{\frac{\eta^2}{100}}; \quad (3.22)$$

– определяются внутригрупповые дисперсии, зависящие от вида регулировок σ_{ip}^2 :

$$\sigma_{i_p}^2 = \frac{\sum X_{i_p}^2}{m} - \left(\frac{\sum X_{i_p}}{m} \right)^2, \quad (3.23)$$

где $\sum X_{i_p}$ – сумма баллов, выставленных регулировкам при оценке приспособленности технического средства к таким работам;

– рассчитывается среднее значение их внутригрупповых дисперсий, зависящих от вида регулировок $\bar{\sigma}_p^2$:

$$\bar{\sigma}_p^2 = \frac{\sum \sigma_{i_p}^2}{n}. \quad (3.24)$$

С учетом частоты изменения регулировок рабочих органов технических средств и агросроков их выполнения рассчитываются показатели безопасности управления технологическими процессами.

3.3 Метод оценки травмоопасности при восстановлении работоспособности технического средства (на примере кормоуборочного комбайна)

Анализ ранее проведенных исследований позволил установить, что наибольшее время простоя комбайна вследствие пребывания комбайнера в травмоопасной зоне имеет место при устранении эксплуатационных отказов [111]. Так же установлено, что производственный травматизм при выполнении этих работ составляет около 80 % от всех случаев потери трудоспособности комбайнера [30]. Для исследования вероятности и продолжительности нахождения комбайнера в травмоопасной зоне, определения таких показателей как параметры потока отказов (λ), восстановлений (μ) и среднего времени устранения отказа, предлагается использовать, как наиболее подходящий, математический аппарат теории массового обслуживания [112]. В качестве же критерия для оценки травмоопасности при восстановлении работоспособности кормоубо-

рочных комбайнов (таблица 3.12), градации ее уровней, использовалась приведенная плотность потока отказов и восстановлений ($\rho = \lambda/\mu$). Изменение значения параметра ρ показывает кратность устранения отказов в течение рабочего периода ($K_{y.o.}$).

Таблица 3.12

Уровни травмоопасности кормоуборочного комбайна
при восстановлении работоспособности

Наименование уровня	Интервал изменения уровня травмоопасности (ρ_t)	Оценка	
		в относительных единицах	баллах
1	2	3	4
Низкий	0,100...0,150	0,99...0,66	5,0...4,67
Средний	0,151...0,199	0,65...0,50	4,66...4,34
Высокий	0,200 ...0,900	0,49...0,10	4,33...3,00

Необходимое для исследований минимальное количество отказов для характеристики травмоопасности при восстановлении работоспособности кормоуборочных комбайнов (устранении отказов r), при экспоненциальном их распределении, определяется из условия:

$$\delta + 1 = \frac{2r}{\chi^2_{1-\beta; 2r}}, \quad (3.25)$$

где δ – относительная ошибка среднего значения исследуемой случайной величины;

β – доверительная вероятность оценки параметра;

$\chi^2_{1-\beta; 2r}$ – квантиль распределения χ – квадрат с $2r$ степенями свободы и доверительной вероятностью $1 - \beta$.

При проведении исследований МСХТ значения относительной ошибки и доверительные вероятности обычно выбирают в пределах $\delta = 0,10...0,25$, $\beta = 0,80...0,95$ [113]. Выражение (3.25) табулировано. Допустим, $\beta = 0,90$, $\delta = 0,10$, тогда, для наблюдений за кормоуборочными комбайнами для принятых нами β и δ доста-

точно зафиксировать 200 требований на обслуживание. Учитывая, что в среднем за сезон работы на один кормоуборочный комбайн приходится 18 отказов, под наблюдение необходимо брать не менее 11 комбайнов.

Для определения минимального числа требований при восстановлении работоспособности комбайнов по закону Вейбулла используется следующее выражение:

$$(\delta+1)^{\alpha} = \frac{2r}{\chi^2_{1-\beta; 2r}}, \quad (3.26)$$

где α – степенной параметр распределения (лежит в пределах: 1,0...2,5 [113] и зависит от коэффициента вариации).

Сопоставляя два выражения (3.25) и (3.26), можно сделать вывод, что при экспоненциальном распределении (зависимость 3.25) требуется большее количество необходимых требований на обслуживание, нежели используя зависимость 3.26, причем при одних и тех же значениях β и δ .

Для проведения экспериментальных исследований подбираются агропредприятия, которые по своим почвенно-климатическим условиям являются характерными для Республики Беларусь, имеют квалифицированные кадры и достаточную техническую оснащенность. Для сбора статистической информации в агропредприятиях организовываются хронометражные наблюдения за работой и обслуживанием кормоуборочных комбайнов. Данные хронометража заносятся в сводную форму и одновременно проводится классификация отказов по группам сложности. Отказы, которые устраняют регулировкой, заменой или ремонтом деталей, входящих в комплект запасных частей, без разборки узлов и агрегатов, инструментом, прилагаемым к комбайну, относятся к первой группе [144]. Ко второй группе относятся отказы, устраняемые регулировкой, заменой или ремонтом деталей, не входящих в комплект запасных частей с разборкой узлов и агрегатов, а также с применением передвижных ремонтных мастерских (МРП). Отказы, для устранения которых необходимо производить демонтаж узлов и агрегатов с рамы комбайна или полностью заменить один из них, относятся

к третьей группе сложности. Отказ детали, вызвавший полную или частичную потерю работоспособности других деталей, регистрируется как один, при этом группу сложности определяют по наибольшей трудоемкости восстановления одной из отказавших деталей.

Статистическая обработка экспериментальных данных проводится следующим образом:

- по опытным данным строится эмпирическое распределение, вычисляются его параметры, формируется гипотеза о виде закона распределения исследуемой случайной величины. Принятие гипотезы о возможности описания потоков отказов кормоуборочных комбайнов, например, законом Пуассона, обосновывается видом эмпирического распределения, параметр которого находится из соотношения:

$$\Lambda = \frac{W}{T},$$

где Λ – параметр потока отказов (среднее число отказов, поступивших за сутки);

W – общее число отказов, поступивших от m -комбайнов за T суток;

- по принятому теоретическому закону производится выравнивание экспериментальной кривой (в качестве параметра теоретического распределения используется статистическая оценка Λ):

$$P_k = \frac{\Lambda^k}{k!} e^{-\Lambda}, \quad (3.27)$$

где k – число дней с k -требованиями;

- по критериям согласия сравниваются эмпирическое и теоретическое распределения, выносится решение о принятии или отвержении выдвинутой гипотезы.

При большем объеме выборки – количестве зарегистрированных отказов ($W > 30$), сначала строится статистический вариационный ряд, а затем вычисляются оценки числовых характеристик. При переходе от параметра потока, идущего от парка уборочного комплекса к па-

раметру потока отказов одного комбайна за один час работы, используется следующая зависимость:

$$\lambda = \frac{\Lambda}{m\varphi k_{\text{см}} t_{\text{см}}}, \quad (3.28)$$

где φ – коэффициент использования времени работы комбайна;
 $k_{\text{см}}$ – коэффициент сменности;
 $t_{\text{см}}$ – продолжительность смены.

Для определения времени нахождения оператора МСХТ в травмоопасной зоне, вначале находится число временных интервалов [115]:

$$k_{\text{max}} \approx 1 + 3,3 \ln W, \quad (3.29)$$

где W – общее количество зарегистрированных отказов при экспериментальных исследованиях.

Продолжительность интервала (Δt) рассчитывается из следующего выражения:

$$\Delta t = \frac{t_{\text{max}} - t_{\text{min}}}{k_{\text{max}}}, \quad (3.30)$$

где t_{max} , t_{min} – максимальное и минимальное значения времени восстановления отказа (работоспособности) из полученной статистической совокупности.

Построение статистических вариационных рядов и гистограмм времени нахождения оператора МСХТ в травмоопасной зоне при восстановлении работоспособности комбайна проводится на основании статистической информации: выдвигается гипотеза о приемлемости для описания времени восстановления работоспособности комбайна тем или иным теоретическим законом, определяется параметр (или параметры) закона распределения, с учетом которого проводится выравнивание экспериментальной кривой. Проверка

согласованности статистического распределения с теоретическим осуществляется по критериям согласия: Пирсона (хиквадрат), А. Н. Колмогорова, Н. В. Смирнова и др. Основываясь на экспериментальных данных, проверяется статистическая гипотеза H_0 , заключающаяся в том, что случайная величина X подчиняется выбранному нами теоретическому закону распределения. Принять или опровергнуть гипотезу H_0 позволяет величина U , характеризующая меру расхождения статистического и теоретического распределений. Эта величина U независимо от выбранного способа есть случайная величина, и закон ее распределения зависит от распределения величины X . Предположим, что выбранная мера расхождения U приняла некоторое значение u . Полагаясь на правильность гипотезы H_0 , определяется вероятность события $U \geq u$, то есть, что за счет случайных причин, вызванных ограниченным объемом экспериментального материала мера расхождения U не меньше опытного значения u . В случае, когда вероятность мала, статистическая гипотеза H_0 отвергается, в остальных – нужно признать, что результаты экспериментальных исследований не противоречат принятой гипотезе H_0 .

При некоторых способах выбора меры расхождения U (критерий Колмогорова) закон ее распределения не зависит от закона распределения случайной величины X . В случае определения степени согласованности теоретического и эмпирического распределений по критерию Пирсона за меру расхождения U принимается сумма квадратов отклонений теоретических вероятностей P_k от соответствующих частностей W_k , взятых с некоторыми коэффициентами ξ_k :

$$U = \sum_{k=0}^{K_{\max}} \xi_k (\omega_k - P_k)^2. \quad (3.31)$$

Если принять

$$\xi_k = \frac{T}{P_k},$$

где T – период уборки в сутках; P_k – теоретическая вероятность появления отказов в сутки, то закон распределения случайной величины U не зависит от закона распределения величины X , а зависит от числа интервалов $k_{\max}$ и приближается к распределению хи-квадрат с некоторой плотностью:

$$f(\chi^2, l) = \frac{1}{2^{\frac{l}{2}} \Gamma(\frac{l}{2})} (\chi^2)^{l/2-1} e^{-\chi^2/2}; \quad 0 \leq \chi^2 \leq \dots,$$

где $\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty t^{\alpha-1} e^{-t} dt$ – гамма-функция.

Следовательно, при принятом нами способе выбора коэффициентов ξ_k , мера расхождения (обычно обозначаемая χ^2) примет вид:

$$\chi^2 = T \sum_{k=0}^{k_{\max}} \frac{(\omega_k - P_k)^2}{P_k}. \quad (3.32)$$

Учитывая, что $\omega_k = \frac{T_k}{T}$, получим, что

$$\chi^2 = \sum_{k=0}^{k_{\max}} \frac{(T_k - T \cdot P_k)^2}{T \cdot P_k}, \quad (3.33)$$

где T_k – статистическая частота поступления требований на обслуживание комбайнов (число суток, в которые поступило k требований);

$T \cdot P_k$ – теоретическая частота поступления требований на обслуживание.

Распределение хи-квадрат находится в зависимости от параметра l – числа степеней свободы, который определяется по формуле

$$l = k_{\max} - q - 1, \quad (3.34)$$

где $(q + 1)$ – число связей, наложенных на частоты (q – количество параметров проверяемого теоретического закона, определенных по экспериментальным данным).

Распределение хи-квадрат табулировано [22], что облегчает определение степени согласованности теоретического и статистического законов распределений. Принятая гипотеза H_0 не противоречит опытным данным в том случае, если вероятность P , т. е. вероятность того, что в силу случайных причин, обусловленных ограниченным статистическим материалом, неудачным способом группировки статистических данных, мера расхождения эмпирического и теоретического распределений (зависимость 3.35) не меньше, чем $\chi^2_{\text{выч}}$, т. е. фактически полученное при эксперименте. В противном случае, а именно, если вероятность P настолько мала, что событие, имеющее такую вероятность, практически невозможно, гипотеза H_0 отбрасывается.

Хотя критерий Колмогорова и проще критерия χ и-квадрат, его применение ограничивается из-за следующих особенностей:

- он применяется только для непрерывных случайных величин;
- параметры проверяемого теоретического распределения должны быть заранее известны;
- параметры теоретического закона определяются по статистическим данным, применение этого критерия приводит к риску принятия гипотезы, плохо согласующейся с экспериментальным материалом.

3.4 Оценка условий труда на рабочем месте оператора технического средства

Условия труда на рабочем месте [116] оператора МСХТ оцениваются соответствующими классами ($K_{\text{у.т.}}$) и определяются при проведении аттестации рабочих мест (таблица 3.13). Первый и второй классы (соответственно оптимальные и допустимые условия труда) – это безопасные условия труда. Третий класс («3.1»; «3.2»; «3.3» и «3.4») – вредные условия труда. Чем выше степень третьего

класса, тем более значительные отклонения показателей опасных и вредных факторов производственной среды на рабочем месте от действующих гигиенических нормативов, что способствуют быстрой утомляемости работника и приводит к снижению безопасности труда. Если показатели опасных и вредных факторов производственной среды создают угрозу для жизни работника, то условия труда относятся к четвертому классу ($K_{у.т.}$ «4») и, как правило, требуют ликвидации [117].

Таблица 3.13

Оценка условий труда на рабочем месте оператора МСХТ

Уровень состояния условий труда	Класс условий труда	Оценка показателя ($K_{у.т.}$)	
		относительно ПДК (ПДУ), раз	балл
1	2	3	4
Высокий	«1», «2»	0,1...2,0	5,0...4,15
Средний (вредоносный)	«3.1», «3.2», «3.3» и «3.4»	2,1...10,0	4,14 ... 3,30
Низкий (опасный)	«4»	> 10,1	< 3,30

Для качественной оценки условий труда в течение рабочей смены использовался показатель ($K'_{у.т.}$) средневзвешенного отклонения значений опасных и вредных факторов производственной среды от гигиенических нормативов (таблица 3.13):

$$K'_{у.т.} = \frac{l_1}{m_1} \cdot d_1 + \frac{l_2}{m_2} \cdot d_2 + \dots + \frac{l_n}{m_n} \cdot d_n, \quad (3.35)$$

где $l_1, \dots, l_n$ – среднее значение за рабочую смену n -го параметра производственной среды;

$m_1, \dots, m_n$ – значение ПДК и ПДУ n -го параметра производственной среды в кабине МСХТ;

$d_1, \dots, d_n$ – показатель весомости n -параметра;

n – количество параметров условий труда в кабине МСХТ.

Влияние окружающей среды на функционирование технологической системы кормоуборки учитывается по простоям комбайна из-за природно-климатических факторов. Продолжительность простоев (отказов) комбайна по причине погодных условий ($t_{\mu}^{\text{ммы}}$) определяется из следующего выражения:

$$t_{\mu}^{\text{ммы}} = T_{\text{см}}^{\text{nc}} - t_{\text{ос}} , \quad (3.36)$$

где $T_{\text{см}}^{\text{nc}}$ – потенциальная продолжительность времени смены (время до окончания смены); $t_{\text{ос}}$ – время начала простоя (отказа) системы по причине «производственная среда» (погодным условиям).

Показатель $T_{\text{см}}^{\text{nc}}$ определяется по формуле (3.36) из условия продолжительности работы комбайна для выполнения заданной нормы выработки при установившихся до выпадения осадков темпов работы комбайна, то есть $T_{\text{см}}^{\text{nc}}$ – это оставшееся время от продолжительности рабочего дня, которое бы потребовалось для довыполнения нормы выработки:

$$T_{\text{см}}^{\text{nc}} = t_{\text{ос}}^{\phi} + t^{\text{nc}} = t_{\text{ос}}^{\phi} + \frac{\Delta W}{W_{\text{ч}}} , \quad (3.37)$$

где $t_{\text{ос}}^{\phi}$ – фактически отработанное время до начала отказа по причине фактора «производственная среда»;

t^{nc} – остаточное время смены, которое необходимо было бы отработать для выполнения заданной нормы выработки;

$W_{\text{ч}}$ – часовая производительность при установившихся до осадков темпах работы;

ΔW – оставшаяся невыполненная норма выработки:

$$\Delta W = W_{\text{см}}^{\text{н}} - W_{\text{о}}^{\phi} , \quad (3.38)$$

где $W_{\text{см}}^{\text{н}}$ – норма выработки комбайна, установленная на агропредприятии;

$W_0^{\text{ф}}$ – фактическая производительность, которую выполнил комбайн до начала простоев из-за осадков.

Используя (3.38), получим:

$$T_{\text{см}}^{\text{нс}} = t_{\text{ос}}^{\text{ф}} + t^{\text{нс}} = t_{\text{ос}}^{\text{ф}} + \frac{W_{\text{см}}^{\text{н}} - W_0^{\text{ф}}}{W_{\text{ч}}} . \quad (3.39)$$

Таким образом, для подсчета потенциального оставшегося времени, в случаях отказов системы по погодным условиям, необходимо знать фактически отработанное время до начала осадков, норму выработки, установленные на агропредприятии, фактическую производительность за время работы комбайна до начала осадков и часовую производительность (темп работы). Тогда продолжительность простоя по данной причине определяется по формуле (3.36).

3.5 Подбор экспертов для оценки безопасности выполнения регулировочных воздействий при эксплуатации технических средств и устранении отказов

Точность оценки приспособленности технических средств к выполнению технологических регулировок существенно зависит от количества экспертов и их квалификации. Уменьшение числа экспертов приводит к снижению точности оценки, а при слишком большом их количестве становится сложнее выявлять их согласованное мнение. Для установления необходимого количества экспертов с целью оценки приспособленности технических средств к технологическим регулировкам, предположим, что величина среднего квадратического отклонения σ при малой выборке n , равняется 1,5 единицы, и требуется, чтобы среднее арифметическое значение выборки $\bar{X}$ находилось не далее чем на расстоянии одной единицы (в нашем случае условно примем один балл) от суммы μ (среднего значения оценки). Для нормального распределения это

требование означает [25], что половина ширины доверительного интервала должна равняться 1, то есть

$$\left(\bar{X} + \frac{U_{1-a/2} \cdot s}{\sqrt{n}} \right) - \left(\bar{X} - \frac{U_{1-a/2} \cdot s}{\sqrt{n}} \right) = \frac{2u_{1-a/2} \cdot s}{\sqrt{n}}, \quad (3.40)$$

это условие можно записать в следующем виде:

$$\frac{U_{1-a/2} \cdot s}{\sqrt{n}} = 1,0.$$

Полагая, например, $a = 0,10$ при $\sigma = 1,5$, получим:

$$1,29 \cdot \frac{1,5}{\sqrt{n}} \quad \text{или} \quad n = \frac{(1,29 \cdot 1,5)^2}{1,0} \approx 4,0,$$

то есть минимальный объем выборки (n) – количество экспертов для проведения исследований должно быть не менее четырех. При этом вероятность того, что выборочное среднее будет отличаться от среднего совокупности не более чем на один балл, составляет девяносто процентов.

Эксперты тестировались (таблица 3.14), а затем полученные результаты тестов оценивались по обобщенному показателю ($K_{об.}$), который рассчитывался как среднее арифметическое значение нормализованных оценок по результатам трех тестов (таблица 3.15).

Результаты расчета показали высокую согласованность мнений специалистов, оценивающих предполагаемых экспертов (коэффициент конкордации (W) равен 0,96). Обработка данных тестирования (таблица 3.16), позволила получить уравнение регрессии для оценки профессионально-значимых качеств у предполагаемых экспертов:

$$Y_3 = -1,77 + 2,86X_1^{и} + 1,61X_2^{и} + 2,28X_3^{э}, \quad (3.41)$$

где Y_3 – оценка профессионально значимых качеств у предполагаемых экспертов;

$X_{1...3}^{и(н;э)}$ – нормализованные оценки результатов тестирования.

Результаты тестирования предполагаемых экспертов

Результаты тестирования экспертов															
	1-й эксперт			2-й эксперт			3-й эксперт			4-й эксперт			5-й эксперт		
	тест «Беннета» (B_1)	тест «Кеттла» (B_2)	тест «Кеттла» (B_3)	тест «Беннета» (B_1)	тест «Кеттла» (B_2)	тест «Кеттла» (B_3)	тест «Беннета» (B_1)	тест «Кеттла» (B_2)	тест «Кеттла» (B_3)	тест «Беннета» (B_1)	тест «Кеттла» (B_2)	тест «Кеттла» (B_3)	тест «Беннета» (B_1)	тест «Кеттла» (B_2)	тест «Кеттла» (B_3)
Профессионально-значимые качества для эксперта	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1. Технический интеллект (X_1'')	65			67			65			64			65		
2. Ответственность (надежность в работе) (X_2'')		11			11			10			12			10	
3. Эмоциональная устойчивость (X_3'')			10			11			10			11			10

Таблица 3.15

Результаты тестирования предполагаемых экспертов

Номер кандидата в эксперты	Показатели профессионально значимых качеств			Обобщенный показатель ($K_{об.}$)
	X_1^n	X_2^n	$X_3^э$	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
1	0,929	0,917	0,880	0,909
2	0,957	0,917	0,960	0,945
3	0,929	0,833	0,840	0,867
4	0,914	1,000	0,960	0,958
5	0,929	0,833	0,880	0,881

Результаты проверки «нулевой» гипотезы [10] для уровня доверия 0,95, приведенные в таблице 3.16, показали, что все «нулевые» гипотезы отвергаются, следовательно, показатели (X_1^n ; X_2^n ; $X_3^э$) уравнения регрессии (3.41) значимы. Качество полученной регрессионной модели (выражение 3.41) оценивалось путем анализа разности между фактическим и расчетным значениями $У_3$.

Таблица 3.16

Результаты проверки «нулевой» гипотезы значимости профессиональной компетенции экспертов

Гипотеза	Уровень доверия	Статистика критерия	Значение квантили	Результаты
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
$\theta_0 = 0$	0,95	6,750	0,953	Нулевая гипотеза отвергается
$\theta_1 = 0$		2,120	0,991	
$\theta_2 = 0$		3,370	0,970	
$\theta_3 = 0$		2,700	0,984	

В результате проведенных расчетов установлены незначительные отклонения фактических значений от регрессионных, также как незначительна и разница (0,021) положительных и отрицательных значений (таблица 3.17).

Таблица 3.17

Показатель профессиональной компетентности предполагаемых экспертов

Номер кандидата в эксперты	Общая оценка специалистов, балл	Расчетный показатель профессиональной компетентности	Остатки
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1	4	4,369	–0,369
2	5	4,632	0,368
3	4	4,143	–0,143
4	5	4,643	0,357
5	4	4,234	–0,234

Разработанное научно-методическое обеспечение исследований техносферной безопасности на объектах агропромышленного комплекса (методики, компьютерные программы, номограммы для оценки уровня производственного риска и выбора безопасных режимов работы технического средства) позволяет дать объективную оценку техногенной опасности стационарных предприятий АПК и технических средств используемых для возделывания сельскохозяйственных культур в условиях изменения параметра состояния производственной среды, обосновать подбор экспертов для оценки безопасности выполнения регулировочных воздействий технических средств и устранения их эксплуатационных отказов, оценить условия и безопасность труда.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Обоснование потенциально опасных зон при проведении регулирующих воздействий на технические средства для уборки и послеуборочной обработки кормов и зерновых культур, обработки почвы и посевов, механизации производства корнеклубнеплодов и ягод

Для проведения исследований по определению потенциально опасных зон при выполнении регулирующих воздействий технических средств использовалась разработанная компьютерная программа [118]. Были выбраны с учетом статистических данных наиболее травмоопасные виды производственной деятельности (таблица 4.1) в растениеводческой отрасли и соответствующие новые технические разработки отечественного производства, в том числе, платформа с манипулятором для транспортировки кормов ПМК-10, агрегат для распределения и уплотнения кормов в хранилищах АРУК-5, погрузчик-метатель зерна ПМЗ-100, агрегат широкозахватный комбинированный АКШ-9, агрегат почвообрабатывающий многофункциональный АПМ-6А, плуг 12-ти корпусный оборотный ПО-(8+4)-40, сеялка пневматическая С-9, культиватор грядовой КГ-1, грядоделатель навесной ГН-1, картофелесажалка СК-4, комбайн для уборки капусты КПК-1 [119].

Результаты экспертной оценки приспособленности технологических регулировок исследуемых технических средств приведены в таблице 4.2. Оценка проводилась отдельно, как в целом по группам показателей (удобство, доступность, безопасность), так и по показателям внутри группы. Во всех случаях проверялась согласованность ранжировок друг с другом для чего использовался коэффициент конкордации [120]:

$$W = \frac{12 \cdot S}{k^2 \cdot n(n-1)}, \quad (4.1)$$

где S – сумма квадратов разностей (отклонений) между фактическими суммами рангов (j -го параметра у j -го эксперта) и их средним значением;

k – число экспертов;
 n – число показателей.

Адекватность распределения ранжировок экспериментальным данным проверялась с использованием F – критерия Фишера при выбранном уровне значимости и числах степеней свободы [147].

Таблица 4.1

Оценка травмоопасности по видам производственной деятельности в растениеводческой отрасли АПК (период 1997–2019 гг.) [119]

Вид производственной деятельности	Количество происшествий						
	всего случаев	%	случаев с тяжелым исходом	%	случаев со смертельным исходом	%	случаев в среднем за год
Уборка, послеуборочная обработка зерновых	414	36,0	295	36,3	119	35,3	18
Заготовка кормов	299	26,0	222	27,4	77	22,7	13
Обработка почвы, внесение удобрений, посев	138	12,0	82	10,0	56	16,7	6
Уборка картофеля и корнеплодов	92	8,0	70	8,6	22	6,5	4
Наезд транспортными средствами на людей	92	8,0	68	8,4	24	7,1	4
Прочие	115	10,0	76	9,3	39	11,7	5
Итого	1150	100	813	100	337	100	50

Таблица 4.2

Результаты экспертной оценки приспособленности технологических регулировок технических средств для возделывания сельскохозяйственных культур

Наименование регулировки	Экспертная оценка (ср. значение), баллы		
	удобство	доступность	безопасность
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Агрегат для распределения и уплотнения кормов в хранилищах АРУК-5			
1. Регулировка подъема или опускания распределителя кормов и катка уплотнителя	5	5	5
2. Включение привода распределяющих роторов	5	5	5
3. Регулировка подъема или опускания одного из отражателей	5	5	5
4. Управление краном подъема-опускания левого или правого отражателя	5	4	4
Платформа с манипулятором для транспортировки кормов ПМК-10			
1. Регулировка подшипников ступиц колес	4	2	3
2. Регулировка тормозов	2	2	2
Агрегат широкозахватный комбинированный АКШ-9			
1. Регулирование усилий догрузки боковых секций рабочих органов	5	2	2
2. Регулирование нагрузки на выравниватели и катки	5	4	4
3. Заглубление планок планчатого катка	5	4	2
4. Глубина обработки почвы S-образными пружинными стойками с лапами на каждой секции	4	3	2

Наименование регулировки	Экспертная оценка (ср. значение), баллы		
	удобство	доступность	безопасность
Агрегат почвообрабатывающий multifunctional АПМ-6А			
1. Ширина междурядий дисков первого и второго рядов	5	4	4
2. Глубина хода дисковых рабочих органов в пределах 6...12 см	5	5	4
3. Равномерность распределения веса агрегата в поперечном направлении	5	5	5
4. Глубина хода рыхлительных лап	5	3	3
5. Регулировка подшипников колес	4	2	2
6. Регулировка тормозов	4	2	2
Плуг 12-корпусной оборотный ПО-(8+4)-40			
1. Высота отвала	5	4	3
2. Регулировка рессорного предохранителя	5	4	4
3. Установки рамы плуга	5	5	5
4. Глубины пахоты и выравнивания рамы в продольной плоскости	5	5	5
5. Ширина захвата первого корпуса	5	2	2
6. Настройка плуга для работы в режиме «вне борозды»	4	2	2
Сеялка пневматическая С-9			
1. Регулировка высевальных аппаратов	5	5	5

Продолжение таблицы 4.2

Наименование регулировки	Экспертная оценка (ср. значение), баллы		
	удобство	доступность	безопасность
2. Регулировка воздушного потока высевающей системы	5	5	5
3. Давление сошников на почву	3	4	2
4. Глубины хода сошников	5	3	4
5. Регулировка рыхлителей следа колес трактора и сеялки	3	3	2
6. Регулировка загортачного устройства	5	5	4
7. Регулировка маркеров	4	5	5
8. Регулировка тормозов колесного хода	2	2	2
9. Регулировка подшипников ступицы колеса	2	2	2
10. Регулировка стояночного тормоза	3	2	2
Культиватор грядовый КГ-1			
1. Глубина обработки рабочим органом	4	3	3
2. Установки угла атаки роторов	4	3	3
3. Замена рабочих органов	5	3	2
4. Установка междурядья	4	2	2
Картофелесажалка СК-4			
1. Норма высева посадочного материала	5	3	3
2. Норма высева минеральных удобрений	5	4	4
3. Уровень заполнения высаживающих аппаратов	4	3	2
4. Глубина хода сошников	4	2	2

Наименование регулировки	Экспертная оценка (ср. значение), баллы		
	удобство	доступность	безопасность
5. Высоты борозды	4	2	2
6. Размеры междурядий	4	2	2
Комбайн для уборки капусты КПК-1			
1. Регулировка створы между делителями	4	4	3
2. Между отбойниками и полотном	5	4	4
3. Длины среза кочерыжки	4	3	4
4. Листоотделения	5	4	4
5. Скорости транспортера	5	4	4
6. Натяжения цепей	4	4	3
7. Высоты теребильного аппарата	5	5	5

Для установления объективности оценки экспертов применялся метод [122], основанный на использовании интервальных оценок $\bar{\delta}_i$

и σ_i , где $\bar{\delta}_i = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i}{n}$ – систематическая составляющая погрешности;

$\delta_i = x_i - x$ – погрешность оценки для каждого эксперта (x_i – текущая оценка; x – истинное значение оценки безопасности технического средства);

$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta_i - \bar{\delta}_i)^2}{n-1}}$ – среднее квадратичное отклонение систематической ошибки.

Анализируя исходные данные выборки, полагаем, что погрешность (δ_i) подчиняется нормальному закону распределения случайной величины x . Введем нечеткое множество реалистичности оценок R и функцию $\mu = \mu_R(\bar{\delta}_i)$ принадлежности этого множества R [123]. Выбор функции принадлежности осуществляем исходя из информации о результатах оценивания [119]

$$R = \int_{\bar{\delta}_i \text{ наим.}}^{\bar{\delta}_i \text{ наиб.}} \frac{\mu_R(\bar{\delta}_i)}{\bar{\delta}_i} d\bar{\delta}_i, \quad (4.2)$$

каждым экспертом

$$\mu_R(\bar{\delta}_i) = \begin{cases} 0, \bar{\delta}_i < a_1, \\ \frac{\bar{\delta}_i - a_1}{b_1 - a_1}, a_1 \leq \bar{\delta}_i < b_1, \\ \frac{c_1 - \bar{\delta}_i}{c_1 - b_1} b_1 \leq \bar{\delta}_i < c_1, \\ 0, \bar{\delta}_i \geq c_1, \end{cases} \quad (4.3)$$

где a_1, b_1, c_1 – пределы экспертных оценок для расчета $\bar{\delta}_i$.

Проинтегрировав $\mu = \mu_R(\bar{\delta}_i)$, получаем выражение для множества R :

$$\begin{aligned} R = & \frac{1}{b_1 - a_1} \left(\bar{\delta}_i - a_1 \ln |\bar{\delta}_i| \right) \Big|_{\bar{\delta}_i \text{ наим.}}^{b_1} + \frac{1}{c_1 - b_1} \left(c_1 \ln |\bar{\delta}_i| - \bar{\delta}_i \right) \Big|_{b_1}^{\bar{\delta}_i \text{ наиб.}} + \\ & + \frac{1}{b_1 - a_1} \left(b_1 - \bar{\delta}_i \text{ наим.} - a_1 \ln |b_1| + a_1 \ln |\bar{\delta}_i \text{ наиб.}| \right) + \\ & + \frac{1}{c_1 - b_1} \left(c_1 \ln |\bar{\delta}_i \text{ наиб.}| - \bar{\delta}_i \text{ наиб.} - c_1 \ln |b_1| + b_1 \right). \end{aligned}$$

С помощью функции принадлежности нечеткого множества рассчитывается коэффициент реалистичности оценок каждого эксперта k_i^* [24–А]:

$$\begin{aligned}
k_i^* &= \frac{1}{\bar{d}_{i \text{ наиб.}} - \bar{d}_{i \text{ наим.}}} \left(\frac{b_1}{\bar{d}_{i \text{ наим.}}} \frac{\bar{d}_i - a_1}{(b_1 - a_1)} d\bar{d}_i + \frac{\bar{d}_{i \text{ наиб.}}}{b_1} \frac{c_1 - \bar{d}_i}{(c_1 - b_1)} d\bar{d}_i \right) = \\
&= \frac{1}{\bar{d}_{i \text{ наиб.}} - \bar{d}_{i \text{ наим.}}} \left(\frac{1}{b_1 - a_1} \left(\frac{b_1^2}{2} - a_1 b_1 - \frac{\bar{d}_{i \text{ наим.}}^2}{2} + a_1 \bar{d}_{i \text{ наим.}} \right) + \right. \\
&\quad \left. + \frac{1}{c_1 - b_1} \left(c_1 \bar{d}_{i \text{ наиб.}} - \frac{\bar{d}_{i \text{ наиб.}}^2}{2} - c_1 b_1 + \frac{b_1^2}{2} \right) \right). \quad (4.4)
\end{aligned}$$

Используя данные выборки оценок экспертов, можно сделать вывод о коэффициенте реалистичности этих оценок. Получаем $k_3^* > k_2^* > k_1^*$.

Для нахождения стабильности оценок каждого эксперта составим нечеткое множество стабильных оценок T и функцию принадлежности этого множества [24–А]:

$$T = \int_{\sigma_i \text{ наиб.}}^{\sigma_i \text{ наим.}} \frac{\mu_T(\sigma_i)}{\sigma_i} d\sigma_i. \quad (4.5)$$

$$\mu_T(\sigma_i) = \begin{cases} 0, \sigma_i < a^*, \\ \frac{2(\sigma_i - a^*)^2}{(b^* - a^*)^2}, a^* \leq \sigma_i < \frac{a^* + b^*}{2}, \\ 1 - \frac{2(\sigma_i - a^*)^2}{(b^* - a^*)^2}, \frac{a^* + b^*}{2} \leq \sigma_i < b^*, \\ 1, \sigma_i \geq b^*, \end{cases} \quad (4.6)$$

$$\begin{aligned}
T &= \frac{2}{(b^* - a^*)^2} \left(\frac{(a^* + b^*)^2}{8} - (a^* + b^*)a^* + (a^*)^2 \ln \left| \frac{a^* + b^*}{2} \right| - \frac{\sigma_{i \text{ наиб.}}^2}{2} + 2a^* \sigma_{i \text{ наиб.}} - (a^*)^2 \ln |\sigma_{i \text{ наиб.}}| \right) + \ln |\sigma_{i \text{ наиб.}}| - \\
&- \ln \left| \frac{a^* + b^*}{2} \right| - \frac{2}{(b^* - a^*)^2} \left(\frac{\sigma_{i \text{ наиб.}}^2}{2} - 2\sigma_{i \text{ наиб.}} a^* + (a^*)^2 \ln |\sigma_{i \text{ наиб.}}| - \frac{(a^* + b^*)^2}{8} + 2a^* \frac{a^* + b^*}{2} - (a^*)^2 \ln \left| \frac{a^* + b^*}{2} \right| \right); \quad (4.7)
\end{aligned}$$

$$k_{i \text{ стаб.}}^* = \frac{1}{\sigma_{i \text{ наим.}} - \sigma_{i \text{ наиб.}}} \left(\int_{\sigma_{i \text{ наим.}}}^{\frac{a^* + b^*}{2}} \frac{2(\sigma_i - a^*)^2}{(b^* - a^*)^2} d\sigma_i + \right. \\ \left. + \int_{\frac{a^* + b^*}{2}}^{\sigma_{i \text{ наиб.}}} (1 - \frac{2(\sigma_i - a^*)^2}{(b^* - a^*)^2}) d\sigma_i \right). \quad (4.8)$$

где a^*, b^*, c^* – пределы экспертных оценок для расчета σ_i .

Анализ средних квадратичных отклонений систематических ошибок для каждого эксперта ($\sigma_1 = 0,1806$, $\sigma_2 = 0,1762$, $\sigma_3 = 0,1800$) позволил оценить как коэффициенты стабильности выставленных ими оценок ($k_{2\text{стаб}}^* > k_{3\text{стаб}}^* > k_{1\text{стаб}}^*$), так и в целом констатировать, что предложенная балльная методика позволяет в достаточной степени объективно количественно оценить тот или иной показатель приспособленности рассматриваемых технических средств к регулировкам с учетом требуемой компетентности привлекаемых для этого экспертов [119].

Результаты сравнительного анализа экспертной оценки приспособленности технических средств к регулировкам показали (таблица 4.2), что наименее удобными являются регулировки давления сошников на почву, рыхлителей следа колес трактора и сеялки, тормозов колесного хода (сеялка пневматическая С-9). К наиболее труднодоступным можно отнести регулирование усилий догрузки боковых секций рабочих органов агрегата широкозахватного комбинированного АКШ-9, глубины хода рыхлительных лап (агрегат почвообрабатывающий многофункциональный АПМ-6А), ширины захвата первого корпуса плуга 12-корпусного оборотного ПО-(8+4)-40 и его настройка в режиме «вне борозды»; регулировка подшипников ступицы колеса и глубины хода сошников сеялки пневматической С-9; установки междурядья и угла атаки роторов, глубины обработки рабочим органом сеялки пневматической С-9; нормы высева посадочного материала и уровня заполнения

высаживающих аппаратов картофелесажалки СК-4; длины среза ко- черыжки комбайном для уборки капусты КПК-1 и др. Наиболее травмоопасными (см. таблица 4.2) являются регулировки усилий догрузки боковых секций рабочих органов агрегата АКШ-9, ширины захвата первого корпуса плуга ПО-(8+4)-40, давления сошников на почву сеялки С-9, замены рабочих органов культиватора КГ-1, створы между делителями комбайна КПК-1 и некоторые другие.

Полученные согласно расчетам (формулы 2.87–2.89) значения показателей приспособленности технологических регулировок технических средств к безопасному их выполнению позволили определить зоны повышенной опасности [124–125] проведения регулировочных работ, где уровень производственного риска прогнозируется как «предельный» (таблица 4.3), при том, что в целом для этих технических средств он классифицируется как «минимальный». Так же по результатам исследований были обозначены технологические регулировки, риск травмирования при выполнении которых составляет не менее 75 процентов риска для предельного его значения. Например, регулировка усилия догрузки боковых секций рабочих органов и глубины обработки почвы S-образными пружинными стойками с лапами на каждой секции (агрегат широко-захватный комбинированный АКШ-9); установка угла атаки роторов, междурядья и глубины обработки почвы (культиватор грядовой КГ-1). (см. таблица 4.3) [119]. Также следует учитывать, что если это оператор МСХТ, только поступивший на работу и не имеющий практического стажа, то у него могут быть определенные затруднения в процессе приобретения профессиональных навыков по выполнению технологических регулировок сельскохозяйственных машин и устранению их отказов в процессе эксплуатации. В таких случаях с оператором МСХТ рекомендуется дополнительно провести соответствующее обучение и проверку знаний.

Результаты исследований тестирования функционального состояния технических средств с учетом оценки их приспособленности к технологическим регулировкам и безопасности их выполнения апробированы в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства».

Таблица 4.3

Показатели безопасности эксплуатации технических средств для возделывания сельскохозяйственных культур [119]

№	Техническое средство (разработчик, год выпуска)	Наименование регулировки	Показатель приспособленности технологической регулировки к техническому средству ($K_{тр}$)	Показатель безопасности выполнения технологической регулировки ($K_{вр}$)	Риск травмирования оператора МСХТ (P_p) при выполнении регулировки, %	Наименование уровня производственного риска при выполнении регулировки	Обобщенный показатель приспособленности технического средства к технологическим регулировкам ($K_{тр.с}$)	Показатель безопасности управления технологическим процессом ($K_{вр}$)	Риск травмирования оператора технического средства ($P_{тр.с}$), %	Наименование уровня производственного риска при использовании технического средства
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Агрегат для распределения кормов в хранилищах АРУК-5	Подъем распределителя кормов и катка уплотнителя	0,97	0,98	0,6	мини-мальный	0,90	0,94	1,1	ми-ни-мальный

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	(РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2017 г.)	Привода распределяющих роторов	0,97	0,98	0,6	мини-мальный				
		Подъем (опускание) одного из отражателей	0,97	0,98	0,5	мини-мальный				
		Управление краном подъема опускания левого или правого отражателя	0,74	0,84	5,8	мини-мальный				
		Регулировка подшипников ступиц колес	0,36	0,47	6,4	мини-мальный				
	Платформа с манипулятором для транспортировки кормов ПМК-10 (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2015 г.)	Регулировка тормозов	0,10	0,14	15,5	предел ный	0,19	0,26	10,5	минимальный (границный)

Продолжение таблицы 4.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	Полуприцеп самосальный тракторный ПТ-15С (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2017 г.)	Регулировка подшинников ступиц колес	0,36	0,47	6,4	мини-мальный	0,45	0,56	6,1	МИНИМАЛЬНЫЙ
		Регулировка тормозов	0,53	0,68	5,8	мини-мальный				
4	Погрузчик-метатель зерна ПМЗ-100 (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2015 г.)	Регулировка наклона трубы триммера	0,74	0,84	1,9	мини-мальный	0,75	0,83	1,9	МИНИМАЛЬНЫЙ
		– поворота триммера	0,74	0,84	1,9	мини-мальный				
		– включения – выключения блока ведущих колес	0,53	0,65	10,5	мини-мальный (граничный)				
		– направления движения	0,63	0,75	6,0	мини-мальный				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		– хода («вперед» - «назад»)	0,97	0,98	0,5	мини-мальновый				
		– переключения скорости (рабочая/транспортная)	0,97	0,98	0,4	мини-мальновый				
5	Агрегат широкозахватный комбинированный АКШ-9 (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; 2017 г.)	Усилия догрузки боковых секций рабочих органов	0,39	0,51	14,7	предел-ный	0,50	0,61	9,9	МИНИМАЛЬНЫЙ
		Нагрузки на выравниватели и катки	0,74	0,84	4,8	мини-мальновый				
		Заглубления планок планчатого катка	0,57	0,69	7,4	мини-мальновый				
		Глубины обработки почвы S-образными пружинными стойками с лапами на каждой секции	0,36	0,48	18,7	предел-ный				

Продолжение таблицы 4.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6	Агрегат почвообра- батывающий мно- гофункциональ- ный АПМ-6А (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; 2014 г.)	Ширины междурядий дисков первого и второго рядов	0,74	0,84	4,9	мини- мальный	0,54	0,65	3,2	МИНИМАЛЬНЫЙ
		Глубины хода дисковых рабочих органов в преде- лах 6...12 см	0,86	0,92	1,9	мини- мальный				
		Равномерности распределения веса агрегата в поперечном направлении	0,97	0,98	0,2	мини- мальный				
		Глубины хода рыхлительных лап	0,54	0,66	10,1	мини- мальный (гранич- ный)				
		Регулировка подшипников колес	0,28	0,38	7,4	мини- мальный				
		Регулировка тормозов	0,28	0,38	7,4	мини- мальный				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	Плуг 12-корпусный оборотный ПО- (8+4)-40 (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; 2017 г.)	Высоты отвала	0,64	0,76	5,8	мини-мальный	0,61	0,71	2,0	МИНИМАЛЬНЫЙ
		Регулировка рессорного предохранителя	0,74	0,84	1,9	мини-мальный				
		Установки рамы плуга	0,97	0,99	0,2	мини-мальный				
		Глубины пахоты и выравниности рамы в продольной плоскости	0,97	0,99	0,2	мини-мальный				
		Ширины захвата первого корпуса	0,40	0,52	11,5	мини-мальный (граничный)				
		Настройки плуга для работы в режиме «вне борозды»	0,28	0,38	7,4	мини-мальный				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8	Сеялка пнев- матическая С-9 (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизаци и сельского хозяйства», 2013 г.)	Регулировка высевающих аппаратов	0,97	0,98	0,2	мини- мальный	0,40	0,48	2,2	Минимальный
		Регулировка воздушного по- тока высевающей системы	0,97	0,98	0,2	мини- мальный				
		Давления сошников на почву	0,36	0,47	9,4	мини- мальный				
		Глубины хода сошников	0,64	0,76	4,4	мини- мальный				
		Регулировка рыхлителей следа колес трактора и сеялки	0,26	0,36	7,7	мини- мальный				
		Регулировка загортанного устройства	0,86	0,92	0,9	мини- мальный				
		Регулировка маркеров	0,86	0,92	0,9	мини- мальный				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
9	Культиватор грядовой КГ-1 (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизаци и сельского хо зяйства»; 2017 г.)	Регулировка тормозов колесного хода	0,11	0,15	14,1	предель- ный				
		Регулировка подшипников ступицы колеса	0,11	0,15	14,1	предель- ный				
		Регулировка стояночного тормоза	0,18	0,25	6,3	мини- мальный				
		Глубины обработки	0,43	0,55	18,8	предель- ный	0,39	0,51	13,5	Минимальный (граничный)
		Установки угла атаки роторов	0,43	0,55	18,8	предель- ный				
		Регулировка «замена рабочих органов»	0,47	0,59	7,3	мини- мальный				
		Установки междурядья	0,28	0,38	14,9	предель- ный				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10	Грядододелатель навесной ГН-1 (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; 2017 г.)	Высоты гряды	0,43	0,55	14,3	предел ный	0,61	0,71	3,3	МИНИМАЛЬНЫЙ
		Натяжения рессоры	0,74	0,84	2,9	мини-мальный				
		Управления маркерами	0,97	0,98	0,2	мини-мальный				
		Ширины гряды	0,43	0,55	14,3	пре-дельный				
		Установки маркеров	0,54	0,66	6,0	мини-мальный				
		Управления запорными кранами	0,74	0,84	2,0	мини-мальный				

Продолжение таблицы 4.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
11	Картофелесажалка СК-4 (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; 2015 г.)	Нормы высева посадочного материала	0,54	0,66	4,0	мини-мальный	0,38	0,49	7,6	Минимальный
		Нормы высева минеральных удобрений	0,74	0,84	2,0	мини-мальный				
		Уровня заполнения высаживающих аппаратов	0,36	0,47	6,3	мини-мальный				
		Регулировка высоты борозды	0,28	0,38	22,3	предельный				
		Глубины хода сошников	0,28	0,38	22,3	предельный				
		Размеры междурядий	0,28	0,47	19,3	предельный				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12	Комбайн для уборки капуст- ты КПК-1 (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизаци и сельского хо зяйства»; 2015 г.)	Створы между делителями	0,53	0,65	8,3	мини-мальный	0,67	0,77	2,7	МИНИМАЛЬНЫЙ
		Расстояния между отбойниками и полотном	0,74	0,84	2,9	мини-мальный				
		Длины среза кочерыжки	0,53	0,65	10,7	мини-мальный (гранич-ный)				
		Регулировка листоотде-ления	0,74	0,84	2,9	мини-мальный				
		Скорости транспорта	0,74	0,84	2,9	мини-мальный				
		Натяжения цепей	0,53	0,65	8,3	мини-мальный				
		Высоты теребильного аппарата	0,97	0,98	0,2	мини-мальный				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
13	Установка для мойки корне- клубнеплодов УМК-10 (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; 2015 г.)	Натяжения при- водного ремня моечного барабана	0,54	0,66	8,2	мини- мальный	0,66	0,76	3,3	Минимальный
		Скорости вращения моеч- ного барабана	0,97	0,98	0,5	мини- мальный				
		Натяжения цепи роликов	0,64	0,76	5,8	мини- мальный				
		Регулировка слива воды и очистки ванны	0,43	0,55	15,3	предель- ный				
		Наклона моечного барабана	0,86	0,92	1,9	мини- мальный				
14	Машина для полировки овошей МПК-10 (РУП «НПЦ НАН Беларуси по ме- ханизации сель- ского хозяйства»; 2015 г.)	Скорости роликового транспортера	0,97	0,98	0,5	мини- мальный	0,89	0,93	1,1	Минимальный
		Натяжения цепи роликово- го транспортера	0,97	0,98	0,5	мини- мальный				
		Наклона выгруз- ного лотка	0,74	0,84	0,4	мини- мальный				

Для оценки безопасности труда при выполнении механизированных работ на клюквенных чеках, определения уровня производственного риска ставилась задача проведения исследований в условиях изменения параметра состояния производственной среды (рисунок 4.1).

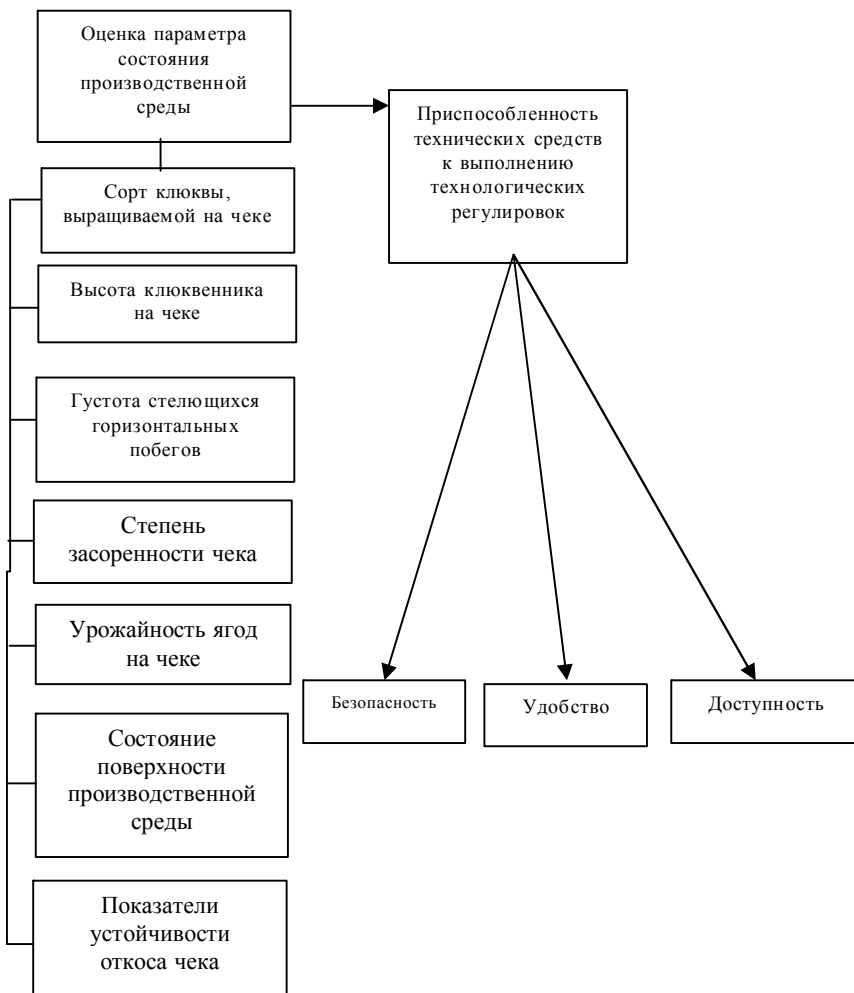


Рис. 4.1. Схема проведения исследований безопасности труда в технологии промышленного выращивания клюквы [26]

Под производственной средой для промышленного выращивания клюквы подразумевается клюквенный чек, форма которого в плане, как правило, прямоугольная, ширина и длина определяются, исходя из условий требуемого быстродействия осушительной системы, быстрого и равномерного распределения воды по чеку (рисунок 4.2). Соотношение ширины чека к его длине в пределах 1:4...1:7 [126]. Поверхность же чека должна быть с уклоном от продольной оси к чековым каналам и спрофилирована, чтобы не иметь замкнутых понижений горизонтальных участков площадью более 25 м² [50]. По продольной оси чека поверхность почвы горизонтальная. Водоподводящий и сбросные каналы чека располагаются параллельно или под острым углом к горизонталям, с учетом обеспечения равного водного режима на всех его участках [127–128]. По периметру чекоч промышленных клюквенных плантаций расположены обводные каналы, имеющие ограждения и состоящие из земляных дамб и дамб-дорог. Клюквенная плантация может иметь и несколько другой состав элементов, который определяется конкретными природными условиями ее расположения [50].



Рис. 4.2. Клюквенный чек промышленной плантации

Источники возникновения опасных и вредных производственных факторов при выполнении механизированных работ на клюквенных чеках [59] сгруппированы в таблице 4.4.

Таблица 4.4

Источники возникновения опасных и вредных производственных факторов при выполнении механизированных работ на клюквенных чеках

Источник (причина) возникнове- ния	Характеристика опасных и вредных производственных факторов при выполнении технологических процессов		
	Физические факторы	Химические и биологи- ческие фак- торы	Психофизиологи- ческие факторы
1	2	3	4
1. Челове- ческий фактор	При механизированном уходе за клюквенным покровом чека (далее – поднятии, расчесывании и обрезке побегов клюквенника) на откосах чека. При скашивании с измельчением сорняков, расположенных выше яруса клюквы. При уборке ягод машинно-тракторным агрегатом в условиях искусственно затопленного водой клюквенного чека. При технологической очистке вращающегося барабана технического средства для уборки ягод на воде от растительных остатков		Повышенное внимание оператора МСХТ при выполнении технологических процессов в условиях сложной конфигурации клюквенного чека – наличия внутричечковых канав и откосов; механизированной уборки ягод на искусственно затопленном водой чеке; при сгребании всплывших ягод вблизи откосов чека. Утомляемость, снижение внимания и работоспособности к концу рабочей смены

1	2	3	4
2. Машино-тракторный агрегат (МТА)	Отсутствие (снятие) защитных ограждений привода барабана уборочного технического средства; режущего барабана технического средства для поднятия, расчесывания и обрезки побегов клюквы. Отсутствие (снятие) защитного кожуха карданного вала технических средств, используемых на клюквенных чеках	Повышенная загазованность воздуха рабочей зоны	
3. Производственная среда	Перепады температуры в осенний период года; повышенная влажность воздуха	Повышение концентрации химических веществ (фунгицидов, инсектицидов) в воздухе рабочей зоны оператора МСХТ при приготовлении рабочего раствора и опрыскивании клюквенных посадок. Повышение концентрации гербицида в воздухе рабочей зоны при контактном смачивании верхушек сорняков на клюквенных чеках	

Факторами производственной среды, влияющими на различное состояние клюквенных чеков, являются [11]:

- стелющиеся горизонтальные побеги клюквенника;
- биометрические параметры клюквы. В настоящее время, например, в ОАО «Полесские журавины» на 87 чеках (90,16 га) выращивается восемь сортов клюквы («Стивенс», «Мак-Фарлин», «Стилз», «Бен-Лир», «Ранний черный», «Бергман», «Кроули», «Ховес»);
- слабая конкурентоспособность культуры крупноплодная клюква по отношению к сорной растительности. Уже в первый год вегетации культуры на чеках насчитывается до 80 таксонов сорных растений, масса которых на различных чеках изменяется от 100 до 300 ц/га.

Применительно к рабочему месту оператора МСХТ, обслуживающего комплекс машин для промышленного выращивания клюквы, можно отметить и ряд особенностей условий его труда. Это [11]:

- ярко выраженная сезонность работ;
- отсутствие четкого ежедневного ритма работ и, как следствие, различный уровень сменной загрузки;
- работа в вынужденной позе, со значительными нервно-мышечными перегрузками;
- выполнение механизированных работ в условиях изменяющейся производственной среды: на искусственно затопленном водой чеке; на откосах чека, имеющих различный угол наклона; на клюквенных чеках с различной засоренностью сорной растительностью и др.;
- способы уборки ягод;
- состояние откосов клюквенных чеков (сроки эксплуатации чеков составляют от 1 до 30 лет, что существенно сказывается на состоянии их откосов) и др.

В качестве параметров производственной среды, влияющих на эффективность и безопасность выполнения механизированных работ на клюквенных чеках, рассматриваются:

- угол откосов клюквенных чеков (устойчивость откосов);
- урожайность крупноплодной клюквы;
- состояние растительности, произрастающей в условиях рассматриваемой производственной среды (густота стелющихся горизонтальных побегов клюквенника (среднее значение их длины на чеках может изменяться от 0,2 до 0,9 м); степень засоренности чека сорной растительностью – слабая, средняя или сильная; высота

клюквенника на чеке (0,08...0,20 м); урожайность ягод (изменяется от 5 до 20 и выше т/га);

– состояние поверхности производственной среды (естественное или чек искусственно затоплен водой) и др.

По результатам исследований в 2012–2017 гг. в ОАО «Полесские журавины» была определена интенсивность изменений параметров состояния производственной среды (чека) (таблица 4.5).

Таблица 4.5

Количество изменений параметров состояния производственной среды за сезон выращивания крупноплодной клюквы (в среднем на одном чеке)

Наименование параметра производственной среды	Диапазон изменения параметра состояния производственной среды	Количество изменений (на одном чеке) параметра состояния производственной среды
1. Угол откоса чека	40...60 град.	4...6
2. Урожайность ягод	5...20 т/га	14...16
3. Длина стелющихся горизонтальных побегов клюквы	0,2...0,90 м	29...31
4. Засоренность чека сорной растительностью	10 %...30 %	15...17
5. Высота клюквенника	0,08...0,20 м	8...10

Важнейшим параметром производственной среды для безопасной эксплуатации техники на клюквенных чеках является устойчивое состояние его откосов, а также откосов чековой дамбы (рисунок 4.3). Соблюдение этого условия крайне необходимо для выполнения на откосах чека таких технологических процессов, как поднятие, расчесывание и обрезка стелющихся побегов клюквенника и уборка ягод [11]. Для расчета предельно допустимых параметров откоса клюквенного чека рассматривается геомеханическая модель сплошной среды (массив грунта) [129]. С физической точки зрения, использование модели сплошной среды оправдано, если выполняться неравенство [130]:

$$\sqrt[3]{\Delta V} > d_m, \quad (4.9)$$

где ΔV – объем материала;

d_m – характерный размер элементов микроструктуры.

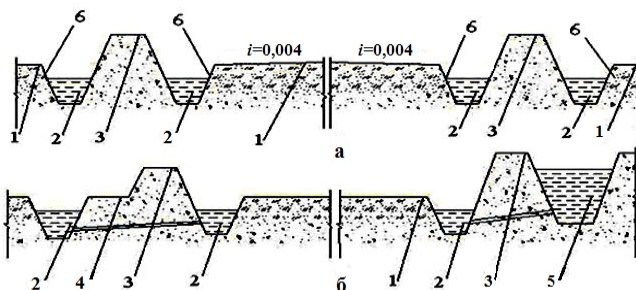


Рис. 4.3. Схема клоквенного чека: а – поперечный разрез;

б – продольный разрез [131];

1 – клоквенник; 2 – внутричековый обводной канал; 3 – чековая дамба;
4 – дамба-дорога; 5 – водоотводящий канал; 6 – откос обводного внутричекового канала

Объем материала ΔV геометрически рассматривается как бесконечно малый объект:

$$\sqrt[3]{\Delta V} > L_m, \quad (4.10)$$

где L_m – характерный размер изучаемого массива.

Неравенство (4.10) можно трактовать как условие математической корректности применения модели сплошной среды при выборе безопасных параметров откоса. Проанализируем показатели, влияющие на устойчивость откоса клоквенного чека (рисунок 4.4).

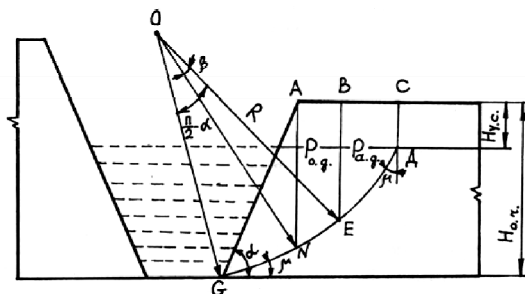


Рис. 4.4. Схема к расчету показателей функционирования производственной среды (клоквенного чека)

Согласно ранее проведенным исследованиям установлено [132], что радиус поверхности скольжения возможного разрушения откоса можно определить по формуле

$$R = \frac{(H_{\text{о.ч.}} - H_{\text{у.с.}}) \operatorname{tg} \mu + H_{\text{о.ч.}} \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{\cos \mu - \sin(\alpha - \mu) + \operatorname{tg} \mu [\cos(\alpha - \mu) - \sin \mu]}, \quad (4.11)$$

где $H_{\text{о.ч.}}$ – высота откоса чека, м;

α – угол откоса чека, град.;

$H_{\text{у.с.}}$ – высота упругого слоя грунта (расстояние от поверхности чека до уровня грунтовых вод), м:

$$H_{\text{у.с.}} = \frac{2K_c \cdot \operatorname{ctg} \mu}{\gamma_{\text{г}}},$$

где K_c – коэффициент сцепления грунта, слагающего откос клюквенного чека, м^{-1} ;

μ – угол между горизонталью и хордой GN , град.;

$\gamma_{\text{г}}$ – плотность грунта, кг/м^3 .

Ширина призмы возможного разрушения откоса чека (обозначим $AC = a_{\text{п}}$) находится из выражения [132]

$$a_{\text{п}} = 2 \cdot \{ R \cdot [\cos \mu - \sin(\alpha - \mu)] - H_{\text{о.ч.}} \cdot \operatorname{ctg} \alpha \}. \quad (4.12)$$

Длина участка поверхности скольжения откоса чека ($GN = l_{\text{ч}}$) рассчитывается с учетом изменяющихся физико-механических свойств грунта чека по формуле

$$l_{\text{ч}} = \frac{\pi R K_c (90^\circ - \alpha - \beta)}{180^\circ}, \quad (4.13)$$

где β – угол, стягиваемый хордой NE , град.:

$$\beta = 45^\circ - \frac{\varphi}{2},$$

φ – угол внутреннего трения грунта, град.

Значения опорного ($P_{о.д.}$) и активного ($P_{а.д.}$) давлений на поверхность чека, ограничиваемые соответственно участками NABE и EBСD, определяются из следующих зависимостей:

$$P_{о.д.} = 0,25\gamma a_n K_c \left[2H_{y.c.} + a_n \operatorname{ctg} \mu + \left(4R^2 \sin^2 \frac{\beta}{2} - \frac{a_n^2}{4} \right)^{0.5} \right], \quad (4.14)$$

$$P_{а.д.} = 0,5\gamma a_n K_c (H_{y.c.} + 0,25a_n \operatorname{ctg} \mu). \quad (4.15)$$

Таким образом, результаты ранее проведенных [133–136], а также собственных исследований [11], позволяют спрогнозировать (формулы (4.11)–(4.15)) зону разрушений откоса клюквенного чека, и тем самым спланировать мероприятия по безопасности механизированных работ на откосах чека.

Для поддержания клюквенного покрова промышленных чеков в «рабочем» состоянии необходимо проводить обрезку стелющихся побегов. Для этого рабочий орган технического средства [61] устанавливается с учетом состояния производственной среды с заглублением на 2...3 см в плодоносящий ярус клюквенника. Конструкция технического средства (рисунок 4.5) включает расчесывающее устройство в виде барабана, состоящего из закрепленных на его валу ободов с консольно установленным в виде отрезков многозаходной спирали прутками. Соседние ободы расчесывающего рабочего органа дополнительно снабжены консольно установленными прутками 5, выполненными конгруэнтно пруткам 4 и образуют зону перекрытия для схода с прутков растительности. За расчесывающим рабочим органом на раме с возможностью вращения установлен ножевой барабан с расположенными на нем по винтовой линии ножевыми сегментами (рисунок 4.5).

Прогнозирование безопасности выполнения рассматриваемого технологического процесса на клюквенных чеках с учетом интенсивности изменений состояния производственной среды выполнялось с использованием таблицы 2.5. На основании результатов исследований (таблица 4.6), с учетом сменной выработки технического средства, а также размеров клюквенного чека определено среднее

значение частоты выполнения технологических регулировок рабочих органов технического средства.

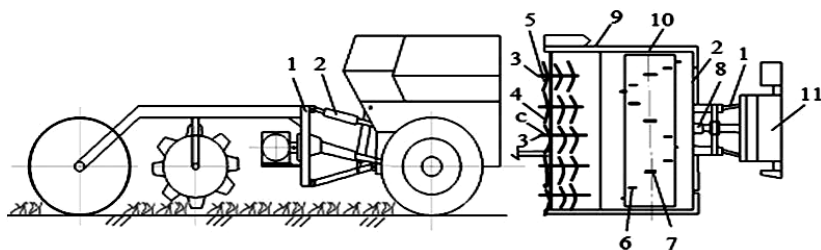


Рис. 4.5. Технические средства для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника с рабочим органом барабанного типа и консольными прутками [11]:

1 – передняя навеска энергосредства; 2 – рама; 3 – обод; 4, 5 – прутки; 6 – барабан; 7 – сегмент ножевой; 8 – редуктор; 9, 10 – цепная передача; 11 – энергосредство

Таблица 4.6

Частота выполнения техническим средством для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника технологических регулировок за смену

Наименование регулировок	Количество выполненных регулировок за смену	Количество регулировок, установленных согласно регламенту на выполнение работ	$K_{п.с.}$
1. Глубина установки в клюквеннике поднимающе-расчесывающего рабочего органа (оперативная)	30	25	1,20
2. Частота вращения режущего барабана (оперативная)	28	25	1,12
3. Угол наклона дополнительной секции (оперативная)	5	4	1,25

Установлено, что в условиях изменения параметра состояния производственной среды количество этих регулировок (оперативных) превышает регламентированное, что указывает на необходимость

усовершенствования конструкции технического средства для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника с целью создания комфортных условий труда для оператора МСХТ. Также, согласно результатам исследований, повышенный уровень производственного травматизма прогнозируется и при механизированном опрыскивании растений. Такая ситуация объясняется рядом причин, в том числе и тем, что при использовании опрыскивателя на клюквенном чеке, качание штанги в вертикальной плоскости вызывает изменение расстояния между распылителями и обрабатываемой поверхностью, что требует дополнительных остановок МТА и проведения соответствующих технологических регулировок. Частота вертикальных колебаний конца штанги соответствует частоте горизонтальных колебаний скорости трактора или опрыскивателя, возникающих при движении МТА по микронеровностям клюквенного чека. С увеличением скорости движения машинно-тракторного агрегата частота и амплитуда колебаний штанги возрастают, вследствие чего необходимо применять специальные устройства уменьшающие эти колебания, в частности, стабилизировать штангу опрыскивателя. Рекомендуются как активные, так и пассивные стабилизаторы. В первом случае расстояние от опрыскивателей до обрабатываемой поверхности растительности чека можно отрегулировать с помощью опорных устройств (полюзьев, колес и др.). Во втором, при пассивной стабилизации возможно применение различного типа подвесок штанги с демпферами, успокоителями и другими устройствами [5]. Изменение горизонтального положения штанги, возникающего при ее колебаниях, отрицательно сказывается на равномерности распределения рабочей жидкости по ширине захвата [137–138]. Так, провисание концов штанги приводит к повышению неравномерности внесения пестицидов до 50 % [5]. Регулировка на заданную норму (ΔH) позволяет снизить расход агрохимиката штанговым опрыскивателем на 30 % [5]:

$$\Delta H = \Delta H_{\text{ск}} + \Delta H_{\text{р.ш.}} + \Delta H_{\text{н.к.}} + \Delta H_{\text{н}}, \quad (4.16)$$

где $\Delta H_{\text{ск}}$ – отклонения, вызываемые изменением скорости движения машинно-тракторного агрегата;

$\Delta H_{\text{рш}}$ – отклонение нормы от изменения рабочей ширины захвата опрыскивателем (не учитывается для штанговых опрыскивателей);

$\Delta H_{\text{н.к.}}$ – отклонения, вносимые системами и узлами напорной коммуникации (влияние фильтров, распылителей, шлангов и т. д.);

$\Delta H_{\text{н}}$ – отклонения, вносимые производительностью насоса.

Следует отметить, что отклонение $\Delta H_{\text{ск}}$ можно уменьшить до 40 % [5] за счет поддержания оптимальной скорости движения МТА по клюквенному чеку. Отклонение $\Delta H_{\text{ск}}$ – при условии соблюдения правил регулировки и эксплуатации рабочих органов опрыскивателей, можно свести к минимуму. Отклонение, вызываемое производительностью насоса $\Delta H_{\text{н}}$ складывается из отклонений, связанных с изменением частоты вращения вала отбора мощности (ВОМ). Для снижения этой составляющей, влияющей на ΔH , от оператора МСХТ требуются технический интеллект и практический опыт работы с опрыскивателями. При этом необходимо, чтобы опрыскиватель обладал возможностью быстрой его остановки и контроля работы из кабины трактора и не оказывал негативного воздействия на окружающую среду. Возобновление опрыскивания участков клюквенного чека необходимо осуществлять в соответствии с утвержденными агросроками. Все работы по опрыскиванию чеков рекомендуется проводить в ранние утренние или вечерние часы.

При химической обработке растений на клюквенном чеке движение опрыскивателя должно быть с подветренной стороны, необходимо вовремя осуществлять регулировки его опрыскивающих органов, соблюдать заданную норму расхода пестицида. Запрещается опрыскивать растения при силе ветра более 4 м/с. При отказах опрыскивателя (во время работы) первой группы сложности необходимо его остановить и провести ремонтные работы. Для устранения таких отказов опрыскивателя, оперативной доставки и замены отказавших его элементов (деталей), рекомендуется использовать оборудованное для таких целей транспортное средство. При этом для повышения его проходимости, исключения буксования и как следствие повреждения клюквенного покрова при подъеме транспортного средства с чека на дамбу-дорогу, предлагается его оборудовать специальным устройством [139–140]. При этом транспортное средство передвигается вперед на существенное расстояние до приближения грунтозацепов к задним накладным дискам.

В Республике Беларусь 70 % времени года скорость ветра превышает 2,5 м/с [5]. Это обстоятельство влияет на снос капель раствора пестицида, возможности попадание раствора пестицида на работающих. Установлено [5], что при такой скорости ветра и типичных для Республики Беларусь условиях работы опрыскивателя, более 25 процентов капель испаряются, не долетая до обрабатываемых растений. Недостатком известной штанги с ветрозащитными устройствами от сноса капель раствора пестицида [141–144] является повышенное аэродинамическое ее сопротивление. С целью уменьшения потерь раствора пестицида, обеспечения равномерного покрытия препаратом зон обработки, повышения производственной безопасности опрыскивания растений нами предлагаются инженерно-технические решения и в частности конструкция штанги опрыскивателя (рисунок 4.6) с усовершенствованными, ветрозащитными устройствами [145].

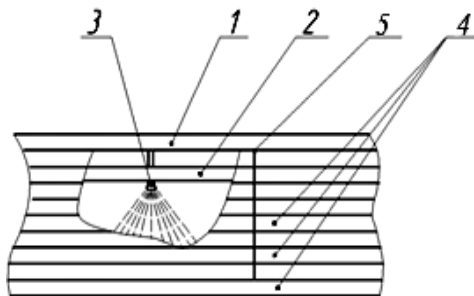


Рис. 4.6. Штанга опрыскивателя с ветрозащитными устройствами:
1 – несущая конструкция штанги; 2 – распределительная штанга; 3 – распылитель;
4 – ветрозащитное устройство (набор продольных пластин); 5 – рамка

Перед началом работы в соответствии со значением угла при вершине факела распыла распылителя устанавливается угол α наклона пластин на рамке (рисунок 4.7). За счет наличия перфорированных отверстий на поверхности пластин обеспечивается повышение равномерности внесения пестицидов по поверхности растений.

На предлагаемую конструкцию штанги опрыскивателя с ветрозащитными устройствами получен патент Республики Беларусь на изобретение [146].

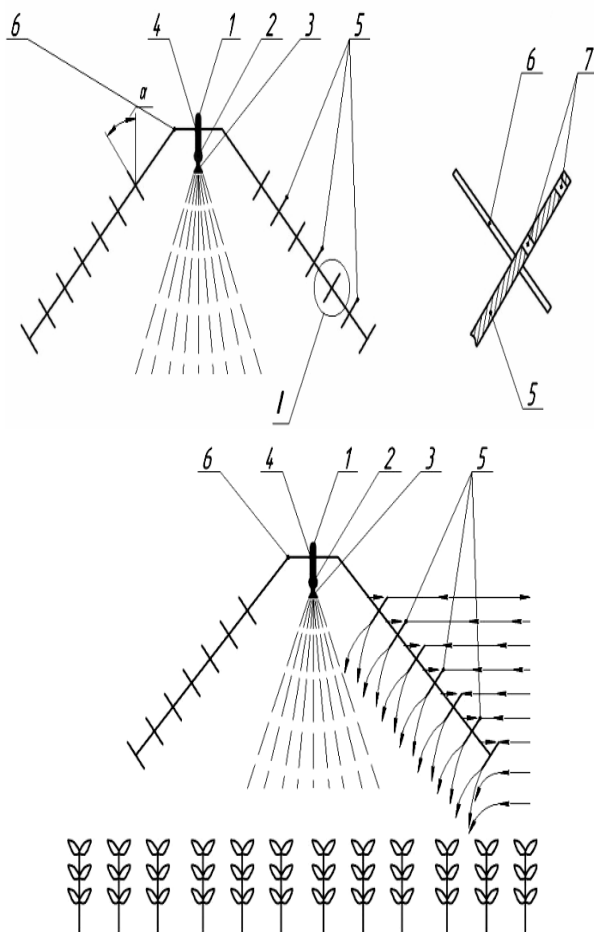


Рис. 4.7. Факел распыла раствора пестицида:

- 1 – несущая конструкция штанги опрыскивателя; 2 – распределительная штанга;
 3 – распылитель; 4 – кронштейн;
 5 – ветрозащитное устройство (набор продольных пластин); 6 – рама;
 7 – перфорированные отверстия

Для повышения качества выполнения операции по обработке растений на клюквенных чеках промышленной плантации, устранения воздействия машинно-тракторного агрегата на растительный покров чека предлагается запатентованная конструкция опрыскивателя

[145], приведенного на рисунке 4.8. Натяжной барабан дополнительного самопередвигающегося средства обеспечивает прогиб шланга ближе к растениям. Заправив резервуар необходимым рабочим раствором, включают насос и по условленному сигналу базовое и самопередвигающееся технические средства движутся по своим дамбам клюквенного чека. Рабочий раствор через распылители шланга попадает на растения, обеспечивая их обработку.

Для борьбы с сорной растительностью, постоянной спутницей крупноплодной клюквы, широко применяется контактное смачивание сорняков раствором гербицида [147]. При этом особое внимание уделяется изучению механизма подачи раствора, конфигурации рабочего органа и физико-химическим свойствам материала, используемого для обработки сорняков [148–159].

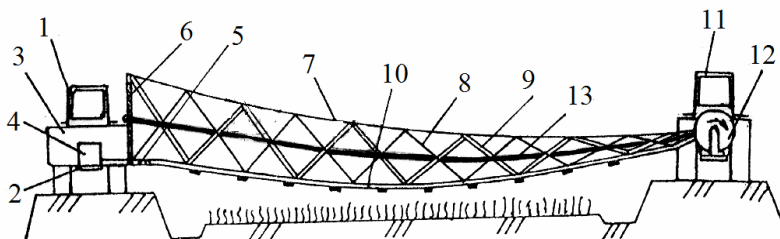


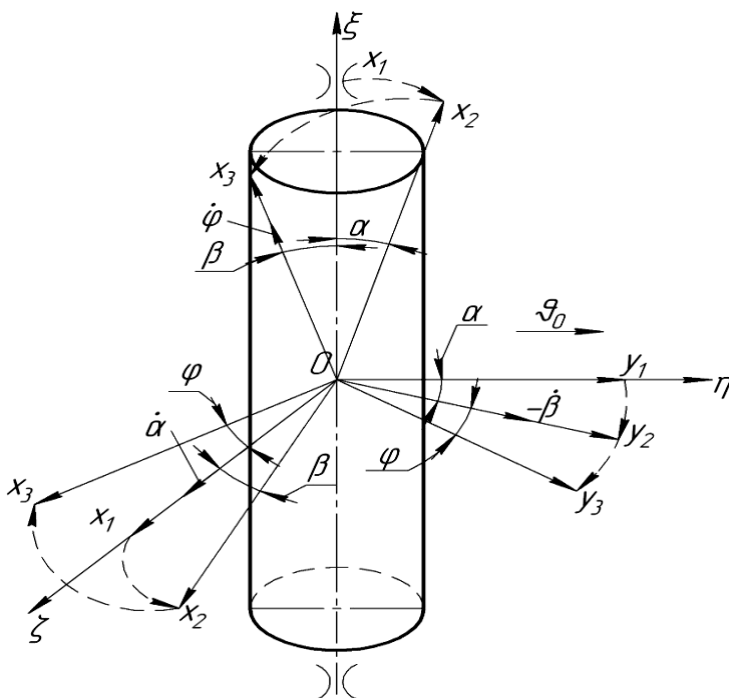
Рис. 4.8. Опрыскиватель для клюквенных чеков [145]:

- 1 – базовая машина; 2 – рама; 3 – резервуар; 4 – насос; 5 – штанга; 6 – кронштейн;
7 – канат; 8, 9 подвески; 10 – шланг;
11 – дополнительное самопередвигающееся средство; 12 – натяжной барабан;
13 – резиновый жгут

Для усовершенствования механизма регулирования подачи раствора гербицида на валец, техническое средство оснастили фильтром и ресивером, а на ручке управления мотоблоком установили распределительную коробку, манометр и воздушнагнетательную грушу с перепускным клапаном одностороннего действия [160–162].

Для скашивания и измельчения обработанных раствором гербицида и отмерших над ярусом клюквы сорняков используется агрегируемая трактором косилка, которая может иметь различные рабочие органы [163–167]. При довольно больших оборотах ротора косилки (3000 об/мин) имеет место отклонение оси его вращения

В рассматриваемом варианте угол резания α представляет собой угол наклона агрегата в продольной плоскости; угол β – угол наклона агрегата в поперечном направлении, и угол φ – угол собственного вращения ротора около оси x .



212

Для решения поставленной задачи в данном случае используется метод Лагранжа, т. е. дифференциальные уравнения Лагранжа второго рода:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_i, \quad (4.17)$$

где T – кинетическая энергия системы;

q_i – обобщенные координаты;

Q_i – проекции обобщенных сил.

Принимаем, что в качестве подвижных осей координат взяты оси, связанные с ротором, являющиеся главными осями инерции ротора и своим началом имеющие центр инерции последнего. Выражение для определения кинетической энергии в этом случае имеет вид:

$$T = \frac{1}{2} (A_p^2 + B_q^2 + C_r^2), \quad (4.18)$$

где A, B, C – главные моменты инерции ротора;

p, q, r – проекции угловых скоростей на подвижные оси x, y, z , связанные с ротором и являющиеся главными осями инерции ротора.

Учитывая, что в данном случае $A=B$, выражение для определения кинетической энергии (4.18) можно записать в следующем виде:

$$T = \frac{1}{2} [A(\dot{\alpha}^2 \cos^2 \beta + \dot{\beta}^2) + C(\dot{\phi} + \dot{\alpha} \sin \beta)^2]. \quad (4.19)$$

Ввиду того, что

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}} = A_0 \dot{\alpha} + C \dot{\phi} \sin \beta; \quad \frac{\partial T}{\partial \alpha} = 0,$$

где $A_0 = A \cos^2 \beta + C \sin^2 \beta$, то дифференциальное уравнение Лагранжа по координате α имеет вид:

$$(A_0 \dot{\alpha})' + C \ddot{\phi} \sin \beta + C \dot{\phi} \cos \beta \cdot \dot{\beta} = M_\alpha, \quad (4.20)$$

где M_α – момент, пара сил которого действует в продольной плоскости перемещения МТА.

Так как

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\beta}} = A \dot{\beta}, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\beta}} \right) = A \ddot{\beta},$$

$$\frac{\partial T}{\partial \beta} = -A \dot{\alpha}^2 \cos \beta \sin \beta + C(\dot{\phi} + \dot{\alpha} \sin \beta) \cdot \dot{\alpha} \cos \beta,$$

то дифференциальное уравнение Лагранжа по координате β запишем:

$$A \ddot{\beta} + A \dot{\alpha}^2 \cos \beta \sin \beta - C(\dot{\phi} + \dot{\alpha} \sin \beta) \cdot \dot{\alpha} \cos \beta = M_\beta, \quad (4.21)$$

где M_β – момент, пара сил которого действует в поперечной плоскости.

Если угол $\alpha = 0$, то выражение (4.21) принимает вид:

$$A \ddot{\beta} - C \dot{\alpha} \dot{\phi} \cos \beta = M_\beta. \quad (4.22)$$

Учитывая, что

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}} = C(\dot{\phi} + \dot{\alpha} \sin \beta),$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}} \cong C \ddot{\phi},$$

$$\frac{\partial T}{\partial \phi} = 0,$$

то дифференциальное уравнение Лагранжа по координате ϕ имеет вид:

$$C \ddot{\phi} = M_\phi, \quad (4.23)$$

где M_ϕ – полярный момент.

Если угловые скорости $\beta = \beta_0, \dot{\alpha} = \omega$, где β_0, ω – постоянные, то из уравнений (4.20) и (4.22) получим:

$$\begin{aligned} M_\alpha &= 0, \\ M_\beta &= -C\omega_1\omega\cos\beta, \end{aligned} \quad (4.24)$$

где $\omega = \dot{\phi}$, то есть в этом случае к оси ротора приложен только один гироскопический момент, действующий в поперечной плоскости перемещения МТА. Причем если угол $\beta = 0$, то есть машинно-тракторный агрегат не имеет наклона в поперечном направлении, то этот момент равен

$$M_\beta = -C\omega_1\omega. \quad (4.25)$$

Для того, чтобы уравновесить этот момент со стороны опор, должна возникнуть пара сил (рисунок 4.10), момент которой равен моменту (выражение 4.25), но направлен обратно:

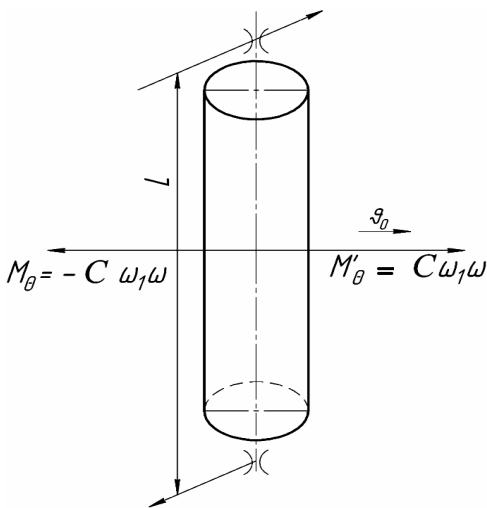


Рис. 4.10. Расчетная схема для определения реакций на опорах

$$M'_{\beta} = C\omega_1\omega. \quad (4.26)$$

Реакции P на опорах при этом равны:

$$P = \frac{M'_{\beta}}{L} = \frac{C\omega_1\omega}{L}, \quad (4.27)$$

где L – длина вала ротора.

Один из способов устранения появления опасной производственной ситуации при эксплуатации высокооборотистой косилки-измельчителя сорной растительности на клюквенных чеках, повышения ее технологических возможностей – это установление над верхними ее ножами режущих нитей для доизмельчения сорняков. Измельченные мелкие частицы выносятся воздушным потоком за пределы агрегата и просыпаются через клюквенный покров чека на почву (рисунок 4.11) [170]. Особо следует отметить, что при скорости вращения ножей косилки-измельчителя 3000 об/мин любая неточность регулировки ее рабочего органа является потенциальным источником для появления опасного производственного фактора.

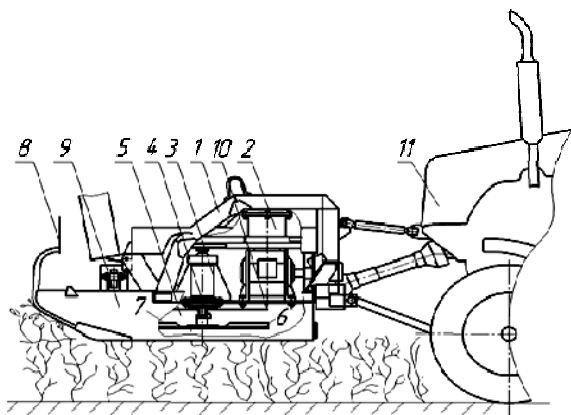


Рис. 4.11. Косилка-измельчитель сорной растительности на промышленных клюквенных чеках:

- 1 – рама; 2 – привод; 3 – вал; 4 – нож меньшего диаметра;
 5 – нож большего диаметра; 6 – режущая кромка ножа; 7 – крыло ножа;
 8 – лист защитный; 9 – полог; 10 – нить режущая; 11 – энергосредство

Безопасность уборки урожая крупноплодной клюквы на воде, то есть в условиях изменения состояния производственной среды (клюквенный чек затапливается водой на глубину около 40 см) [171], во многом зависит от конструкции технического средства. Используются на клюквенных плантациях технические средства различной конструкции [50], но наибольшее распространение получило устройство с консольно-закрепленными на барабане прутками [11].

Для снижения воздействия опасных и вредных факторов при выполнении механизированных работ на клюквенном чеке (см. таблица 4.4) требуется своевременное и качественное проведение технологических регулировок (таблица 4.7), безопасность выполнения которых зависит от приспособленности технического средства к доступному, удобному и безаварийному их проведению.

Таблица 4.7

Технологические регулировки рабочих органов технических средств для выполнения технологических процессов на клюквенных чеках

Наименование технологической регулировки	Вид технологической регулировки	Технологический процесс	Техническое средство
1	2	3	4
1. Глубина установки в клюквеннике поднимающе-расчесывающего рабочего органа	Оперативная	Поднятие, расчесывание и обрезка стелющихся побегов клюквенника	Техническое средство для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника
2. Глубина установки в клюквеннике поднимающе-расчесывающего рабочего органа	Установочная	Поднятие, расчесывание и обрезка стелющихся побегов клюквенника	Техническое средство для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника

Продолжение таблицы 4.7

Наименование технологической регулировки	Вид технологической регулировки	Технологический процесс	Техническое средство
3. Частота вращения режущего барабана	Оперативная	Поднятие, расчесывание и обрезка стелющихся побегов клюквенника	Техническое средство для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника
4. Угол наклона дополнительной секции технического средства для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника	Оперативная	Поднятие, расчесывание и обрезка стелющихся побегов клюквенника на откосах чека	Техническое средство для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника
5. Угол наклона дополнительной секции технического средства для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника	Установочная	Поднятие, расчесывание и обрезка стелющихся побегов клюквенника на откосах чека	Техническое средство для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника
6. Высота опрыскивания посадок клюквенника	Оперативная	Опрыскивание посадок клюквенника для защиты растений от болезней и вредителей	Опрыскиватель

Продолжение таблицы 4.7

Наименование технологической регулировки	Вид технологической регулировки	Технологический процесс	Техническое средство
7. Высота опрыскивания посадок клюквенника	Установочная	Опрыскивание посадок клюквенника для защиты растений от болезней и вредителей	Опрыскиватель
8. Полууглы факела распыла распылителей опрыскивателя	Установочная	Опрыскивание посадок клюквенника для защиты растений от болезней и вредителей	Опрыскиватель
9. Скорость движения технического средства для контактного нанесения раствора гербицида на орную растительность	Оперативная	Контактное смачивание сорняков раствором гербицида	Техническое средство для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность
10. Скорость движения технического средства для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность	Установочная	Контактное смачивание сорняков раствором гербицида	Техническое средство для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность

Наименование технологической регулировки	Вид технологической регулировки	Технологический процесс	Техническое средство
11. Частота вращения вальца технического средства для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность	Оперативная	Контактное смачивание сорняков раствором гербицида	Техническое средство для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность
12. Частота вращения вальца технического средства для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность	Установочная	Контактное смачивание сорняков раствором гербицида	Техническое средство для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность
13. Высота установки вальца для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность	Оперативная	Контактное смачивание сорняков раствором гербицида	Техническое средство для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность
14. Высота установки вальца для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность	Установочная	Контактное смачивание сорняков раствором гербицида	Техническое средство для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность

Наименование технологической регулировки	Вид технологической регулировки	Технологический процесс	Техническое средство
15. Равномерность подачи рабочего раствора гербицида на валец	Установочная	Контактное смачивание сорняков раствором гербицида	Средство для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность
16. Положение поддона относительно вальца технического средства для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность	Оперативная	Контактное смачивание сорняков раствором гербицида	Техническое средство для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность
17. Положение поддона относительно вальца технического средства для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность	Установочная	Контактное смачивание сорняков раствором гербицида	Техническое средство для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность

Наименование технологической регулировки	Вид технологической регулировки	Технологический процесс	Техническое средство
18. Высота среза сорняков	Оперативная	Срезание с измельчением сорной растительности	Косилка-измельчитель сорной растительности
19. Высота среза сорняков	Установочная	Срезание с измельчением сорной растительности	Косилка-измельчитель сорной растительности
20. Скорость движения МТА (трактор+косилка-измельчитель) по чеку	Оперативная	Срезание с измельчением сорной растительности	Косилка-измельчитель сорной растительности
21. Скорость движения МТА (трактор+косилка-измельчитель) по чеку	Установочная	Срезание с измельчением сорной растительности	Косилка-измельчитель сорной растительности
22. Частота вращения барабана технического средства для уборки ягод «на воде»	Оперативная	Уборка ягод «на воде»	Техническое средство для уборки клюквы «на воде»
23. Частота вращения барабана технического средства для уборки ягод «на воде»	Установочная	Уборка ягод «на воде»	Техническое средство для уборки клюквы «на воде»

Наименование технологической регулировки	Вид технологической регулировки	Технологический процесс	Техническое средство
24. Глубина погружения в воду барабана технического средства для уборки ягод «на воде»	Оперативная	Уборка ягод «на воде»	Техническое средство для уборки клюквы «на воде»
25. Глубина погружения в воду барабана технического средства для уборки ягод «на воде»	Установочная	Уборка ягод «на воде»	Техническое средство для уборки клюквы «на воде»
26. Направление вращения барабана технического средства для уборки ягод «на воде»	Оперативная	Уборка ягод «на воде»	Техническое средство для уборки клюквы «на воде»
27. Направление вращения барабана технического средства для уборки ягод «на воде»	Установочная	Уборка ягод «на воде»	Техническое средство для уборки клюквы «на воде»

Наименование технологической регулировки	Вид технологической регулировки	Технологический процесс	Техническое средство
28. Угол наклона дополнительной секции барабана технического средства для уборки ягод «на воде» на откосах чека	Оперативная	Уборка ягод «на воде»	Техническое средство для уборки клюквы «на воде»
29. Угол наклона дополнительной секции барабана технического средства для уборки ягод «на воде» на откосах чека	Установочная	Уборка ягод «на воде»	Техническое средство для уборки клюквы «на воде»

Для конкретного случая производственный риск характеризуется особенностями применяемой технологии и условиями труда, рассматривается применительно к отдельному рабочему месту и определяется с учетом вероятности наступления нежелательного события, связанного с производственной деятельностью на этом рабочем месте. Все вышеприведенное позволяет использовать разработанную методику оценки и управления уровнем производственного риска с учетом функционального состояния технического средства при выполнении любого технологического процесса в растениеводческой отрасли АПК. Для апробирования этой методики были выбраны различные по своему функциональному назначению технические средства (для скашивания и измельчения растительности, внесения гербицидов, опрыскивания растений, уборки урожая), используемые для выполнения технологических процессов в растениеводческой отрасли АПК, в том числе, и в промышленной технологии выращивания клюквы. Следует особо отметить, что при использовании рассматриваемых технических средств объективно

присутствуют опасные и вредные производственные факторы и эксплуатируются они в условиях изменения параметра состояния производственной среды (густоты растительности, степени засоренности, урожайности, угла откосов чеков и др.) (см. таблица 4.4).

Согласно полученным результатам наименее удобными являются регулировки глубины установки в клюквеннике поднимающе-расчесывающего рабочего органа, высоты установки вальца для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность, подачи рабочего раствора на валец, полууглов факела распыла распылителей опрыскивателя, угла наклона дополнительной секции технического средства для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника. Среди труднодоступных можно назвать регулировку угла наклона дополнительной секции технического средства для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов, положения поддона относительно вальца технического средства для контактного нанесения раствора гербицида на сорняки, угла наклона дополнительной секции технического средства для уборки ягод «на воде». Наиболее травмоопасными являются регулировки глубины установки в клюквеннике поднимающе-расчесывающего устройства, угла наклона дополнительной секции технического средства для обрезки стелющихся побегов на откосах чека, подачи рабочего раствора гербицида на валец технического средства для контактного смачивания сорной растительности и др. Значения показателя приспособленности технических средств к технологическим регулировкам (формула 2.87) приведены в таблице 4.8. Установлено, что часть механизмов конструкции технического средства для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника недостаточно приспособлены к выполнению регулировочных операций ($K_{\text{Пик}}$ для отдельных регулировок находится в пределах 0,33...0,43; таблица 4.8). Полученные результаты также указывают и на необходимость усовершенствования ветрозащитного устройства для распылителей опрыскивателя ($K_{\text{Пик}}=0,43$). С учетом полученных значений обобщенного показателя приспособленности технических средств к технологическим регулировкам (см. таблица 4.8) сделан расчет (формулы 2.87–2.88) и определены уровни производственного риска выполнения технологических процессов при промышленном

выращивании клюквы на чеках (таблица 4.9). Установлено, что «предельный» уровень производственного риска прогнозируется при выполнении технологического процесса поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника [54].

Таблица 4.8

Показатели приспособленности технологической регулировки технических средств для механизированных работ на клюквенных чеках [172]

Техническое средство	Наименование регулировки	Показатель приспособленности технологической регулировки технического средства ($K_{\text{ТД}}$)	Показатель приспособленности технического средства к технологическим регулировкам на чеке ($K_{\text{ТЧ.с}}$)
1	2	3	4
1. Для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника	Глубина установки в клюквеннике поднимающе-расчесывающего рабочего органа (оперативная)	0,36	0,37
	Глубина установки в клюквеннике поднимающе-расчесывающего рабочего органа (установочная)	0,36	
	Частота вращения режущего барабана	0,43	
	Угол наклона дополнительной секции технического средства (оперативная)	0,33	
	Угол наклона дополнительной секции технического средства (установочная)	0,43	

1	2	3	4
2. Опрыскивание посадок клюквенника на чеках	Высота опрыскивания посадок клюквенника (оперативная)	0,74	0,50
	Высота опрыскивания посадок клюквенника (установочная)	0,86	
	Полууглы факела распыла распылителя опрыскивателя	0,43	
3. Для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность	Скорость движения технического средства для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность (оперативная)	0,53	0,59
	Скорость движения технического средства для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность (установочная)	0,97	
	Частота вращения вальца технического средства для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность (оперативная)	0,43	
	Частота вращения вальца технического средства для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность (установочная)	0,74	
	Высота установки вальца для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность (оперативная)	0,53	
	Высота установки вальца для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность (установочная)	0,63	
	Подача рабочего раствора гербицида на валец	0,53	
	Положение поддона относительно вальца (оперативная)	0,43	
	Положение поддона относительно вальца (установочная)	0,74	

1	2	3	4
4. Для среза сорняков над ярусом клюквенником	Высота среза сорняков (оперативная)	0,43	0,63
	Высота среза сорняков (установочная)	0,97	
	Скорость движения по чеку МТА (трактор + косилка-измельчитель) (оперативная)	0,97	
	Скорость движения по чеку МТА (трактор + косилка-измельчитель) (установочная)	0,97	
5. Для уборки ягод «на воде»	Частота вращения барабана технического средства для уборки ягод «на воде» (оперативная)	0,97	0,64
	Частота вращения барабана технического средства для уборки ягод «на воде» (установочная)	0,97	
	Глубина погружения в воду барабана для уборки ягод «на воде» (оперативная)	0,33	
	Глубина погружения в воду барабана для уборки ягод «на воде» (установочная)	0,86	
	Направление вращения барабана на уборки ягод «на воде» (оперативная)	0,74	
	Направление вращения барабана на уборки ягод «на воде» (установочная)	0,97	
	Угол наклона дополнительной секции барабана для уборки ягод «на воде» (оперативная)	0,33	
	Угол наклона дополнительной секции барабана для уборки ягод «на воде» (установочная)	0,53	

Таблица 4.9

Показатели безопасности управления технологическими процессами на клюквенном чеке

Техническое средство	Наименование регулировки	Показатель безопасности управления технологическим процессом на клюквенном чеке ($K_{\text{Бпр}}$)	Риск травмирования оператора технического средства, ($P_{\text{РТС}}$), % [99]	Сезонная нагрузка технического средства, ч	Наименование уровня производственного риска
1	2	3	4	5	6
1. Для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника	Глубина установки в клюквеннике поднимающе-расчесывающего рабочего органа (оперативная)	0,49	14,5	10	предельный
	Глубина установки в клюквеннике поднимающе-расчесывающего рабочего органа (установочная)				
	Частота вращения режущего барабана				
	Угол наклона дополнительной секции технического средства (оперативная)				
	Угол наклона дополнительной секции технического средства (установочная)				

1	2	3	4	5	6
2. Опрыскивание посадок клюквенника на чеках	Высота опрыскивания посадок клюквенника (оперативная)	0,58	12,3	320	минимальный (граничный)
	Высота опрыскивания посадок клюквенника (установочная)				
	Полууглы факела распыла распылителя опрыскивателя				
3. Для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность	Скорость движения технического средства для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность (оперативная)	0,72	7,4	50	минимальный
	Скорость движения технического средства для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность (установочная)				
	Частота вращения вальца технического средства для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность (оперативная)				
	Частота вращения вальца технического средства для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность (установочная)				
	Высота установки вальца для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность (оперативная)				

Окончание таблицы 4.9

1	2	3	4	5	6
	Высота установки вальца для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность (установочная)				
	Подача рабочего раствора гербицида на валец				
	Положение поддона относительно вальца (оперативная)				
	Положение поддона относительно вальца (установочная)				
4. Для среза сорняков над ярусом клюквенника	Высота среза сорняков (оперативная)	0,86	3,8	300	минимальный
	Высота среза сорняков (установочная)				
	Скорость движения по чеку МТА (трактор + косилка-измельчитель) (оперативная)				
	Скорость движения по чеку МТА (трактор + косилка-измельчитель) (установочная)				
5. Для уборки ягод «на воде»	Частота вращения барабана технического средства для уборки ягод «на воде» (оперативная)	0,88	3,5	140	минимальный
	Частота вращения барабана технического средства для уборки ягод «на воде» (установочная)				
	Глубина погружения в воду барабана для уборки ягод «на воде» (оперативная)				

Результаты выполненных исследований по прогнозированию параметров состояния производственной среды и опасных ситуаций в агропроизводстве, снижению уровня производственного риска при возделывании сельскохозяйственных культур внедрены в образовательный процесс.

4.2 Исследование травмоопасности при устранении отказов технического средства (на примере кормоуборочного комбайна)

Оценка травмоопасности кормоуборочного комбайна оценивалась через показатель приведенной плотности потока его отказов и восстановлений (ρ_T). Общее число кормоуборочных комбайнов, находившихся под наблюдением, было репрезентативным (представительным), т. е. достоверно представляло парк, эксплуатирующийся в республике (генеральную совокупность). Наблюдения проводились по плану $[NMr]$ [113], где N – количество комбайнов, взятых под наблюдение, условие M означает, что отказавшие комбайны ремонтируются, наблюдения продолжаются до возникновения r отказов [113]. Экспериментальные исследования не прекращались, а проводились до конца сезона, даже в том случае, если необходимые для наблюдения 200 отказов накапливались до окончания уборки в 2015–2017 гг. Под наблюдением находились 54 кормоуборочных комбайна, в том числе 33 комбайна КВК-800 «Палессе». Отказы двигателя, быстрый износ граблин, беговой дорожки и днища жатки для уборки трав, износ шлицевых соединений на карданах привода ножей режущего аппарата, двухрядных цепей, подшипников нижних валцов питающего аппарата, транспортеров жатки для высокостебельных культур – вот те отказы, которые наиболее часто поступают от кормоуборочных комбайнов в рядовых условиях их эксплуатации в агропредприятиях. Основными видами работ при устранении отказов были замены противорежущего бруса (КВС-1-0117030), реверса-редуктора с заменой вилки включения ползунов, разрыв цепи шнека подборщика, выход из строя ускорителя выброса массы КВС-1-0140000, замена комплекта ножей КВС-2-0116000 и др. При наличии запасных частей у комбайнера отказ устранялся им самим. При отсутствии запчастей некоторые комбайны простаивали довольно длительное время. Можно отметить определенную закономерность распределения отказов по группам сложности: первая – составляет немногим более половины от всех зафиксированных (51,4 %).

Установлено, что в агропредприятиях Пуховичского района от находившихся под наблюдением в 2015 г. шести комбайнов КВК-800 «Палессе», поступало в сутки от 0 до 8 отказов всех групп сложности (таблица 4.10, гр. 1). Также случайный характер носили потоки отказов, поступившие за сутки и от других наблюдаемых комбайнов.

В соответствии с разделом 3.3 для соответствующих потоков по экспериментальным данным (таблица 4.10) были построены статистические распределения, показывающие частоту поступления k требований в сутки. Затем устанавливалось теоретическое число суток с k требованиями. По полученным значениям строилась сглаженная теоретическая кривая. Далее, по критерию Пирсона, проверялась согласованность экспериментального с теоретическим распределением и определялось значение $\chi^2_{\text{выч}}$. Эта вероятность должна быть больше нижнего доверительного уровня, принимаемого равным $0,05 [P(\chi^2 \geq \chi^2_{\text{выч}}) \geq 0,05]$. Для исследуемых потоков в таблице 4.10 приведены значения вероятностей P , которые изменяются в пределах $0,6 \dots 0,85$, что выше нижнего доверительного уровня. Следовательно, выдвинутая гипотеза о возможности описания потоков отказов кормоуборочных комбайнов с помощью закона Пуассона не противоречит экспериментальным данным.

Для определения точности статистической оценки параметра потока отказов устанавливался доверительный интервал, который с вероятностью β накроет истинное значение параметра Λ_n . Вышеизложенное записывается следующим образом:

$$P(\Lambda_n \leq \Lambda_n < \Lambda_v) = \beta, \quad (4.28)$$

где Λ_n , Λ_v – нижняя и верхняя доверительные границы параметра потока;

$\beta = 0,90$ – доверительная вероятность.

Доверительные границы Λ_n , Λ_v при распределении потока по закону Пуассона определялись по зависимости:

$$\Lambda_n = \frac{\Lambda}{r_1}; \quad \Lambda_v = \frac{\Lambda}{r_2}, \quad (4.29)$$

где r_1 и r_2 – коэффициенты точности оценки, в зависимости от количества зафиксированных отказов и уровня доверительной вероятности [22].

Таблица 4.10

Потоки требований на обслуживание кормоуборочных комбайнов КВК-800 «Палессе» (хозяйства Пуховичского района; $m = 5$; 2015 г.; отказы 1-й, 2-й и 3-й групп) [189]

Количество поступивших требований в сутки k , шт.	Число суток с требованиями T_k , шт.	Число требований, поступивших за сезон к T_k , шт.	Частота поступления требований в сутки ϕ_k	Теоретическая вероятность поступления к требованиям в сутки P_k	Теоретическое число суток с требованиями TP_k , шт.	Теоретическое число требований, поступивших за сезон к TP_k , шт.	$ T_k - TP_k $	$(T_k - TP_k)^2$	$\frac{(T_k - TP_k)^2}{TP_k}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0,0202	1,273	0			
1	5	5	0,079	0,0789	4,971	4,971	1,244	1,547	0,248
2	7	14	0,111	0,1539	9,696	19,392	2,696	7,268	0,750
3	10	30	0,159	0,2001	12,606	37,818	2,606	6,791	0,538
4	22	88	0,349	0,1951	17,974	61,896	4,026	16,209	0,902
5	9	45	0,143	0,1522	9,589	47,945	0,589	0,347	0,036
6	7	42	0,111	0,0989	6,231	37,386	0,769	0,591	0,095
7	2	14	0,032	0,0551	3,471	24,297	1,471	2,164	0,623
8	1	8	0,016	0,0269	1,695	13,560			
9	0	0	0	0,0116	0,731	0,658			
10	0	0	0	0,0045	0,283	2,830			
11	0	0	0	0,0016	0,101	1,111			
12	0	0	0	0,0005	0,031	0,372	1,854	3,437	1,204
13	0	0	0	0,0002	0,013	0,169			
Итого:	T=63	W=246	1,000	0,9997	68,665	252,405			4,396

$$P(\chi^2 \geq \chi^2_{\text{внч}}) = 0,60 > 0,05; \text{ не противоречит.}$$

Значения коэффициентов r_1 и r_2 для оценки параметра потока отказов, например, от кормоуборочных комбайнов КВК-800 «Палессе» агропредприятий Пуховичского района при доверительной вероятности $\beta=0,90$ и 246 отказах соответственно равны 1,10 и 0,91. Тогда доверительный интервал для статистической оценки параметра $\Lambda = 3,90$ 1/сут составил $3,55 \leq \Lambda \leq 4,29$ 1/сут.

Так как в расчетах вместо параметра потока мы использовали его статистическую оценку, необходимо установить ошибку, получаемую из-за этого допущения. Коэффициент точности оценки r_2 с относительной ошибкой вычислений δ имеет следующую связь:

$$r_2 = \frac{1}{1 + \delta} \quad \text{или} \quad \delta = \frac{1 - r_2}{r_2} = 0,099.$$

Тогда для абсолютной ошибки ε можно записать:

$$\varepsilon \leq \delta \Lambda = 0,39 / \text{сут},$$

что приемлемо при расчетах.

Следует также отметить, что вероятности появления k -требований, полученные из теоретического распределения, лежат так же как и статистическая оценка параметра потока в некотором доверительном интервале. Этот интервал, который с доверительной вероятностью β накрывает значения TP_k , определяется из зависимости:

$$P(\alpha_n \leq TP_k \leq \alpha_v) = \beta,$$

где α_n и α_v – нижняя и верхняя доверительные границы интервала колебаний TP_k , получаемые с помощью коэффициентов r_1 и r_2 (аналогично определению доверительных границ для параметра потока, приведенному выше).

Относительная ошибка (δ), которая получается при сглаживании потока требований по закону Пуассона, для анализируемого парка кормоуборочных комбайнов составила 0,1 %:

$$\delta = \frac{W - W_{\text{т}}}{W_{\text{т}}} 100\%,$$

где W – число отказов фактически зарегистрированное в агропредприятии ($W = 246$ шт.);

$W_{\text{т}}$ – теоретическое число требований, полученное для потока отказов комбайнов агропредприятия:

$$W_{\text{т}} = \sum_{k=0}^{k_{\text{max}}} kTP_k = 252,405 \text{ шт.}$$

Полученная величина относительной ошибки вполне допустима при оценке потоков отказов кормоуборочных комбайнов.

Для определения параметра потока отказов одного комбайна за один час работы (λ) и как следствие потенциальной травмоопасности технического средства при восстановлении его работоспособности, все непроизводительные элементы времени работы принимались за функциональные отказы комбайна (простои при устранении эксплуатационных и технологических отказов, отказы (простои), когда оператор МСХТ не управляет комбайном по организационным причинам и физиологическим потребностям, при контроле качества уборки, простои комбайна после выпадения осадков, когда техническое средство не может выполнять технологический процесс из-за состояния убираемой растительной массы и др.).

Значения величин, входящих в выражение (3.27) для расчета показателя λ , определялись экспериментально и составляли $\varphi = 0,60 \dots 0,80$; $\Lambda = 3,5$; $K_{\text{см}} = 1,3$; $t_{\text{см}} = 1,3$; $t_{\text{см}} = 7$ ч. Исследования показали, что λ изменялся в пределах $0,096 \dots 0,128$.

Экспериментальный материал позволил также выявить как характер распределения времени, так и продолжительность нахождения оператора МСХТ в травмоопасной зоне при восстановлении работоспособности кормоуборочных комбайнов (таблицы 4.11–4.13). Построение статистических вариационных рядов (таблица 4.12) и гистограммы (рисунок 4.12, линия 1) проводилось на основании полученной статистической информации.

Таблица 4.11

Статистические вариационные ряды времени восстановления работоспособности кормоуборочных комбайнов КВК-800 «Палессе» (хозяйства Пуховичского района; 2015 г.; отказы 1, 2 и 3 групп)

Номер интервала	Границы интервала	Середина интервала в долях $t'_{\text{ср}}$	Середина интервала t_i , ч	Частота интервала W_i	Накопленная частота ΣW_i , ч	t_i W_i	$\overline{F}(t)$	$F(t)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0...0,5	0,163	0,25	81	81	20,25	0,329	0,150
2	0,5...1,0	0,490	0,75	44	125	33,00	0,508	0,387
3	1,0...1,5	0,817	1,25	26	151	32,50	0,614	0,558
4	1,5...2,0	1,144	1,75	22	173	38,50	0,703	0,681
5	2,0...2,5	1,471	2,25	17	190	38,25	0,772	0,770
6	2,5...3,0	1,797	2,75	14	204	38,50	0,829	0,834
7	3,0...3,5	2,124	3,25	12	216	39,00	0,878	0,880
8	3,5...4,0	2,451	3,75	10	226	37,50	0,919	0,913
9	4,0...4,5	2,778	4,25	8	234	34,00	0,951	0,938
10	4,5...5,0	3,105	4,75	7	241	33,25	0,980	0,955
11	5,0...6,5	3,758	5,75	3 } 2 } 5	244	17,25	0,992	0,977
12	6,5...8,0	4,739	7,25		246	14,50	1,000	0,991
Итого:	-	-	-	$W=246$	-	376,50	-	-
$t_{\text{ср}} = 1,53$ ч								

Продолжение таблицы 4.11

$F_n(t)$	$F_o(t)$	Теоретическая вероятность i-го интервала P_i	Теоретическая частота i-го интервала WP_i	$ W_i - WP_i $	$(W_i - WP_i)^2$	$\frac{(W_i - WP_i)^2}{WP_i}$
10	11	12	13	14	15	16
0,139	0,162	0,278	68,388	12,612	159,062	2,326
0,362	0,402	0,200	49,200	5,200	27,040	0,550
0,527	0,588	0,144	35,424	9,424	88,812	2,507

$F_n(t)$	$F_e(t)$	Теоретическая вероятность i-го интервала P_i	Теоретическая частота i-го интервала WP_i	$ W_i - WP_i $	$(W_i - WP_i)^2$	$\frac{(W_i - WP_i)^2}{WP_i}$
0,649	0,711	0,104	25,584	3,584	12,845	0,502
0,740	0,797	0,075	18,450	1,450	2,102	0,114
0,807	0,858	0,054	13,284	0,716	0,513	0,039
0,857	0,900	0,039	9,594	2,406	5,789	0,603
0,894	0,930	0,028	6,888	3,112	9,684	1,406
0,921	0,951	0,020	4,920	3,080	9,486	1,928
0,942	0,966	0,015	3,690	3,310	10,956	2,969
0,968	0,983	0,023	5,658 1,968	2,626	6,896	0,904
0,987	0,994	0,008				
-	-	0,988	243,54	-	-	13,848

$P(\chi^2 \geq \chi^2_{\text{выч}}) = 0,15 > 0,05$; не противоречит

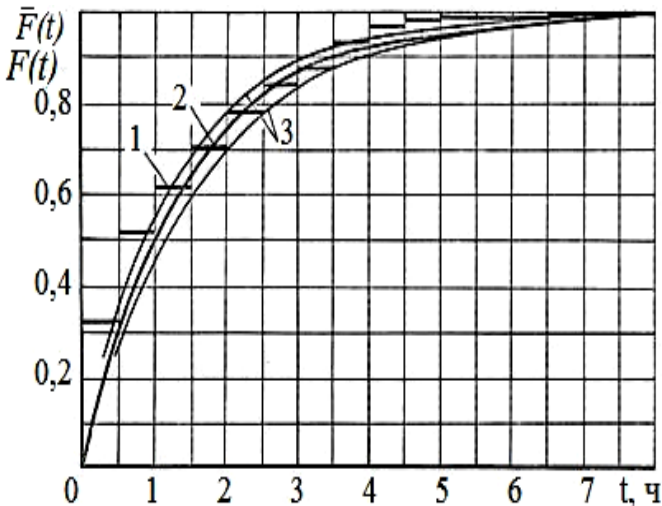


Рис. 4.12. Гистограмма (1), функция распределения (2) и доверительные границы (3) времени восстановления работоспособности кормоуборочных комбайнов агропредприятий Пуховичского района Минской области (2015 г.)

Значения продолжительности времени, восстановления кормоуборочных комбайнов, полученные при экспериментальных исследованиях, находились в пределах 0,1...8,0 ч. По выражениям (3.29) и (3.30) определялось количество интервалов ($k_{\max}$) и их продолжительность (Δt).

Основываясь на материале теоретического анализа и виде построенных гистограмм (рисунок 4.12, линия 1), была выдвинута гипотеза о приемлемости для описания времени восстановления работоспособности кормоуборочных комбайнов и, как следствие, времени нахождения оператора МСХТ в травмоопасной зоне экспоненциального закона. Указанный закон является однопараметрическим:

$$F(t)=1-e^{-\mu t}, \quad (4.30)$$

По экспоненциальному закону с параметром $1/t_{\text{ср}}$ проведено выравнивание экспериментальной кривой (рисунок 4.12, линия 2). Согласованность статистического распределения с теоретическим проверялась по критерию Пирсона и показала, что выдвинутая гипотеза о восстановлении работоспособности кормоуборочных комбайнов по экспоненциальному закону не противоречит полученному экспериментальному материалу. Подтверждением этому служат построенные 90 % доверительные границы (рисунок 4.12, линия 3) для функции распределения.

Таблица 4.12

Статистические вариационные ряды времени восстановления работоспособности кормоуборочных комбайнов КВК-800 «Палессе» (хозяйства Мядельского района; 2015 г.; отказы 1, 2 и 3 групп)

Номер интервала	Границы интервала, ч	Середина интервала в долях $t'_{\text{ср}}$	Середина интервала t_i , ч	Частота интервала W_i	Накопленная частота ΣW , ч	t_i W_i	$\bar{F}(t)$	$F(t)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0...0,5	0,165	0,25	40	40	10,00	0,326	0,207
2	0,5...1,0	0,497	0,75	36	76	27,00	0,587	0,504
3	1,0...1,5	0,828	1,25	34	110	42,50	0,791	0,689

Продолжение таблицы 4.12

Номер ин- тервала	Границы интервала, ч	Середина интервала в долях t'_{cp}	Среди- на интер- вала t_i , ч	Частота интер- вала W_i	Накоп- ленная частота ΣW_i , ч	t_i W_i	$\overline{F}(t)$	$F(t)$
4	1,5...2,0	1,159	1,75	29	139	50,75	0,872	0,805
5	2,0...2,5	1,490	2,25	27	166	60,75	0,934	0,878
6	2,5...3,0	1,821	2,75	20	186	55,00	0,969	0,924
7	3,0...4,5	2,483	3,75	4 4 2 } 10	190	15,00	0,985	0,970
8	4,5...6,0	3,477	5,25		194	21,00	0,995	0,993
9	6,0...7,5	4,470	6,75		196	13,50	1,000	0,998
Итого:	-	-	-	$W=196$	-	295,50	-	-
$t_{cp} = 1,51$ ч								

Окончание таблицы 4.12

$F_n(t)$	$F_{в}(t)$	Теоретическая вероят- ность i-го интер- вала P_i	Теоретическая частота i-го интервала WP_i	$ W_i - WP_i $	$(W_i - WP_i)^2$	$\frac{(W_i - WP_i)^2}{WP_i}$
10	11	12	13	14	15	16
0,189	0,227	0,213	41,748	1,748	3,055	0,073
0,467	0,538	0,202	39,592	3,592	12,902	0,326
0,650	0,725	0,145	28,420	5,580	31,136	1,096
0,770	0,835	0,104	20,384	8,616	74,235	3,642
0,849	0,902	0,095	18,620	8,380	70,224	3,770
0,901	0,941	0,090	17,640	2,360	5,570	0,315
0,957	0,979	0,083	16,268 6,076 2,156 } 24,500	14,500	21,025	0,858
0,988	0,996	0,031				
0,997	0,999	0,011				
-	-	0,986	196,256	-	-	10,080

$P(\chi^2 \geq \chi^2_{выч}) = 0,10 > 0,05$; не противоречит.

Таблица 4.13

Статистические вариационные ряды времени восстановления работоспособности кормоуборочных комбайнов КВК-800 «Палессе» (хозяйства Миорского района; 2015 г.; отказы 1, 2 и 3 групп)

Номер интервала	Границы интервала, ч	Середина интервала в долях t'_{cp}	Середина интервала t_i , ч	Частота интервала W_i	Накопленная частота ΣW_i , ч	t_i W_i	$\bar{F}(t)$	$F(t)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0...0,5	0,179	0,25	13	13	3,25	0,250	0,164
2	0,5...1,0	0,536	0,75	11	24	8,25	0,461	0,415
3	1,0...1,5	0,893	1,25	7	31	8,75	0,596	0,591
4	1,5...2,0	1,250	1,75	6	37	10,50	0,711	0,713
5	2,0...2,5	1,607	2,25	5	42	11,25	0,808	0,799
6	2,5...3,0	1,964	2,75	5	47	13,75	0,904	0,860
7	3,0...4,5	2,679	3,75	2 2 1 } 5	49	7,50	0,942	0,931
8	4,5...6,0	3,750	5,25		51	10,50	0,981	0,976
9	6,0...7,5	4,821	6,75		52	6,75	1,000	0,992
Итого:	-	-	-	$W=52$	-	80,50	-	-
$t_{cp} = 1,55$ ч								

Продолжение таблицы 4.13

$F_n(t)$	$F_b(t)$	Теоретическая вероятность i-го интервала P_i	Теоретическая частота i-го интервала WP_i	$ W_i - WP_i $	$(W_i - WP_i)^2$	$\frac{(W_i - WP_i)^2}{WP_i}$
10	11	12	13	14	15	16
0,139	0,188	0,299	15,548	2,548	6,492	0,417
0,362	0,465	0,209	10,868	0,132	0,017	0,002
0,527	0,647	0,146	7,592	0,592	0,350	0,046
0,649	0,767	0,102	5,304	0,696	0,484	0,091
0,740	0,847	0,072	3,744	1,256	1,577	0,421
0,807	0,899	0,050	2,600	2,400	5,760	2,215

$F_n(t)$	$F_v(t)$	Теоретическая вероятность i -го интервала P_i	Теоретическая частота i -го интервала WP_i	$ W_i - WP_i $	$(W_i - WP_i)^2$	$\frac{(W_i - WP_i)^2}{WP_i}$
0,894	0,956	0,074	3,848	5,616	0,616	0,379
0,957	0,987	0,025	1,300			
0,982	0,996	0,009	0,468			
-	-	0,986	51,272	-	-	3,259

$$P(\chi^2 \geq \chi^2_{\text{выч}}) = 0,65 > 0,05; \text{ не противоречит.}$$

По статистическим данным значение t_{cp} определялось из следующего выражения:

$$t_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^{k_{\text{max}}} t_i W_i}{\sum_{i=1}^{k_{\text{max}}} W_i}, \quad (4.31)$$

где t_i – середина i -го интервала вариационного статистического ряда;
 W_i – количество отказов, зафиксированных в i -ом интервале.

Рассчитанное по формуле (4.31) среднее время восстановления работоспособности кормоуборочных комбайнов составило, например, в агропредприятиях Пуховичского района 1,53 ч.

По экспоненциальному закону (зависимость 4.30) с параметром $1/t_{\text{cp}}$ проведено выравнивание экспериментальных кривых. Аналогично, как и при установлении согласованности потоков требований на обслуживание кормоуборочных комбайнов, согласованность статистического распределения с теоретическим проверялась по критерию Пирсона. Разница заключалась только в том, что теоретическая вероятность i -го интервала определялась по формуле

$$P_i = \frac{\Delta t}{t_{\text{cp}}} e^{-t_i/t_{\text{cp}}}. \quad (4.32)$$

Приведенные в таблицах 4.11–4.13, вероятности согласия P изменяются в пределах 0,10...0,65, что выше нижнего доверительного уровня, принятого равным 0,05.

Таким образом, проверка согласованности статистического распределения с теоретическим, по критерию Пирсона, показала, что выдвигнутая гипотеза о распределении времени нахождения оператора МСХТ в травмоопасной зоне при восстановлении работоспособности кормоуборочных комбайнов по экспоненциальному закону не противоречит полученному экспериментальному материалу. Подтверждением этому служат построенные 90 % доверительные границы для функции распределения (рисунок 4.3, линия 3). В процессе построения границ доверительный интервал для t_{cp} определялся следующими зависимостями:

$$t_{\text{cp}}^{\text{B}} = t_{\text{cp}} r_1; \quad t_{\text{cp}}^{\text{H}} = t_{\text{cp}} r_3,$$

где r_1 и r_3 – коэффициенты [22].

В результате экспериментальных исследований нами также установлены характеристики потоков отказов и восстановлений, приведенные к одному комбайну (таблица 4.14).

Таблица 4.14

Характеристика травмоопасности при восстановлении работоспособности кормоуборочных комбайнов

Марка комбайна	Среднее время нахождения оператора МСХТ в травмоопасной зоне при устранении отказов комбайна (t_{cp}), ч	Параметр потока восстановлений работоспособности комбайна (μ), 1/ч	Приведенная плотность потока отказов и восстановлений, ρ_{T}
КВК-800 «Палессе»	1,53	0,654	0,156
К-Г-6 «Палессе»	1,51	0,662	0,158
Клаас-Ягуар	1,45	0,690	0,104

Проанализировав значения показателей (таблица 4.14), можно отметить, что среднее значение времени нахождения оператора МСХТ в травмоопасной зоне при восстановлении работоспособности кормоуборочных комбайнов изменяется от 1,45 до 1,53 ч, параметр потока восстановлений работоспособности комбайнов находится в пределах 0,654...0,690, а уровень их травмоопасности низкий.

4.3 Влияние профессиональной подготовки оператора технического средства на безопасность выполнения управленческих воздействий при устранении его отказов

Уровень профессиональной подготовки операторов МСХТ определялся тестированием (см. раздел 2.4). Для этого был обоснован выбор экспертов [118], тестирование которых осуществлялось анонимно и на добровольной основе (таблица 4.15). Необходимое количество экспертов (m) рассчитывалось по формуле [25]:

$$m = \frac{\chi_{\beta}^2 \cdot (n-1)}{(\delta+1) \cdot (n-1) \cdot W_0}, \quad (4.33)$$

где χ_{β} – квантиль распределения, соответствующий доверительной вероятности β и числу степеней свободы $(n-1)$;

n – число оцениваемых факторов;

δ – заданная точность;

W_0 – критическое значение коэффициента конкордации ($W_0 = 0,1$).

При расчете количественной оценки безопасности технологического процесса определялась согласованность мнений групп экспертов. Для этого вычислялся коэффициент конкордации (согласия) [25]:

$$W = \frac{12 \sum_{i=1}^n (\Delta_i)^2}{m^2 \cdot (n^2 - n)}, \quad (4.34)$$

где Δ_i – разность между суммой индексов и их средней (при $W=0$ – отсутствует согласованность во мнениях экспертов, при $W=1$ – полная согласованность во мнениях экспертов).

Для проверки значимости коэффициента конкордации определялось $\chi^2_{\text{расч.}}$ [25]:

$$\chi^2_{\text{расч}} = \frac{12 \sum_{i=1}^m (\Delta_i)^2}{m \cdot n \cdot (n+1)}. \quad (4.35)$$

Сопоставление $\chi^2_{\text{расч}}$ с $\chi^2_{\text{табл}}$ позволяет судить о достоверности проведенных расчетов [121].

Таблица 4.15

Результаты тестирования предполагаемых экспертов операторов МСХТ
(Мядельский райагросервис)

Показатель профессиональной подготовки эксперта	Тест для изучения профессиональной подготовки экспертов	Результаты тестирования экспертов		
		1-й эксперт	2-й эксперт	3-й эксперт
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Технический интеллект	Тест «механической понятливости Беннета»	67	65	66

Полученные результаты тестирования были приведены к нормализованному виду (таблица 4.16) по формуле

$$X_j = \frac{B_j}{B_{\max j}}, \quad (4.36)$$

где X_j – нормализованная оценка по тесту j -го эксперта;

B_j – количество правильных ответов j -го испытуемого на вопросы по тесту;

$B_{\max j}$ – максимально возможное количество баллов по тесту ($B_{\max} = 70$).

Таблица 4.16

Результаты тестирования предполагаемых экспертов, приведенные к нормализованному виду

Номер кандидата в эксперты	Показатель профессиональной подготовки
<i>I</i>	<i>2</i>
I	0,957
II	0,928
III	0,943

Результаты расчета показали, что полученное значение коэффициента конкордации W , равное 0,96, свидетельствует о высокой согласованности мнений специалистов, проводивших тестирование. Полученные данные говорят о том, что наибольшее количество операторов (50,8 %) «среднего» уровня профессиональной подготовленности. Для проведения оценки профессиональной подготовки операторов МСХТ была взята выборка из 22 комбайнеров, работающих на кормоуборочных комбайнах КВК-800 «Палессе»; К-Г-6 «Палессе», «Клаас-Ягуар», находящихся на балансе ОАО «Гастелловское», ОАО «1-я Минская птицефабрика» Минского района; ОАО «Мядельский райагросервис», РСДУП «Экспериментальная база «Зазерье» РУП НПЦ НАН Беларуси, ОАО «Агро-оберег», ОАО «Голоцк», ОАО «Зазерка», ЧСУП «Дукора-агро» (все Пуховичского района); ОАО «Миорский райагросервис» Миорского района. Результаты обработанных статистических данных показали, что уровень профессиональной подготовки операторов МСХТ (22 человека) колеблется от 0,29 до 0,97 (рисунок 4.13). Значение математического ожидания случайной величины ($U_{п.п.}$), равное (0,75), соответствует «среднему» уровню профессиональной подготовки оператора. Распределение статистического ряда $U_{п.п.}$ подчинено закону Бета с параметрами $\alpha = 1,655$; $\beta = 1,855$; $\chi^2 = 16,270$ (рисунок 4.13). Проверка согласованности статистического распределения с теоретическим (по критерию Пирсона) показала, что выдвинутая гипотеза о распределении уровня профессиональной подготовки по закону Бета не противоречит полученному экспериментальному материалу,

что подтверждают построенные с 90 %-й вероятностью доверительные границы (рисунок 4.13, линия 3).

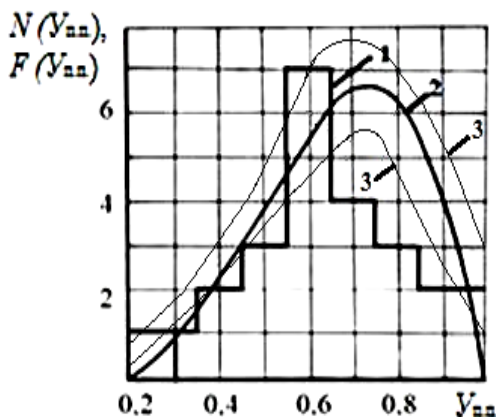


Рис. 4.13. Гистограмма (1), функция распределения (2) и доверительные границы уровня профессиональной подготовки оператора МСХТ (3)

Таким образом, выдвинутая гипотеза о том, что уровень профессиональной подготовки оказывает непосредственное влияние на работу системы, в частности, на ее безопасность и эффективность, подтверждается. При этом относительная погрешность результатов вычислений составила 0,3 %...8,8 %. Учитывая, что при определении уровня профессиональной подготовки оператора МСХТ имеются некоторые условности (в частности, экспертная оценка), можно считать полученный результат вполне приемлемым. Также результаты исследований позволили установить, что к концу рабочего дня способность оператора МСХТ выполнять управленческие воздействия на изменения в технологическом процессе уменьшается. Причина этому – снижение напряжения зрительной и умственной чувствительности сопровождается утомляемостью работника. Зависимость изменения показателя утомляемости оператора МСХТ в течение рабочего дня при выполнении работ на кормоуборочном комбайне КВК-800 в условиях физических нагрузок, эмоционального напряжения и монотонии, приведена на рисунке 4.14. Обработка статистических данных [121] показала, что среднее квадратическое отклонение наблюдаемого показателя находилось в пределах 2,9 %...4,1 %.

В таблице 4.17 приведены результаты замеров скорости реакции и устойчивости внимания оператора МСХТ до и после работы, а также частоты сердечных сокращений. Полученные данные позволили рассчитать значение показателя «утомляемость оператора МСХТ» (формула 4.34). Установлено, что к середине рабочей смены, при кратности устранения отказов ($K_{y.o.}$) 0,156, утомляемость операторов в среднем увеличивается на 27 %. Объяснением этому служит рост нервно-эмоционального напряжения, в результате чего снижается работоспособность и повышается риск травмирования.

Таблица 4.17

Факторы, характеризующие утомляемость операторов МСХТ

Номер оператора МСХТ	Скорость (<i>r</i>) реак- ции, <i>c</i>		Устойчивость внимания (<i>b</i>)						Частота сердечных сокращений (ЧСС), уд./мин.	
	до работы	после работы	Количество символов				Число пропущенных и ошибочно вычеркнутых символов, <i>n</i>			
			прочитан- ных за две минуты (<i>N</i>)		правильно зачеркнутых (за две минуты)					
			до работы	после работы	до работы	после работы	до работы	после работы	до работы	после работы
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
1	10,3	9,6	517	485	76	72	0	0	76	76
2	8,7	8,1	596	542	70	58	1	2	82	84
3	11,6	10,3	575	552	68	67	2	3	76	80
4	8,3	8,0	601	563	64	54	3	4	88	90
5	8,9	8,2	572	568	45	42	2	2	83	91
6	7,7	7,6	470	380	48	40	0	2	75	86
7	8,0	7,9	425	383	51	39	1	3	80	86
8	12,1	10,3	507	494	43	42	2	5	80	90
9	8,3	7,8	588	527	57	52	3	4	73	89
10	7,4	7,0	574	562	47	32	4	7	84	87
11	8,9	8,5	417	379	43	24	3	6	86	93
12	8,9	8,7	485	370	46	40	1	3	80	88

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
13	8,7	8,6	457	323	53	42	2	4	77	84
14	6,8	6,0	445	383	52	40	1	2	81	87
15	8,7	8,0	580	557	38	30	2	3	80	84
16	11,8	10,7	477	416	53	47	2	5	82	87
17	10,9	10,2	470	440	49	45	2	4	79	89
18	11,0	10,3	565	485	44	40	4	6	82	80
19	12,4	11,6	451	375	39	33	4	8	81	87
20	11,1	9,9	558	546	43	27	5	8	85	90

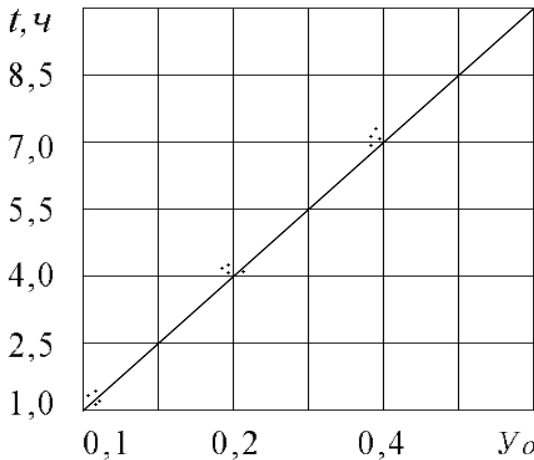


Рис. 4.14. Зависимость изменения показателя «утомляемость» (Y_o) оператора МСХТ от времени его работы (t) ($P_v = 0,47 \dots 0,54$)

4.4 Взаимосвязь и взаимовлияние компонент эргатической системы на безопасность труда (на примере кормоуборочного комбайна)

Согласно техническому регламенту технического соответствия ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования» [174] определяется и уровень безопасности технического средства. При этом в соответствии с требованиями межгосударственного стандарта «Система стандартов безопасности труда. Техника сельскохозяйственная»

[174] – методами измерения и расчета оценивают параметры безопасности для комбайнов и при положительных результатах по всем показателям сертификационных испытаний заявитель получает сертификат соответствия комбайна сроком на пять лет. По истечении срока процедура сертификации проходит заново. Нас заинтересовал вопрос, какая ситуация будет с такими параметрами безопасности кормоуборочного комбайна из перечня межгосударственного стандарта [174] – как микроклимат, шум, вибрация и запыленность на рабочем месте оператора не через пять лет, а через четыре года эксплуатации комбайна, то есть на последнем году срока действия сертификата технического соответствия. Для этого был выбран наиболее типичный представитель парка кормоуборочной техники в Республике Беларусь – комбайн КВК-800 «Палессе», имеющий среднестатистический срок эксплуатации четыре года. Уровень профессиональной подготовки комбайнера оценивался как «средний» [10].

Перед проведением наблюдений комбайн работал два часа, выполняя технологический процесс. При этом двери, окна и люк кабины были закрыты, а система нормализации микроклимата работала с наибольшей производительностью в режиме, соответствующем летнему периоду года [56; 175]. Оценочные измерения микроклимата в кабине проводили в точках 1–7 (см. рисунок 4.15), при таком значении температуры воздуха в кабине, когда в точке 2 она не изменялась более чем на $0,5^{\circ}\text{C}$ в течение 30 минут [56; 175]. Скорость ветра находилась в диапазоне 2,5... 3,0 м/с. Температуру воздуха в кабине определяли как среднее арифметическое пяти измерений в указанных точках (рисунок 4.15).

Результаты наблюдений (таблица 4.18) за состоянием микроклимата в кабине кормоуборочного комбайна КВК-800 «Палессе» показали, что значения всех его параметров – температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха, находятся в допустимых пределах. Среднее квадратическое отклонение вышеприведенных параметров составило не более четырех процентов. Такая благоприятная ситуация во многом объясняется тем, что на современных отечественных кормоуборочных комбайнах исправно функционирует система нормализации микроклимата, что позволяет постоянно обеспечивать для оператора МСХТ на протяжении всего рабочего дня требуемые безопасные микроклиматические условия для работы [176–177].

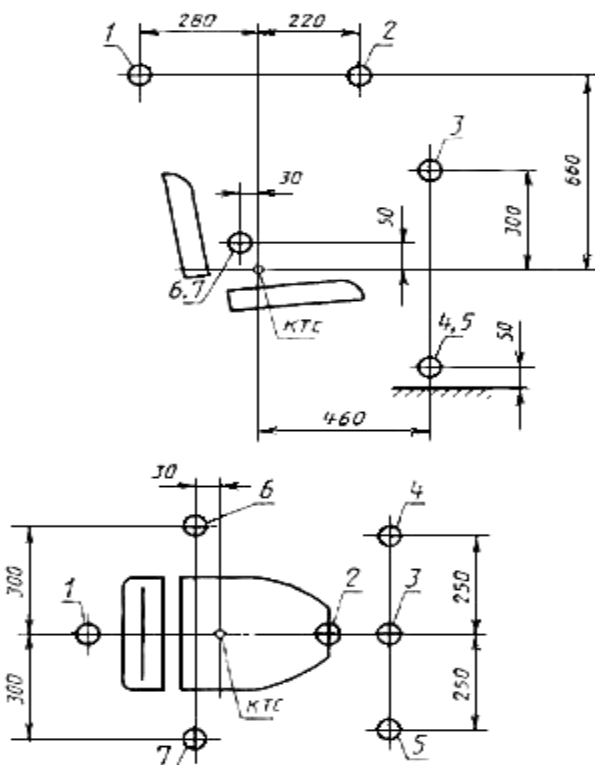


Рис. 4.15. Схема оценочных измерений условий труда [115] на рабочем месте оператора кормоуборочного комбайна: 1...7 – точки для измерения температуры воздуха в кабине; 2 – точка для измерения запыленности, относительной влажности и скорости движения воздуха в кабине; КТС – контрольная точка сиденья

Таблица 4.18

Параметры микроклимата в кабине кормоуборочного комбайна КВК-800 «Палессе» в течение рабочей смены

Точка замера	Температура, °C	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения, м/с
1	2	3	4
1. Первая	$19,8 \pm 0,6$	–	–
2. Вторая	$19,6 \pm 0,5$	$69,7 \pm 0,5$	$0,18 \pm 0,03$
3. Третья	$19,9 \pm 0,5$	–	–

Точка замера	Температура, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения, м/с
4. Четвертая	$19,1 \pm 0,2$	—	—
5. Пятая	$19,3 \pm 0,5$	—	—
6. Шестая	$19,6 \pm 0,3$	—	—
7. Седьмая	$19,3 \pm 0,3$	—	—
В среднем	$19,5 \pm 0,4$	—	—
Гигиенические нормативы [178]	15...22	15...75	0,20...0,40

Измерение шума и вибрации в кабине кормоуборочного комбайна проводилось при загрузке двигателя 90 % номинальной эксплуатационной мощности. Шум на рабочем месте оценивался эквивалентным уровнем звука.

Измерения уровня шума [116; 179] показали, что во всех случаях он не превышал ПДУ (таблица 4.19).

Таблица 4.19

Результаты измерения шума на рабочем месте оператора кормоуборочного комбайна КВК-800 «Палессе»

Марка комбайна	Уровень звука, дБ	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
КВК-800 «Палессе»	78	102	91	84	79	76	72	71	68	60
Допустимые уровни [180]	80	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Основными источниками вибрации на рабочем месте оператора кормоуборочного комбайна являются работа двигателя, ходовая часть (локальная вибрация) и непосредственное движение комбайна по полю (общая вибрация). Замеры, проводившиеся с пятикратной

повторностью показали, что уровни воздействия локальной и общей вибраций на организм оператора находятся в допустимых пределах (таблицы 4.20...4.21). Среднее квадратическое отклонение наблюдаемых параметров находилось в пределах от 2,2 % до 5,3 %.

Таблица 4.20

Результаты измерения локальной вибрации на рабочем месте оператора кормоуборочного комбайна КВК-800 «Палессе»

Марка комбайна	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9
КВК-800 «Палессе»	112	105	104	102	99	98	92	86
Допустимые уровни [180]	115	109	109	109	109	109	109	109

Таблица 4.21

Результаты измерения общей вибрации на рабочем месте оператора кормоуборочного комбайна КВК-800 «Палессе»

Марка комбайна	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц						
	1	2	4	8	16	31,5	63
КВК-800 «Палессе»	120	112	112	106	104	94	90
Допустимые уровни [180]	132	123	114	108	107	107	107

Оценка концентрации пыли (C_n) в кабине кормоуборочного комбайна КВК-800 «Палессе» проводилась с учетом следующих условий: относительной влажности окружающего воздуха – 70 %, скорости ветра не более 5 м/с, очищенных от пыли внутренних поверхностей кабины, плотно закрывающихся окон, дверей и люка. Система нормализации микроклимата работала с наибольшей производительностью (в режиме максимального забора наружного воздуха). В течение опыта отбирали в точке 2 (см. рисунок 4.15) пять проб на содержание пыли в воздухе [56; 179]. В качестве технического средства для количественного определения пыли в воздухе использовался аспиратор АФА-ВП (модель 822). Питание прибора осуществлялось от дизель-генератора (КДЕ 6500Е). Для достоверной

оценки запыленности отбиралось пять проб. Номер фильтра нумеровался на бумажных держателях. Для регулировки объемного расхода воздуха аспиратора использовались пробные фильтры. Опытный фильтр в бумажном держателе вставляли в фильтрдержатель, включали аспиратор на пять минут. Объем воздуха (V), прошедшего через фильтр, рассчитывался по формуле

$$V = v_B \cdot t_{\text{пр}}, \quad (4.37)$$

где v_B – скорость воздуха, л/мин;
 $t_{\text{пр}}$ – время отбора пробы, мин.

Изменение массы контрольных и опытных фильтров ΔM_{ϕ}

$$\Delta M_{\phi} = M_K - M_H, \quad (4.38)$$

где M_K – масса фильтра после отбора проб воздуха, г;
 M_H – начальная масса фильтра, г.

Среднее значение изменения массы контрольных фильтров $\Delta M'_K$ определялось по формуле

$$\Delta M'_K = \frac{\sum \Delta M_{\phi}}{N}, \quad (4.39)$$

где N – количество контрольных факторов.

Значение $\Delta M'_K$ учитывалось для анализа количества влаги, которое поглотили или отдали чистые фильтры относительно первоначального их веса. Массу пыли, осевшую на фильтре (M_{Π}), с учетом изменения массы контрольных фильтров M_K , определяли исходя из следующих условий:

$$M_{\Pi} = \Delta M_{\phi} - \Delta M'_K, \text{ если } \Delta M'_K > 0;$$

$$M_{\Pi} = \Delta M_{\phi} + |\Delta M'_K|, \text{ если } \Delta M'_K < 0;$$

где $|\Delta M'_k|$ – модуль значения изменения массы контрольных фильтров.

Запыленность воздуха в кабине кормоуборочного комбайна (C_n) рассчитывалась по формуле

$$C_n = \frac{M_n}{V} \cdot 10^6. \quad (4.40)$$

Установленное значение запыленности воздуха рабочей зоны находилось в пределах 3,1...5,1 мг/м³ (таблица 4.22), то есть условия труда оператора по запыленности воздуха в кабине в течение рабочей смены изменялись от «допустимых» до «вредных» (таблица 4.23). Снижение запыленности в кабине МСХТ возможно путем использования патентных технических решений [181–184].

Таблица 4.22

Результаты измерения запыленности воздуха на рабочем месте оператора кормоуборочного комбайна КВК-800 «Палессе»

Объем воздуха, прошедшего через фильтр,	(V), л	Скорость воздуха (V _в), л/мин	Время отбора пробы (t _{пр}),	Мин	Номер фильтра	Запыленность воздуха (C _в), мг/м ³	Масса пыли	(M _п), г
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Контроль 1	—	—	—	0,16146	0,16010	0,00136	$\Delta M'_k = 0,00147$	
Контроль 2	—	—	—	0,16318	0,16169	0,00149		
Контроль 3	—	—	—	0,16367	0,16211	0,00156		
1	5	7	35	0,16400	0,16242	0,00158	0,00011	3,1
2	5	7	35	0,16358	0,16198	0,00160	0,00013	3,7
3	5	7	35	0,16412	0,16250	0,00162	0,00015	4,3
4	5	7	35	0,16371	0,16207	0,00164	0,00017	4,8
5	5	7	35	0,16407	0,16242	0,00165	0,00018	5,1

Для улучшения условий труда, защиты оператора МСХТ, находящегося в кабине кормоуборочного комбайна от шума высоких уровней, который излучают адаптеры комбайна, предлагается использование варианта двухслойного остекления кабины. Новизна такого технического решения подтверждается патентом на изобретение

[185], а эффективность применения – соответствующими показателями [186].

Таблица 4.23

Классы условий труда в зависимости от содержания в воздухе рабочей зоны пыли (превышения ПДК, раз) [187]

Показатель	Класс условий труда					
	Допустимый	Вредный				Опасный (экстремальный)
		3.1	3.2	3.3	3.4	
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7
Концентрация пыли	≤ ПДК*	1,1...2,0	2,1...5,0	5,1...10,0	>10,0	–

*ПДК пыли в кабине МСХТ 4 мг/м³ [188].

Следует подчеркнуть, что полученные результаты по отдельным параметрам безопасности на рабочем месте оператора МСХТ (в кабине кормоуборочного комбайна) использовались для сравнительного анализа со значениями таких же параметров из официальных источников – Карт аттестации рабочих мест по условиям труда. Установлено, что из семи наиболее значимых параметров условий труда в кабине кормоуборочного комбайна КВК-800 «Палессе» – температуры, относительной влажности, скорости перемещения воздуха, шума, вибрации (локальной, общей) и запыленности на рабочем месте оператора МСХТ, только у последнего параметра имеет место в течение рабочей смены рост до 1,27 раза ПДК. Объяснением этому может служить частая смена в течение дня направления движения комбайна относительно направления ветра, а также неплотности герметизации кабины комбайна, эксплуатирующегося 4 года. Показатель же средневзвешенного отклонения ($K'_{\text{ут}}$) значений наблюдаемых параметров, полученный согласно статистическим данным по охране труда для ряда агропредприятий, находился в пределах 0,75...1,27 от значений гигиенических нормативов.

Для исследования влияния профессиональной подготовки операторов кормоуборочного комбайна, травмоопасности технического средства и производственной среды на безопасность [55] нами бы-

ла предпринята рандомизация, которая выражалась в том, что операторы МСХТ подбирались таким образом, чтобы их стаж и возраст находились соответственно в интервалах 3–30 лет и 19–50 лет [189]. Качественная оценка вышеперечисленных факторов осуществлялась по методике, приведенной во второй главе монографии, и производилась случайным образом в течение всей рабочей смены. В качестве параметра оптимизации (Y) исследуемого процесса был выбран параметр, характеризующий безопасность труда [190], который определялся как среднее арифметическое оценок выставленных экспертами. При этом учитывались производственные показатели операторов и дисциплина труда за последние два-три года. Для оценки профессиональной подготовки операторов мобильной сельскохозяйственной техники [23] вначале рассчитывалось необходимое количество экспертов (формула 4.33) с учетом числа оцениваемых факторов, заданной точности вычислений, критического значения коэффициента конкордации (согласия экспертов). Для проверки значимости коэффициента конкордации определялось $\chi^2_{\text{табл}}$. Сопоставление $\chi^2_{\text{расч}}$ и $\chi^2_{\text{табл}}$ позволяло судить о достоверности проведенных расчетов. В качестве экспертов выступали главный инженер, заведующий мастерскими и инженер по охране труда. Операторы кормоуборочных комбайнов оценивались по пятибалльной шкале. Результаты экспертной оценки, а также значения выборочных средних $\bar{Y}_{\text{б.т.},j}$ в каждом опыте ($j = 1, \dots, 22$), приведены в таблице 4.24.

Таблица 4.24

Экспертная оценка безопасности труда операторов кормоуборочных комбайнов

Номер оператора	Факторы, балл			Значения параметра безопасности труда $Y_{\text{б.т.}}$, балл			
	Профес. подготовка оператора, $Y_{\text{п.п.}}$	Травмоопасность обслуживаемого кормоуборочного комбайна, $\rho_{\text{т}}$	Условия труда на рабочем месте, $K_{\text{у.т.}}$	$Y_{\text{б.т.},j1}$	$Y_{\text{б.т.},j2}$	$Y_{\text{б.т.},j3}$	$\bar{Y}_{\text{б.т.},j}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	3,7	4,6	3,9	3,5	4,0	3,5	3,67
2	3,3	4,7	3,7	4,0	4,0	4,5	4,17

Номер оператора	Факторы, балл			Значения параметра безопасности труда $Y_{б.т.}$ балл			
	Профес. подготовка оператора, $Y_{п.п.}$	Травмоопасность обслуживаемого кормоуборочного комбайна, ρ_t	Условия труда на рабочем месте, $K_{\text{э.т.}}$	$Y_{б.т.,j1}$	$Y_{б.т.,j2}$	$Y_{б.т.,j3}$	$\bar{Y}_{б.т.,j}$
3	3,5	4,5	3,6	3,5	3,5	4,0	3,67
4	4,8	4,9	4,5	4,5	4,5	5,0	4,67
5	4,7	4,0	2,8	3,5	4,0	3,5	3,67
6	3,2	4,3	3,2	3,5	3,0	3,5	3,33
7	3,3	4,4	3,1	3,5	4,0	4,0	3,83
8	3,6	4,0	3,3	3,5	3,0	3,5	3,33
9	4,1	4,8	4,0	4,5	4,0	4,5	4,33
10	4,0	4,9	3,8	4,0	4,0	4,5	4,17
11	3,4	4,8	3,6	4,0	4,0	4,5	4,17
12	4,2	4,5	4,0	4,5	4,0	4,5	4,33
13	4,3	4,3	3,8	4,0	4,0	3,5	3,83
14	4,4	4,6	3,9	4,5	4,0	4,5	4,33
15	3,9	4,7	3,7	4,0	3,5	4,0	3,83
16	3,6	4,6	3,5	4,0	4,0	4,5	4,17
17	3,4	4,4	3,4	3,5	3,5	4,0	3,67
18	3,8	4,2	2,8	4,0	4,0	3,5	3,83
19	3,5	4,6	3,0	3,5	3,5	4,0	3,67
20	3,7	3,8	3,7	3,5	4,0	4,0	3,83
21	4,1	4,0	3,9	4,5	4,0	4,0	4,17
22	4,2	4,3	4,1	4,5	4,5	4,0	4,33

Зависимость безопасности труда операторов кормоуборочных комбайнов от выбранных экспертами факторов (число факторов $k=3$), представим в виде линейной модели:

$$Y_{б.т.} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3. \quad (4.41)$$

План эксперимента (таблица 4.21) – неортогональный, так как $\sum_{j=1}^2 X_{rj} \cdot X_{sj} \neq 0$; $r, s=1, 2, 3$, то есть варьируемые факторы в той или иной

степени являются зависимыми. Это означает, что если между тремя факторами X_1, X_2, X_3 существует корреляционная связь, которая лишает вектор столбцы факторов ортогональности, построения уравнения (4.41) в таком виде станет невозможно. Поэтому вначале найдем коэффициенты парной корреляции $R(X_r, X_s)$ и проверим их на статистическую зависимость:

$$\sum_{j=1}^{22} (X_{rj} - \overline{X_r}) \cdot (X_{sj} - \overline{X_s}) \quad (4.42)$$

$$R(X_r, X_s) = \frac{r_{rs}}{\sum_{j=1}^{22} (X_{rj} - \overline{X_r})^2 \cdot \sum_{j=1}^{22} (X_{sj} - \overline{X_s})^2},$$

$$\text{где } \overline{X_1} = \frac{\sum_{j=1}^{22} X_{1j}}{22} = -0,005; \quad \overline{X_2} = \frac{\sum_{j=1}^{22} X_{2j}}{22} = 0,083; \quad \overline{X_3} = \frac{\sum_{j=1}^{22} X_{3j}}{22} = 0,217$$

$$\sum_{j=1}^{22} (X_{1j} - \overline{X_1})^2 = 5,713; \quad \sum_{j=1}^{22} (X_{2j} - \overline{X_2})^2 = 5,141; \quad \sum_{j=1}^{22} (X_{3j} - \overline{X_3})^2 = 4,905.$$

Воспользовавшись уравнением (4.42), средними значениями факторов и суммой их квадратов, рассчитаем коэффициенты парной корреляции факторов [121]:

$$R(X_1, X_2) = 0,179; \quad R(X_1, X_3) = 0,317; \quad R(X_2, X_3) = 0,273.$$

Наличие статистически значимой корреляционной зависимости определим по критерию Стьюдента. Если выполняется неравенство [121]:

$$t_3(X_r, X_s) = \sqrt{N-1} \frac{|R(X_r, X_s)|}{1 - R^2(X_r, X_s)} > t_{N-1, p}, \quad (4.43)$$

то соответствующий коэффициент корреляции следует признать статистически значимым. Так как [121]:

$$t_3(X_1, X_2) = \sqrt{22-1} \frac{0,179}{1-0,179^2} = 0,847 < t_{21, 0,95} = 1,721, \quad (4.44)$$

$$t_3(X_1, X_3) = \sqrt{22-1} \frac{0,317}{1-0,317^2} = 1,616 < t_{21,0,95} = 1,721, \quad (4.45)$$

$$t_3(X_2, X_3) = \sqrt{22-1} \frac{0,273}{1-0,273^2} = 1,353 < t_{21,0,95} = 1,721, \quad (4.46)$$

где $t_{N-1,p} = t_{21,0,95} = 1,721$ – табличное значение критерия Стьюдента [22], то анализ уравнений (4.44) – (4.46) позволяет сделать вывод о том, что парные коэффициенты корреляции факторов X_1, X_2, X_3 статистически незначимы, и поэтому зависимость параметра исследуемого процесса ($Y_{\text{б.т.}}$) от всех трех факторов (4.42) корректна.

Коэффициенты выражения (4.41) были найдены путем решения системы линейных уравнений, составленной методом наименьших квадратов. Статистическая обработка результатов эксперимента показала, что все 22 выборочные дисперсии $S_j^2 (j=1, \dots, 22)$ однородны по критерию Кохрена. Обработка опытных данных [25] позволила установить, что все рассчитанные коэффициенты выражения (4.41) значимы, само уравнение с доверительной вероятностью 95 % адекватно (критерий Фишера) и в натуральных значениях факторов (таблица 4.25) имеет следующий вид [189]:

$$Y_{\text{б.т.}} = 0,48Y_{\text{п.п.}} + 0,57\rho_{\text{т}} + 0,26K_{\text{у.т.}} - 1,55. \quad (4.47)$$

Полученное выражение (4.47) позволяет с учетом таблиц (2.2)–(2.3) обосновать уровни безопасности труда операторов кормоуборочных комбайнов (таблица 4.25). Для анализа каждой из составляющих выражения (4.47) на безопасность труда весомость их баллов, согласно исследованиям условий и охраны труда операторов МСХТ [191–192] – принимается одинаковой. Тогда среднее значение ($D_{\text{ср.}}$), характеризующее общий уровень безопасности труда операторов МСХТ:

$$D_{\text{ср.}} = \frac{Y_{\text{п.п.}} + \rho_{\text{т}} + K_{\text{у.т.}}}{3}. \quad (4.48)$$

Таблица 4.25

Уровни безопасности труда операторов МСХТ

Уровень безопасности труда операторов МСХТ	Значение показателя безопасности труда, балл	Интервал изменения факторов, балл		
		Профессиональная подготовка, $Y_{п.п.}$	Травмоопасность технического средства, ρ_t	Условия труда на рабочем месте, $K_{y.t.}$
1	2	3	4	5
Высокий	$4,11 \leq Y_{б.т.} \leq 5,0$	$4,25 \leq Y_{п.п.} \leq 5,0$	$4,67 \leq \rho_t \leq 5,0$	$4,15 \leq K_{y.t.} \leq 5,0$
Средний	$3,17 \leq Y_{б.т.} < 4,11$	$3,40 \leq Y_{п.п.} < 4,25$	$4,34 \leq \rho_t < 4,67$	$3,30 \leq K_{y.t.} < 4,15$
Низкий	$2,12 \leq Y_{б.т.} < 3,17$	$3,00 \leq Y_{п.п.} < 3,40$	$3,00 \leq \rho_t < 4,34$	$3,00 \leq K_{y.t.} < 3,30$

Наилучший вариант будет при $D_{ср.} = 5$ ($Y_{п.п.} = 5$, $\rho_t = 5$ и $K_{y.t.} = 5$), то есть при «высоком» уровне профессиональной подготовки оператора, допустимых (или почти допустимых) условиях труда и низкой травмоопасности технического средства. Поэтому такое состояние при $D_{ср.} = 5$ баллам можно обозначить как исключительное. С другой стороны, «высокий уровень безопасности труда» оператора может быть и в том случае, если $K_{y.t.}$ «3.1», «3.2», «3.3» и «3.4» [117], уровень профессиональной подготовки оператора «высокий», травмоопасность «низкая». Тогда с учетом выражения (4.48) для этих двух вариантов значение $D_{ср.} = 4,67$. «Средний уровень безопасности труда» имеет место, если даже низкий уровень профессиональной подготовки оператора МСХТ, но $\rho_t = 5,0 \dots 4,67$ балла, $K_{y.t.}$ «2». Также к «среднему уровню безопасности труда» оператора МСХТ можно отнести, когда – «средний уровень профессиональной подготовки оператора», условия труда класса «3.1», «3.2», «3.3» и «3.4» и $\rho_t = 5,0 \dots 4,67$. Значение $D_{ср.}$ для двух этих вариантов равно 4,0. «Низкий уровень безопасности труда» – это, когда $\rho_t = 3,0 \dots 4,33$, $Y_{п.п.} = 3,40 \dots 4,24$ и вредные условия труда ($K_{y.t.}$ «3.1», «3.2», «3.3», «3.4»). При этом величина $D_{ср.} = 3,3$. «Недопусти-

мый уровень безопасности труда» возможен, когда при любых значениях [89] факторов $Y_{п.п}$ и ρ_T , $K_{у.т.}$ относится к 4-му классу условий труда. В таких ситуациях рабочие места подлежат ликвидации.

Для обеспечения безопасности труда на кормоуборке, контроля за ее состоянием, необходимо знать не только качественные показатели безопасности выполнения технологического процесса («уровень профессиональной подготовки оператора МСХТ», «травмоопасность технического средства», «класс условий труда на рабочем месте»), но и количественную его оценку, используемую для расчета производственного риска для конкретного технического средства и рабочего места. Согласно результатам проведенных исследований (см. разделы 4.2–4.4) в качестве такой оценки можно использовать: умение оператора оперативно в течение рабочей смены выполнять управленческие воздействия на изменение в технологическом процессе и тем самым как можно меньше находиться в травмоопасной зоне, травмоопасность кормоуборочного комбайна при восстановлении его работоспособности, отклонение на рабочем месте оператора количественных показателей опасных и вредных производственных факторов от гигиенических нормативов. Графическое изображение зависимостей перечисленных факторов, а также условия их функционирования приведены соответственно на рисунке 4.16 и в таблице 4.26. Областью возможных значений варьируемых переменных (факторов) является куб, т. е. в нормированных (приведенном масштабе изменения переменных выполняется условие:

$$-1 \leq x \leq 1.$$

В приведенном выше выражении предельные (минимальные и максимальные) значения нормируемых факторов обозначены – 1 и 1. Переход к обычному масштабу может быть осуществлен по формулам:

$$a_i x_i = \frac{a_i}{\varepsilon_i} x_i - \frac{a_i}{\varepsilon_i} x_i$$

$$a_{ij}x_ix_j = \frac{a_{ij}}{\varepsilon_i \cdot \varepsilon_j} (x_ix_j - x_{oi}x_{oj} - x_{oi}x_j + x_{oi}x_{oj}); \quad a_{ij}x_i^2 = \frac{a_{ij}}{\varepsilon_i^2} (x_i^2 - 2x_ix_{oi} + x_{oi}^2),$$

где x_i, x_j – именованная величина в размерности фактора;
 x_{oi}, x_{oj} – натуральное значение фактора при нулевом уровне;
 $\varepsilon_i, \varepsilon_j$ – натуральное значение интервала варьирования фактора.

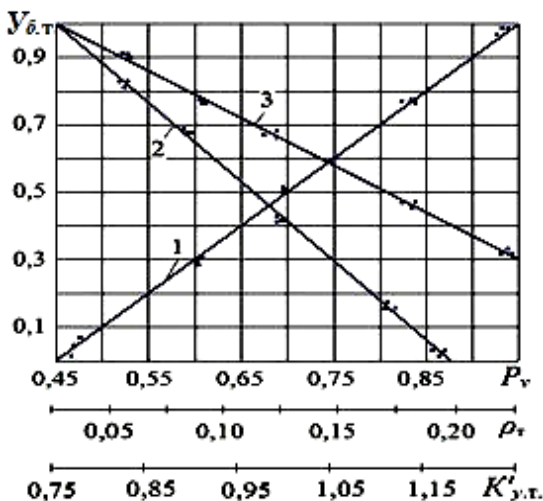


Рис. 4.16. Зависимость безопасности труда ($Y_{б.т.}$) оператора МСХТ:

- 1 – оперативности управленческих воздействий на изменения в технологическом процессе (P_v);
- 2 – травмоопасности кормоуборочного комбайна при восстановлении его работоспособности (ρ_r);
- 3 – отклонение опасных и вредных факторов на рабочем месте от гигиенических нормативов ($K'_{y.т.}$)

Анализ механизма предварительных исследований также показал, что для описания рассматриваемого процесса целесообразно использовать уравнение следующего вида:

$$Y'_{б.т.} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3, \quad (4.49)$$

где $a_0, a_1, a_2, a_3, a_{12}, a_{13}, a_{23}$ – коэффициенты уравнения регрессии.

Таблица 4.26

Наименование факторов безопасности труда оператора кормоуборочного комбайна, уровни и интервалы их варьирования

Интервалы варьирования факторов	Наименование факторов		
	Оперативность управленческих воздействий на изменения в технологическом процессе (P_v)	Травмоопасность кормоуборочного комбайна при восстановлении его работоспособности (ρ_r)	Отклонение опасных и вредных факторов на рабочем месте от гигиенических нормативов ($K'_{y.t.}$)
1	2	3	4
Основной уровень x_{r_0} , $r=1, 2, 3$	0,6	0,5	1,0
Интервал варьирования Δx_r , $r=1, 2, 3$	0,2	0,2	0,25
Верхний уровень, $x_r=+1$, $r=1, 2, 3$	1,0	0,9	1,25*
Нижний уровень, $x_r=-1$, $r=1, 2, 3$	0,2	0,1	0,75*
Формула перевода натуральных значений факторов в нормированные и обратно	$X_1 = \frac{P_v - 0,6}{0,2}$ $P_v = 0,2 \cdot X_1 + 0,6$	$X_2 = \frac{\rho_r - 0,5}{0,2}$ $\rho_r = 0,2 \cdot X_2 + 0,5$	$X_3 = \frac{K'_{y.t.} - 1,0}{0,25}$ $K'_{y.t.} = 0,25 \cdot X_3 + 1,0$

*значение показателя относительно ПДК (ПДУ).

В опытах реализован полный факторный эксперимент (ПФЭ) типа 2^3 , матрица планирования которого представлена в таблице 4.27. В

качестве критерия оптимизации исследуемого процесса выбрали безопасность труда оператора кормоуборочного комбайна. План ПФЭ, в котором факторы ортогональны $\left(\sum_{j=1}^N X_{rj} \cdot X_{sj} = 0 \right)$, позволяет провести независимую оценку коэффициентов многофакторного уравнения регрессии и дисперсий их значимости.

Таблица 4.27

Матрица планирования эксперимента. Результаты эксперимента

№ опыта	Планирование эксперимента			Опытные данные			Результаты эксперимента			
	X_1	X_2	X_3	Y_{1j}	Y_{2j}	Y_{3j}	$\overline{Y_j}$	Y_j	Y_j	$(Y_j - \overline{Y_j})^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-1	-1	-1	0,89	0,85	0,85	0,863	0,0028	0,839	0,00058
2	1	-1	-1	0,98	0,97	0,97	0,974	0,0002	0,972	0,00001
3	1	1	-1	0,78	0,82	0,75	0,783	0,0053	0,743	0,00160
4	1	1	1	0,70	0,66	0,68	0,680	0,0016	0,669	0,00012
5	-1	1	1	0,25	0,22	0,24	0,237	0,0011	0,234	0,00001
6	-1	-1	1	0,75	0,70	0,68	0,710	0,0064	0,667	0,00185
7	-1	1	-1	0,35	0,30	0,32	0,323	0,0028	0,314	0,00008
8	1	-1	1	0,92	0,90	0,87	0,897	0,0028	0,873	0,00058
							$\sum_{j=1}^8 \overline{Y_j} = 5,467$	$\sum_{j=1}^8 S_j^2 = 0,0230$	$\sigma^2 = \sum_{j=1}^8 (Y_j - \overline{Y_j})^2 = 0,0048$	

В результате статистической обработки опытных данных установлено:

а) все восемь выборочных дисперсий S_j^2 однородны по критерию Кохрена, так как $G_3 < G_{n-1;N;0,95}$, где $G_3 = \max S_j^2 / \sum_{j=1}^N S_j^2 = \frac{0,0053}{0,0230} = 0,230$ – экспериментальное значение критерия Кохрена; $G_{n-1;N;p} = G_{2;8;0,95} = 0,516$ – критическое значение критерия Кохрена при числе степеней свободы $f_{\text{числ}} = n-1$, $f_{\text{знам}} = N$ и доверительной вероятности $p = 0,95$ [25];

б) так как выборочные дисперсии однородны, то дисперсия воспроизводимости и ее число степеней свободы (f) определяются по следующим уравнениям:

$$S_{\text{воспр.}}^2 = \frac{\sum_{j=1}^N S_j^2}{N} = \frac{0,0230}{8} = 0,0029,$$

$$f = N(n-1) = 8 \cdot (3-1) = 16;$$

в) коэффициенты уравнения регрессии (4.49), рассчитанные по следующим формулам:

$$a_0 = \frac{\sum_{j=1}^N \bar{Y}'_j}{N}, \quad (4.50)$$

$$a_r = \frac{\sum_{j=1}^N X_{rj} \cdot \bar{Y}'_j}{N}, \quad r = 1, 2, 3, \dots, N, \quad (4.51)$$

$$a_{rs} = \frac{\sum_{j=1}^N X_{rj} \cdot X_{sj} \cdot \bar{Y}'_j}{N}, \quad r, s = 1, 2, 3, \dots, N \quad (4.52)$$

и равны:

$$a_0 = 0,683; a_1 = 0,448; a_2 = 0,690; a_3 = -0,644; a_{12} = 0,841; a_{13} = -0,802; a_{23} = -0,143;$$

г) доверительный интервал (Δa) для всех коэффициентов уравнения регрессии равен:

$$\Delta a = t_{N(n-1);p} \cdot \sqrt{\frac{S_{\text{воспр.}}^2}{n \cdot N}},$$

где $t_{N(n-1);p}$ – табличное значение критерия Стьюдента при числе степеней свободы $f = N(n-1)=16$ и доверительной вероятности $p = 0,95$ ($t_{\text{табл.}} = t_{N(n-1);p} = t_{16; 0,95} = 1,746$) [25],

$$\Delta a = 1,746 \cdot \sqrt{\frac{0,0029}{3 \cdot 8}} \approx 0,019.$$

д) все рассчитанные коэффициенты уравнения регрессии значимы, так как для всех них выполняется неравенство:

$$\Delta a < |a_r|, \quad (r = 0; 1; 2; 3) \text{ и}$$

$$\Delta a < |a_{rs}|, \quad (r, s = 0; 1; 2; 3, r < s);$$

е) полученное уравнение регрессии адекватно, так как $F_9 < F_{\text{табл.}}$,

$$S_{\text{ад.}}^2 = \frac{n \cdot \Phi}{f_{\text{ад}}},$$

где $f_{\text{ад}} = N - B$,

B – число значимых коэффициентов уравнения регрессии ($B = 7$); тогда

$$S_{\text{ад.}}^2 = \frac{3 \cdot 0,0048}{8 - 7} \approx 0,0144 \quad (4.53)$$

$$F_9 = \frac{S_{\text{воспр.}}^2}{S_{\text{ад}}^2} = \frac{0,0029}{0,0144} = 0,201; \quad (4.54)$$

$$F_{\text{табл.}} = F_{N(n-1); N-B; 0,95} = F_{16; 1; 0,95} = 4,49,$$

где $F_{N(n-1); N-B; 0,95}$ – табличное значение критерия Фишера при числе степеней свободы $f_{\text{числ.}} = N(n-1) = 16$, $f_{\text{знам.}} = N - B = 1$, доверительной вероятности $p = 0,95$;

ж) уравнение (4.49) в нормированных значениях факторов имеет следующий вид:

$$Y'_{6.7} = 0,683 + 0,448 \cdot X_1 + 0,690 \cdot X_2 - 0,644 \cdot X_3 +$$

$$+ 0,841 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,802 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,143 \cdot X_2 \cdot X_3. \quad (4.55)$$

Анализ выражения (4.55) показывает:

а) наилучший показатель безопасности труда на уборке кормовых культур достигается при $X_1 = +1$, $X_2 = -1$, $X_3 = -1$ и равен $Y'_{б.т. \max} = 90,3 \%$;

б) фактор «травмоопасность кормоуборочного комбайна при восстановлении его работоспособности» (X_2) имеет более существенное влияние на безопасность труда оператора, нежели другие рассматриваемые факторы, о чем свидетельствуют значения регрессионных коэффициентов в уравнении 4.55: $X_2 = 0,690 > X_3 = 0,644 > X_1 = 0,448$;

в) наихудший результат с точки зрения безопасности выполнения кормоуборочных работ $Y'_{б.т. \min} = 9,9 \%$ ожидается, когда «оперативность управленческих воздействий на изменения в технологическом процессе» – низкая ($X_1 = -1$), показатель «травмоопасность комбайна» достигает максимума ($X_2 = +1$), а «отклонение опасных и вредных производственных факторов на рабочем месте оператора МСХТ от гигиенических нормативов» достигает максимума ($X_3 = +1$).

Для получения функции отклика в зависимости от натуральных значений факторов декодируем уравнение регрессии (4.55). Для этого составляющие этого уравнения преобразуем, заменив значения X_1 , X_2 и X_3 их значениями в натуральных величинах (таблица 4.23). После соответствующих преобразований получим выражение

$$Y_{б.т.} = 25,939 + 2,240 \cdot P_v - 9,165 \cdot p_t - 13,630 \cdot K'_{y.т.} + 21,025 \cdot P_v \cdot p_t - (4.55) \\ - 19,240 \cdot P_v \cdot K'_{y.т.} + 2,510 \cdot p_t \cdot K'_{y.т.},$$

анализ которого позволяет констатировать, что максимальное значение безопасности труда оператора на кормоуборке 98,0 % или (4,9 балла по пятибалльной шкале) имеет место, когда показатель оперативности управленческих воздействий на изменения в технологическом процессе равен 0,94, травмоопасность кормоуборочного комбайна при восстановлении его работоспособности составляет 0,100, а показатель отклонения от гигиенических нормативов значений опасных и вредных факторов на рабочем месте оператора – 0,75. Математическая модель для прогнозирования безопасности труда (4.56) – универсальна и применима для любой мобильной сельскохозяйственной техники.

По результатам проведенных исследований разработаны алгоритм расчета показателя безопасности труда оператора кормоуборочного комбайна (рисунок 4.17) и компьютерная программа [193].

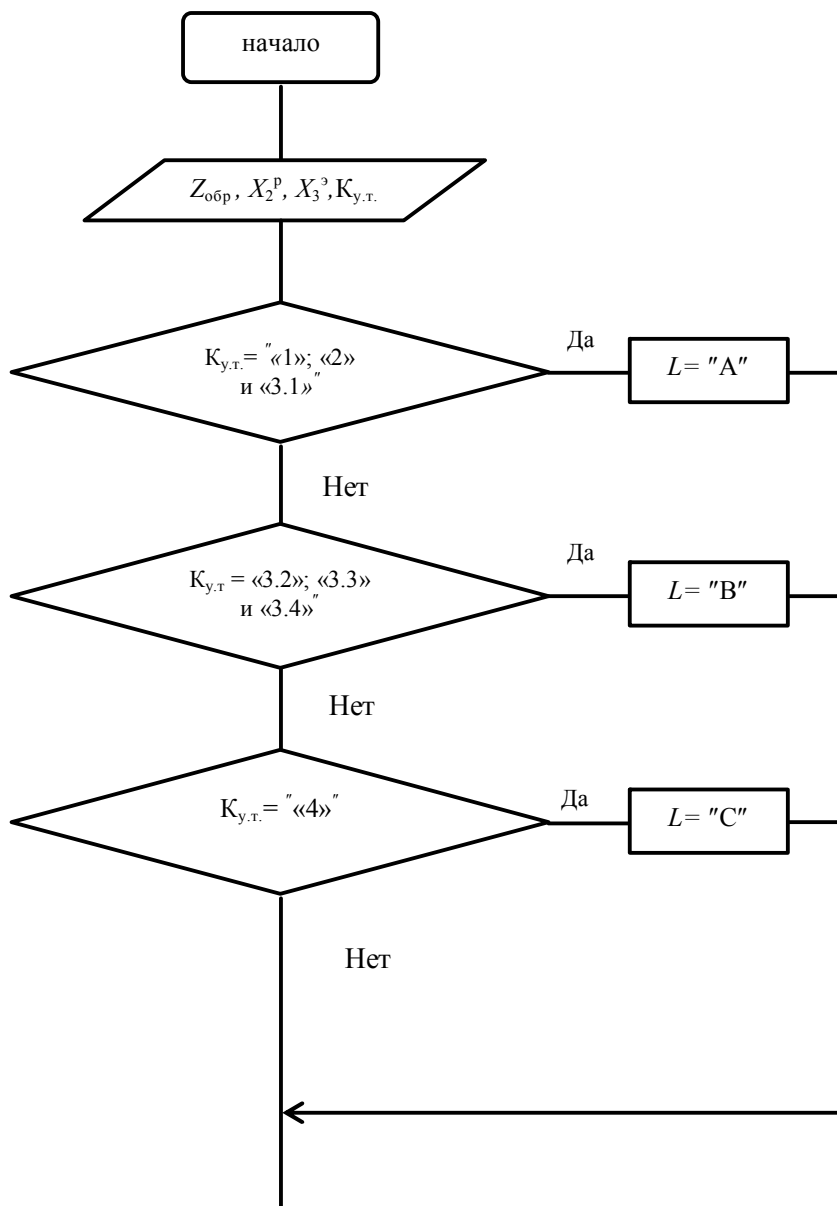


Рис. 4.17 (начало). Алгоритм для определения показателя безопасности труда оператора МСХТ [193]

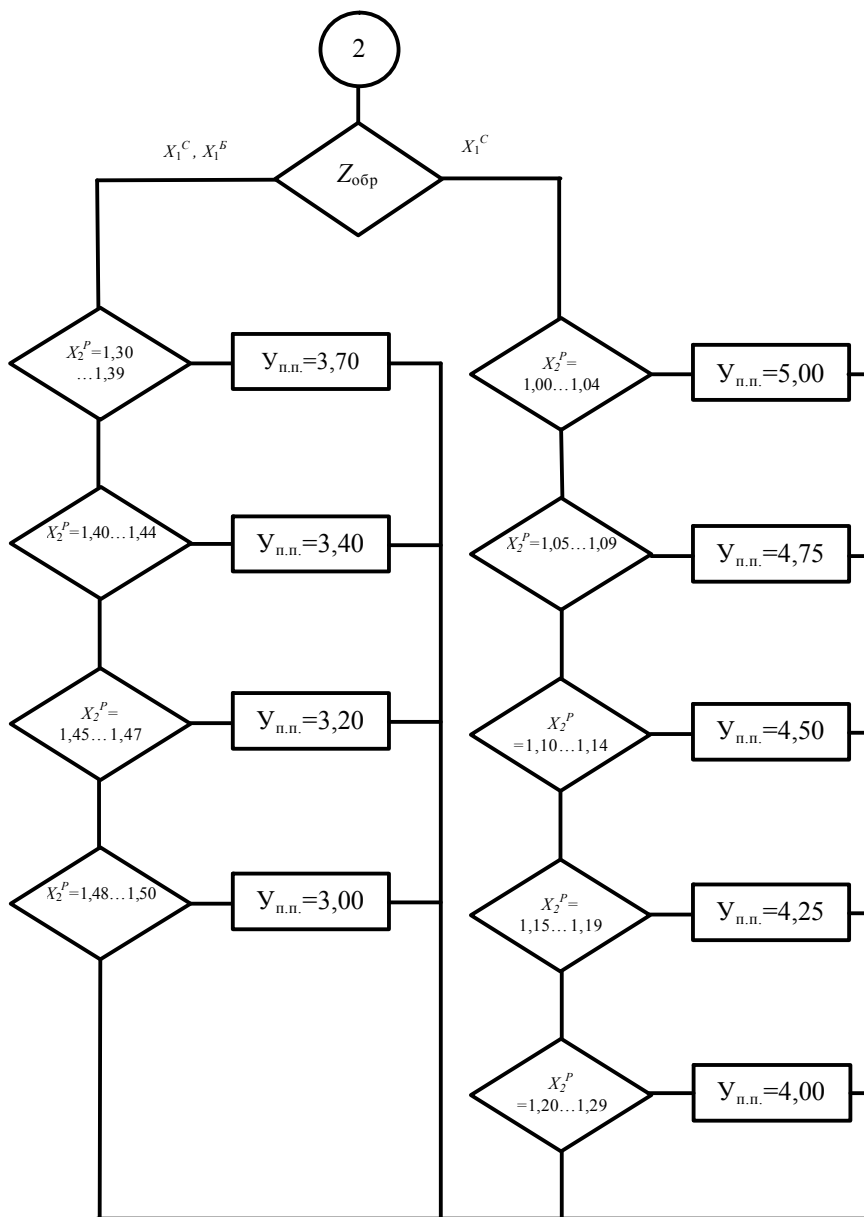


Рис. 4.17 (продолжение). Алгоритм для определения показателя безопасности труда оператора МСХТ [193]

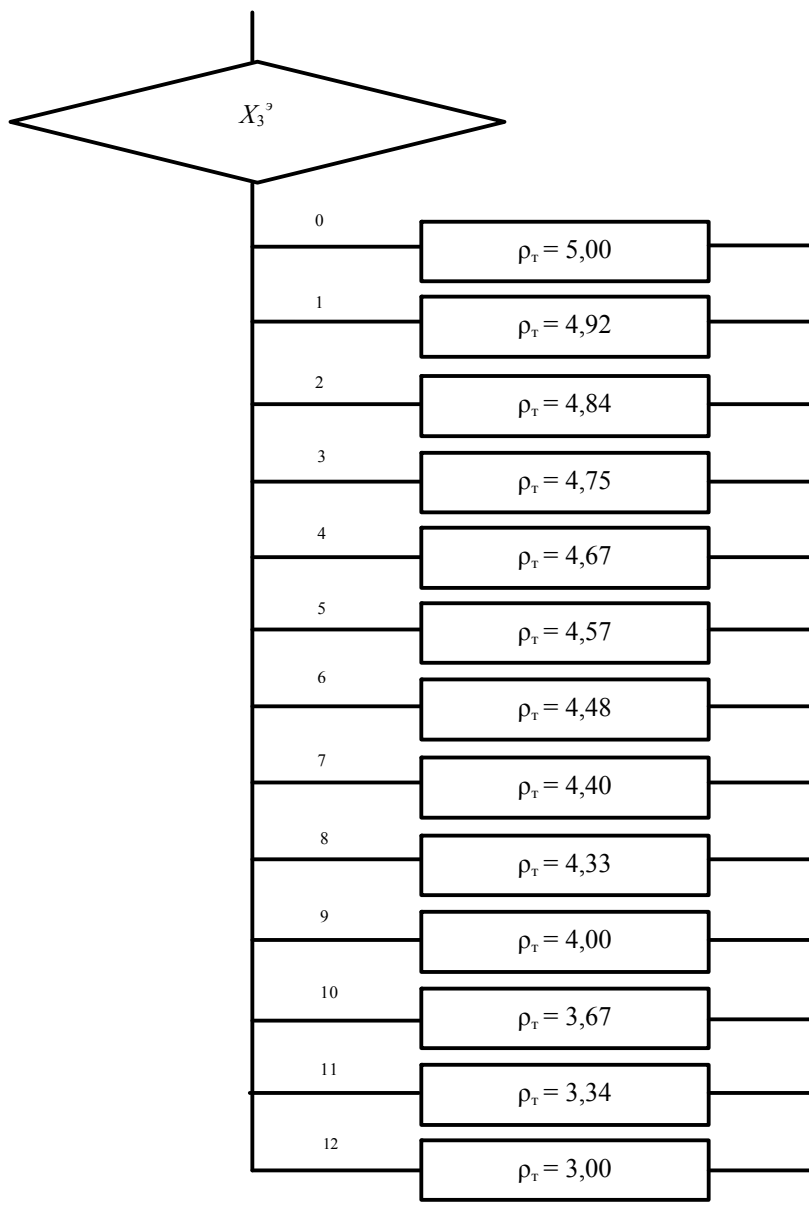


Рис. 4.17 (продолжение). Алгоритм для определения показателя безопасности труда оператора МСХТ [193]

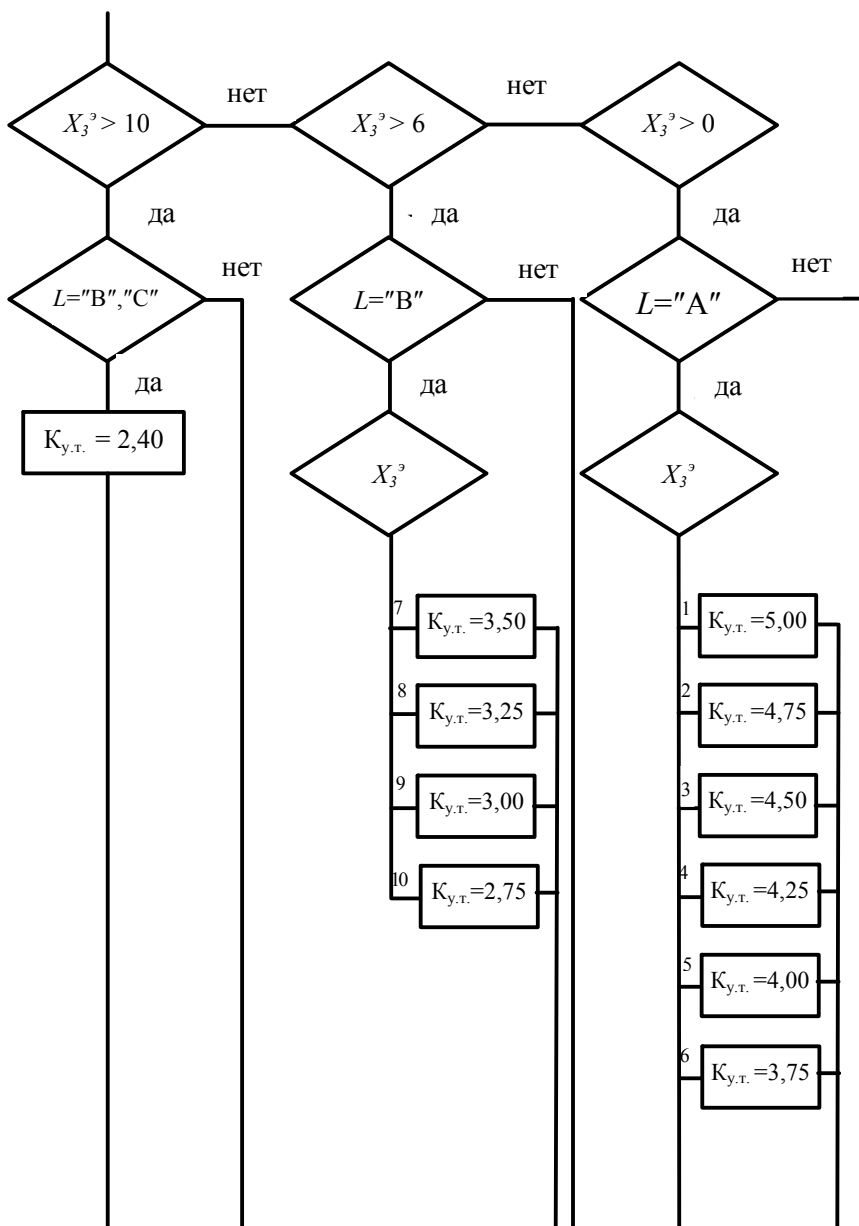


Рис. 4.17 (продолжение). Алгоритм для определения показателя безопасности труда оператора МСХТ [193]

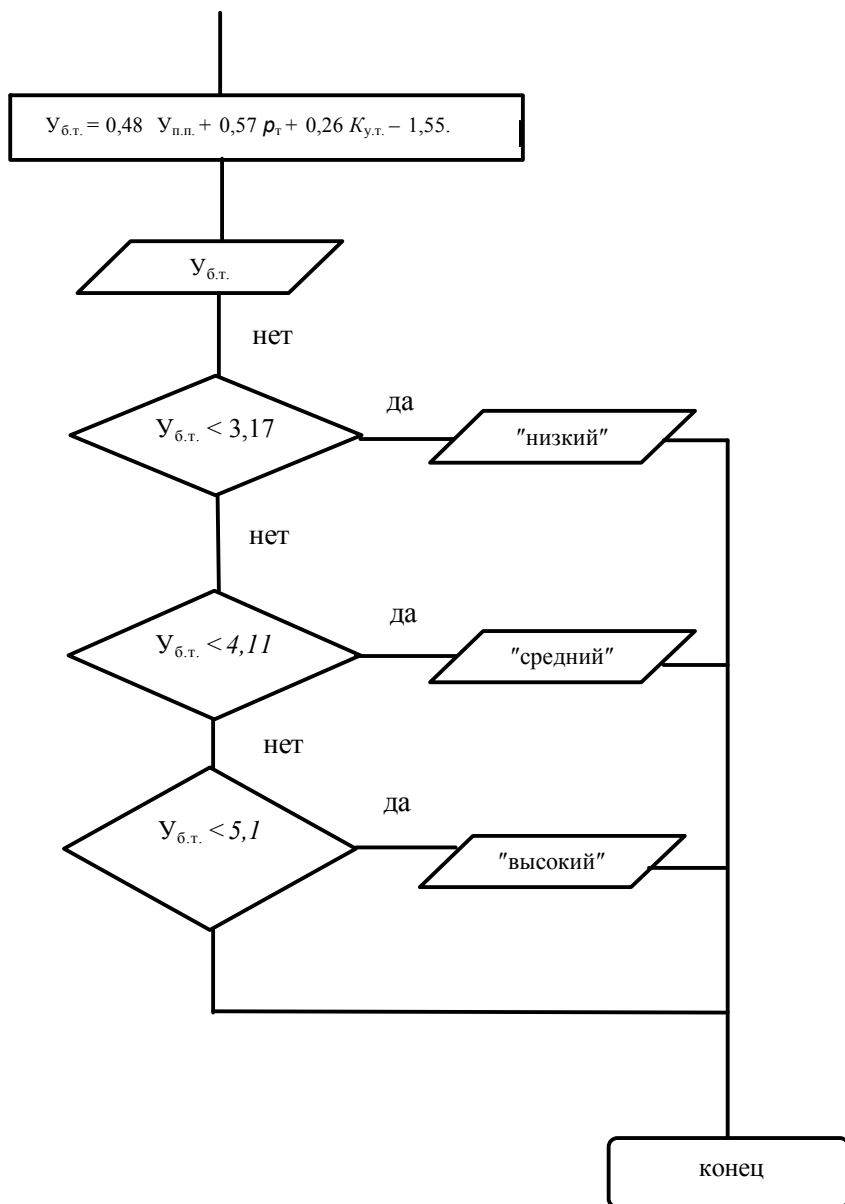


Рис. 4.17 (окончание). Алгоритм для определения показателя безопасности труда оператора МСХТ [193]

4.5 Исследование безопасности эксплуатации технического средства от состояния производственной среды, режимов технологического процесса и показателя приспособленности конструкции технического средства к выполнению регулировочных воздействий (на примере механизированного ухода за клюквенным покровом промышленных чеков)

Управлять производственным риском при выполнении технологического процесса в условиях изменения параметра состояния производственной среды можно путем улучшения показателей приспособленности конструкции технического средства к механизированным работам (см. раздел 2.5) и четким соблюдением безопасных режимов его эксплуатации.

Проведенными исследованиями на примере технологии промышленного выращивания клюквы (раздел 4.1) установлено, что самое низкое значение показателя приспособленности ($K_{П\text{ т.с.}}$) к регулировочным работам наблюдалось у технического средства для механизированного ухода за клюквенным покровом чеков (поднятии, расчесывании и обрезке растительности), имеющего важнейшее значение для улучшения светового режима растений, обеспечения доступа к ним насекомых, опылителей, повышения завязываемости плодов, сохранения покрова чеков [50; 171]. Существенное влияние на качество и безопасность выполнения рассматриваемого технологического процесса в условиях изменения параметра состояния производственной среды (различной длины стелющихся побегов клюквенника, высоты клюквенника на чеке, угла его откосов и др.), оказывает скорость движения технического средства. Анализ литературных источников, результаты патентного поиска [194–203] позволили сделать вывод, что техническое средство для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквы может включать конструктивные элементы разнообразной конфигурации (рисунок 4.18). Была предложена усовершенствованная, запатентованная [197] конструкция технического средства с поднимающе-расчесывающим рабочим органом в виде сдвоенных пружинных зубьев (рисунок 4.19), вместо пруткового рабочего органа (рисунок 4.18).

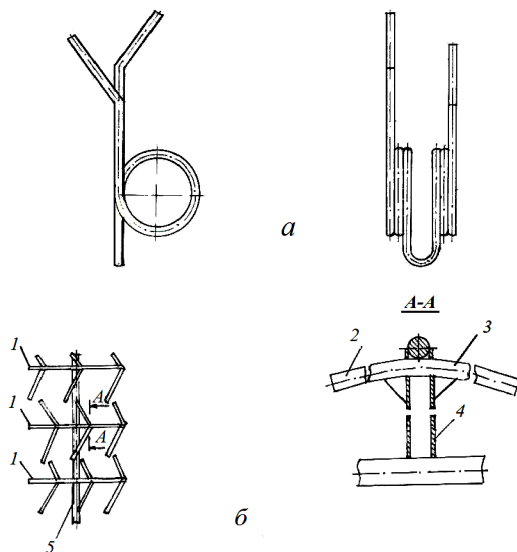


Рис. 4.18. Рабочие элементы расчесывающего устройства [11]:

a – двоянные пружинные зубья различной длины и отгиба;

б – прутки, консольно установленные на ободах барабана:

1 – обод; 2, 3 – прутки; 4 – диск; 5 – вал барабана

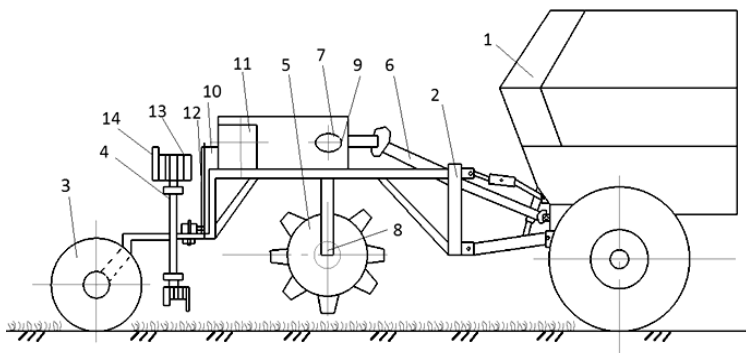


Рис. 4.19. Техническое средство для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника с рабочим органом в виде гребенки со двоянными пружинными зубьями:

1 – энергосредство; 2 – рама; 3 – опорные колеса; 4 – расчесывающий аппарат;
5 – ножевой барабан; 6 – карданный вал; 7, 11 – редуктор; 8 – трансмиссионный вал;
9, 12 – цепная передача; 10 – муфта; 13 – длинный зуб пружинной пары;
14 – короткий зуб

Сравнительная экспертная оценка приспособленности к технологическим регулировкам (таблица 4.28) показала [54], что этот показатель у предлагаемого технического средства увеличился в 2,2 раза (таблица 4.29), риск травмирования оператора МСХТ уменьшается на 11,5 % и составляет 3,0 %, а уровень производственного риска снижается до «минимального» (таблица 4.29).

Таблица 4.28

Результаты экспертной сравнительной оценки приспособленности технологических регулировок технического средства для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника (с рабочим органом в виде сдвоенных пружинных зубьев с прутковым поднимающе-расчесывающим рабочим органом)

Наименование регулировки	Удобство, баллы	Доступность, баллы	Безопасность, баллы
1. Глубина установки в клюквеннике поднимающе-расчесывающего рабочего органа (оперативная)	5/3	4/4	5/2
2. Глубина установки в клюквеннике поднимающе-расчесывающего рабочего органа (установочная)	5/3	4/4	5/2
3. Частота вращения режущего барабана	4/3	4/4	4/3
4. Угол наклона дополнительной секции (оперативная)	4/3	4/3	4/3

Наименование регулировки	Удобство, баллы	Доступность, баллы	Безопасность, баллы
5. Угол наклона дополнительной секции (установочная)	4/3	4/4	4/3

Для установления эффективности работы предлагаемого безопасного технического средства для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника (рисунок 4.20) организовано проведение факторного эксперимента.

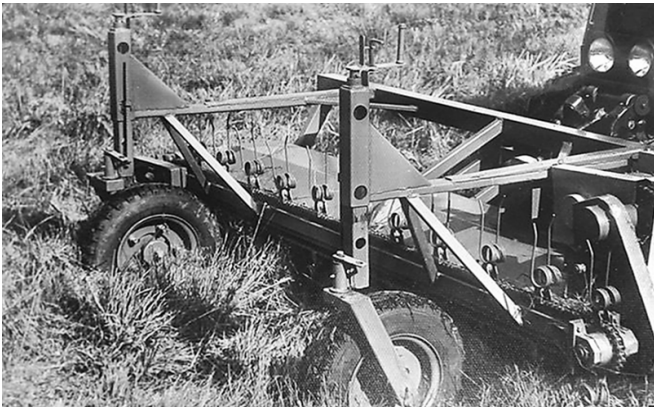


Рис. 4.20. Техническое средство для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника

Большое количество факторов различной природы, влияющих на выполнение этого технологического процесса, делает целесообразным на первом этапе исследований выявить из них наиболее существенные [22; 204] для безопасного и эффективного выполнения работ. В таблице 4.30 приведены факторы, один из которых количественный – x_1 (скорость, изменяющаяся в зависимости от густоты стелющихся побегов, высоты клюквенника) и два качественных – x_2 (тип) и x_3 (конфигурация), различная комбинация которых оказывает влияние на параметр оптимизации Y_1 – (полноту безопасной обрезки стелющихся побегов клюквенника).

Таблица 4.29

Показатели безопасности управления технологическим процессом
механизированного ухода за клюквенным покровом промышленных чеков

№ п/п	Техни- ческое средство	Наименование регулировки	Показатель приспособленности технологической регулировки технического средства ($K_{Пк}$)	Показатель безопасности выполнения технологической регулировки технического средства ($K_{Бпр}$)	Показатель приспособленности технического средства к технологическим регулировкам на чеке ($K_{П,с}$) [99]	Показатель безопасности управления технологическим процессом на клюквенном чеке ($K_{Бпр}$)	Риск травмирования оператора технического средства, ($P_{г.с}$), % [99]	Сезонная нагрузка технического средства, ч	Наименование уровня производственного риска	Риск травмирования оператора технических средств за сезон механизированного выращивания клюквы ($P_{гс}$), %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	Для подня- тия, расче- сывания и обреза- ния стеблю- щихся побегов клюк- венника	Глубина установ- ки в клюквеннике поднимающе- расчесывающего рабочего органа* (оперативная)	$\frac{0,36}{0,86}$	$\frac{0,48}{0,92}$						
		Глубина установки в клюквеннике поднимающе- расчесывающего рабочего органа (установочная)*	$\frac{0,36}{0,86}$	$\frac{0,48}{0,92}$						
		Частота вращения режущего барабана*	$\frac{0,43}{0,63}$	$\frac{0,55}{0,74}$						
								160	Предельный / минимальны	$\frac{8,4}{5,1}$

Продолжение таблицы 4.29

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		Угол наклона дополнительной секции технического средства (оперативная)*	$\frac{0,33}{0,63}$	$\frac{0,44}{0,74}$						
		Угол наклона дополнительной секции технического средства (установочная)*	$\frac{0,43}{0,63}$	$\frac{0,55}{0,74}$						

Примечание – *В числителе приведено значение показателя для технического средства с прутковым поднимающе-расчесывающим рабочим органом, в знаменателе – для рабочего органа в виде совенных пружинных зубьев.

2.	Опрыскивание посадок клюквенника на чеках	Высота опрыскивания посадок клюквенника (оперативная)	0,74	0,84	0,50	0,58	12,3	320	Минимальный	$\frac{8,4}{5,1}$
		Высота опрыскивания посадок клюквенника (установочная)	0,86	0,92						
		Полууглы факела распыла распылителя опрыскивателя	0,43	0,55						
3.	Для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность	Скорость движения технического средства для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность (оперативная)	0,53	0,65	0,59	0,72	7,4	50	Минимальный	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		Скорость движения технического средства для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность (установочная)	0,97	0,98						
		Частота вращения вальца технического средства для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность (оперативная)	0,43	0,55						
		Частота вращения вальца технического средства для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность (установочная)	0,74	0,84						
		Высота установки вальца для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность (оперативная)	0,53	0,65						

Минимальный

Продолжение таблицы 4.29

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		Высота установки вальца для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность (установочная)	0,63	0,65	0,59	0,72	7,4	50	Минимальный	<u>8,4</u> 5,1
		Подача рабочего раствора гербицида на валец	0,53	0,65						
		Положение поддона относительно вальца (оперативная)	0,43	0,55						
		Положение поддона относительно вальца (установочная)	0,74	0,84						
4.	Для среза сорняков над ярусом клюквенником	Высота среза сорняков (оперативная)	0,43	0,55	0,63	0,86	3,8	300	Минимальный	
		Высота среза сорняков (установочная)	0,97	0,98						
		Скорость движения по чеку МТА (трактор + косилка-измельчитель) (оперативная)	0,97	0,98						
		Скорость движения по чеку МТА (трактор + косилка-измельчитель) (установочная)	0,97	0,98						

Продолжение таблицы 4.29

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5.	Для уборки ягод «на воде»	Частота вращения барабана технического средства для уборки ягод «на воде» (оперативная)	0,97	0,98	0,64	0,88	3,5	140	Минимальный	
		Частота вращения барабана технического средства для уборки ягод «на воде» (установочная)	0,97	0,98						
		Глубина погружения в воду барабана для уборки ягод «на воде» (оперативная)	0,33	0,44						
		Глубина погружения в воду барабана для уборки ягод «на воде» (установочная)	0,86	0,92						
6.		Направление вращения барабана для уборки ягод «на воде» (оперативная)	0,74	0,84	0,64	0,88	3,5	140	Минимальный	<u>8,4</u> 5,1
		Направление вращения барабана для уборки ягод «на воде» (установочная)	0,97	0,98						

Окончание таблицы 4.29

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		Угол наклона дополнительной секции барабана для уборки ягод «на воде» (оперативная)	0,33	0,44						
		Угол наклона дополнительной секции барабана для уборки ягод «на воде» (установочная)	0,53	0,65						

Таблица 4.30

Натуральные и нормированные значения факторов технического средства для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника

Наименование факторов	Нормированные значения факторов, X_r $r = 1, 2, 3$	
	$X_r = -1$	$X_r = +1$
	Натуральные значения факторов, x_r	
Скорость движения агрегата, км/ч	2,6	5,1
Тип расчесывающего устройства	гребенка	барабан
Конфигурация рабочих элементов поднимающе-расчесывающего устройства	сдвоенные пружинные зубья	консоли-прутки

Для постановки отсеивающего эксперимента был взят насыщенный план дробного факторного эксперимента типа 2^{3-1} с количеством опытов $N = 4$ и генерирующим соотношением $X_3^k = -X_1^r X_2^e$. В результате проведения эксперимента и обработки

данных методами математической статистики получено следующее уравнение регрессии первого порядка [93]:

$$Y_1 = 86,7 - 4,8X_1^r - 2,9X_2^b - 2,5X_3^k. \quad (4.57)$$

Анализ результатов отсеивающего эксперимента позволил сделать выводы [93]:

а) по степени значимости на параметр оптимизации линейные эффекты в выбранном интервале варьирования располагаются следующим образом:

$$X_1^r > X_2^b > X_3^k \quad (4,8 > 2,9 > 2,5);$$

б) снижение скорости движения машинно-тракторного агрегата (трактор + техническое средство) с 5,1 до 2,6 км/ч, вызванное изменением густоты (плотности) стелющихся побегов на 28 % (среднее значение длины побегов на участках чека составляла от 0,20 до 0,90 м) повышает на 10 % количество обрезанных стелющихся побегов, то есть посадочного материала;

в) использование гребенки в конструкции технического средства вместо расчесывающего барабана способствует повышению приспособленности технического средства к регулировкам и, как следствие, позволяет увеличить количество обрезанных побегов на 6 %;

г) применение в качестве рабочих элементов поднимающе-расчесывающего устройства в виде сдвоенных пружинных зубьев, расположенного на горизонтальной цепи – удобно, доступно и безопасно для регулировок и позволяет в сравнении с консолями-прутками увеличить полноту безопасной обрезки стелющихся побегов на 20 %, что ощутимо с учетом агротехнических требований на выполнение технологического процесса;

д) оптимальное сочетание значений рассмотренных факторов для достижения высокой степени полноты (более 95 %), качества и безопасности обрезки стелющихся побегов следующее: $x_1 \approx 2,6$ км/ч ($X_1^r = -1$); x_2 – гребенка ($X_2^b = -1$), x_3 – сдвоенные пружинные зубья ($X_3^k = -1$).

Таким образом, наилучшая конструкция безопасного и эффективного технического средства для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника на чеке включает в себя поднимающе-расчесывающее устройство (рисунок 4.21) в виде гребенки со сдвоенными пружинными зубьями.

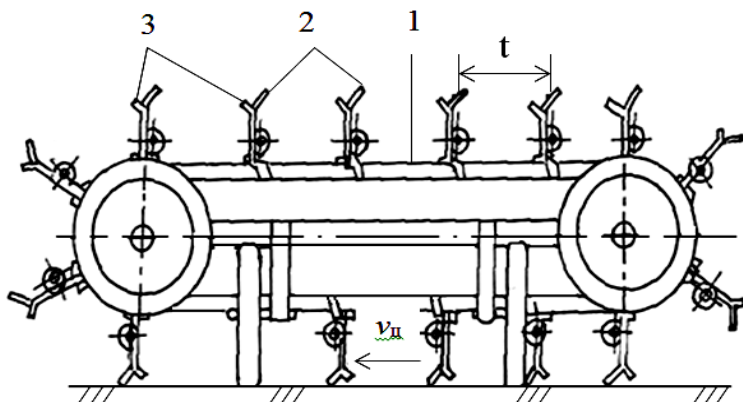


Рис. 4.21. Поднимающе-расчесывающее устройство в виде сдвоенных пружинных зубьев [11]:

1 – цепь; 2 – длинный зуб пружинной пары; 3 – короткий зуб

Для обрезки стелющихся побегов крупноплодной клюквы рассматриваемое устройство поднимает их. При этом передние короткие продолжения крайних наружных витков спиралей каждой пары с отгибом их концов в сторону противоположную направлению движения бесконечной цепи ($v_{ц}$), расчесывают верхний слой побегов клюквы, а задние длинные продолжения крайних наружных витков спиралей расчесывают нижний более прочный слой побегов с максимальным их захватом. На следующем этапе исследований была поставлена задача по оптимизации режимов выполнения технологического процесса обоснованным техническим средством (см. рисунок 4.20), обеспечивающих, в условиях изменяющейся высоты клюквенника на чеке, густоты стелющихся побегов, засоренности чеков, безопасное и качественное выполнение механизированных работ. Для изучения качественных показателей технологических процессов на клюквенных чеках (таблица 4.31) проводилась серия предварительных опытов [121; 205]. Участок

для проведения исследований (рисунок 4.22) выбирался площадью около одного гектара (промышленный чек крупноплодной клюквы 50 м × 200 м).

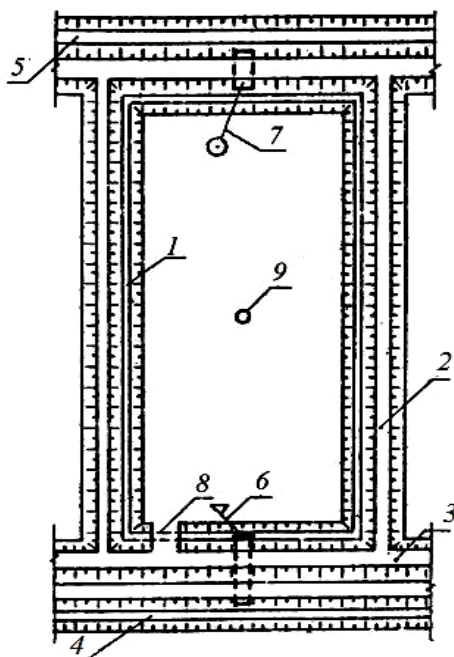


Рис. 4.22. Схема чека крупноплодной клюквы [131]:

- 1 – чечовый обводной канал; 2 – чечовая дамба; 3 – дамба-дорога;
4 – сбросной канал; 5 – водоподводящий канал; 6 – водоспуск из чека;
7 – водоспуск в чек; 8 – труба-переезд; 9 – наблюдательный колодец

Для него указывалось:

- место проведения исследований;
- вид работы;
- культура;
- состав машинно-тракторного агрегата;
- характеристика участка плантации (чека) крупноплодной клюквы, возраст насаждений (лет), высота клюквенника (м), длина горизонтальных побегов в плодоносящем ярусе (м) и др.
- характеристика сорной растительности (высота сорняков (см), количество сорняков (шт./м²)).

Таблица 4.31

Показатели качества механизированных работ на клюквенном чеке [206]

Наименование показателей	Единица измерения	Значение показателей
1. Полнота обрезки стелющихся побегов в плодоносящем ярусе	%	не менее 75,0
2. Повреждение плодоносящего яруса клюквенника за один проход по чеку МТА	%	не более 5,0
3. Количество уничтоженных сорняков за один проход МТА, расположенных выше культурных растений (через 14 дней после обработки раствором гербицида)	%	не менее 85,0
4. Средневзвешенная длина скошенных и измельченных частиц сорной растительности	мм	не более 35,0
5. Полнота отделения ягод от побегов (за два прохода МТА)	%	не менее 90,0
6. Повреждение ягод при уборке (за два прохода МТА)	%	не более 5,0

Определение показателей полноты безопасной обрезки стелющихся побегов в ярусе клюквенника, а также повреждение его плодоносящих побегов техническим средством (с прутковым расчесывающим рабочим органом и рабочим органом со сдвоенными пружинными зубьями) проводилось на чеках с различными параметрами состояния производственной среды и сроками эксплуатации. Полнота безопасной обрезки стелющихся горизонтальных побегов крупноплодной клюквы (или полнота безопасного скашивания сорной растительности выше яруса клюквенника, или полнота безопасного отделения ягод от побегов) (P_r , %) определялись по формуле [26]:

$$П_r = 100 \cdot \left(1 - \frac{Н_r}{О_r} \right), \quad (4.58)$$

где $Н_r$ – количество или необрезанных стелющихся горизонтальных побегов культурного растения крупноплодной клюквы, или сорняков, или неубранных ягод, шт./м²;

$О_r$ – количество или стелющихся горизонтальных побегов, или сорняков, или неубранных ягод, шт./м².

Повреждение плодоносящих побегов или стелющихся горизонтальных побегов, или ягод, ($П_k$, шт./м²) рассчитывались по формуле [26]:

$$П_k = \frac{П}{О_k} \cdot 100, \quad (4.59)$$

где $П$ – количество или поврежденных, или стелющихся побегов клюквенника, или ягод, шт./м²;

$О_k$ – общее количество или стелющихся горизонтальных и плодоносящих вертикальных побегов клюквенника или ягод, шт./м².

При статистической обработке исходной информации определялись параметры аналитического выражения.

Оценка безопасности выполнения на клюквенном чеке технологических процессов проводилась в соответствии с ГОСТ 12.2.11–85 [207], ГОСТ 12.2.002–91 [174], другими нормативными документами [208], а также с учетом результатов ранее проведенных исследований [209]. Предварительными исследованиями выявлены наиболее существенные факторы, влияющие на рассматриваемый процесс (рисунок 4.23). Следует отметить, что все обозначенные факторы, уровни и интервалы варьирования которых приведены в таблице 4.32, также характеризуют состояние и изменение параметра производственной среды (клюквенного чека). Так, например, выбор скорости движения МТА (v_a) и частоты вращения режущего барабана (n_6) определяется с учетом густоты стелющихся побегов на чеке и высоты клюквенника, а установка МТА среза побегов (h_c) – зависит от высоты клюквенника. Вышеприведенное означает, что

для выполнения технологического процесса приходится неоднократно (десятки раз за смену) выполнять регулировки высоты среза побегов, частоты вращения режущего барабана, скорости движения МТА, что сказывается на утомляемости оператора МСХТ и, как следствие, возрастании вероятности его травмирования.

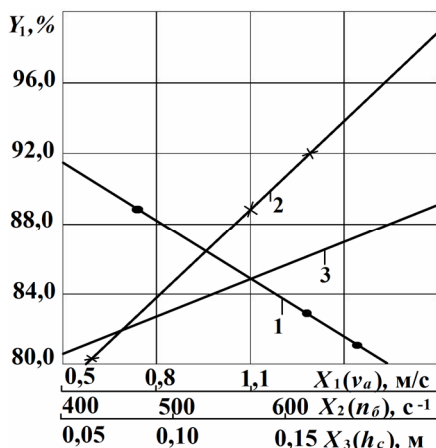


Рис. 4.23. Полнота безопасной обрезки (Y_1) стелющихся побегов клюквенника в зависимости от факторов, изменяющихся под влиянием производственной среды (скорости движения МТА, частоты вращения режущего барабана и высоты среза ножевым барабаном):

1 – скорость движения МТА (v_a); 2 – частота вращения режущего барабана (n_6); 3 – высота среза (h_c) ножевым барабаном стелющихся побегов клюквенника

Моделирование исследуемого процесса выполнялось с помощью многофакторного ортогонализированного уравнения регрессии второго порядка [121]:

$$Y = b_0 + \sum_{r=1}^k b_r X_r + \sum_{\substack{r=1 \\ r < s}}^k b_{rs} X_r X_s + \sum_{r=1}^k b_{rr} (X_r^2 - \lambda_k), \quad (4.60)$$

где $b_0 \dots b_{rr}$ – коэффициенты уравнения регрессии;
 λ_k – ортогонализирующий коэффициент.

Таблица 4.32

Наименование факторов, уровни и интервалы их варьирования для оптимизации технологического процесса поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клоквенника [93]

Наименование факторов	Скорость движения МТА v_a , м/с	Частота вращения режущего барабана n_b , мин ⁻¹	Высота среза растений h_c , м
1	2	3	4
Основной уровень, $X_{r0} = 0$	1,07	545	0,14
Интервал варьирования	0,35	115	0,06
Верхний уровень, $X_r = + 1$	1,42	660	0,20
Нижний уровень $X_r = - 1$	0,72	430	0,08
Верхний «звездный» уровень $X_r = + 1,2154$	1,49	685	0,21
Нижний «звездный» уровень $X_r = - 1,2154$	0,65	405	0,06
Формулы перевода натуральных значений факторов в нормированные и обратно	$X_1 = \frac{x_1 - 1,07}{0,35},$ $x_1 = 1,07 + 0,35X_1$	$X_2 = \frac{x_2 - 545}{115},$ $x_2 = 545 + 115X_2$	$X_3 = \frac{x_3 - 0,14}{0,06},$ $x_3 = 0,14 + 0,06X_3$

Использование уравнения регрессии в такой форме позволяет произвести независимую оценку коэффициентов многофакторного уравнения регрессии и дисперсий их значимости по относительно простым формулам. Для построения уравнения регрессии в формуле (4.60) используем ортогональный центральный композиционный план (ОЦКП), который включает в себя три структурных блока:

- полный факторный эксперимент (ПФЭ) с числом опытов $N_{k0} = 2^k$,

- опыты в «звездных» точках, по 2 опыта на каждый фактор. Общее число опытов в «звездных» точках $2k$, координаты которых в факторном пространстве: $(\pm \alpha_k, 0, \dots, 0)$, $(0, \pm \alpha_k, \dots, 0)$, $(0, 0, \dots, \pm \alpha_k)$, где α_k – «звездное» плечо;

- один опыт в центре плана $(0, \dots, 0)$.

Общее количество опытов ОЦКП равно:

$$N_k = 2^k + 2k + 1. \quad (4.61)$$

Величина звездного плеча α_k и ортогонализирующего коэффициента λ_k рассчитываются по формулам:

$$\alpha_k = \sqrt{\frac{\sqrt{N_k} \cdot N_{k0} - N_{k0}}{2}}, \quad (4.62)$$

$$\lambda_k = \sqrt{\frac{N_{k0}}{N_k}}. \quad (4.63)$$

Для ОЦКП при $k = 3$; $N_{k0} = N_{30} = 8$; $N_k = N_3 = 15$ получаем: $\alpha_3 = 1,2154$; $\lambda_3 = 0,7303$. В таблице 4.33 приведен ОЦКП для построения трехфакторного ортогонализованного уравнения регрессии второго порядка. В этой же таблице приведены суммы квадратов всех факторов, которые потребуются для расчета коэффициентов уравнения регрессии (4.60) и дисперсий их значимости.

В таблице 4.34 приведены опытные данные, полученные в результате проведения эксперимента по плану ОЦКП (см. таблица 4.33). Для повышения статистической достоверности математической модели каждый опыт был выполнен с числом дублей $n = 3$.

Таблица 4.33

Трехфакторный ОЦКП ($k = 3$)

N_3	X_{0j}	X_{1j}	X_{2j}	X_{3j}	$X_{1j}X_{2j}$	$X_{1j}X_{3j}$	$X_{2j}X_{3j}$	$X_{1j}^2 - 0,7303$	$X_{2j}^2 - 0,7303$	$X_{3j}^2 - 0,7303$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	+	—	—	—	+	+	+	0,2697	0,2697	0,2697
2	+	+	—	—	—	—	+	0,2697	0,2697	0,2697
3	+	—	+	—	—	+	—	0,2697	0,2697	0,2697
4	+	+	+	—	+	—	—	0,2697	0,2697	0,2697
5	+	—	—	+	+	—	—	0,2697	0,2697	0,2697
6	+	+	—	+	—	+	—	0,2697	0,2697	0,2697
7	+	—	+	+	—	—	+	0,2697	0,2697	0,2697
8	+	+	+	+	+	+	+	0,2697	0,2697	0,2697
9	+	0	0	0	0	0	0	-0,7303	-0,7303	-0,7303
10	+	-1,2154	0	0	0	0	0	0,7469	-0,7303	-0,7303
11	+	+ 1,2154	0	0	0	0	0	0,7469	-0,7303	-0,7303
12	+	0	-1,2154	0	0	0	0	-0,7303	0,7469	-0,7303
13	+	0	+1,214	0	0	0	0	-0,7303	0,7469	-0,7303
14	+	0	0	-1,2154	0	0	0	-0,7303	-0,7303	0,7469
15	+	0	0	+ 1,2154	0	0	0	-0,7303	-0,7303	0,7469
$\sum_{j=1}^{15} X^2$	15	10,9545	10,9545	10,9545	8	8	8	4,3644	4,3644	4,3644

Таблица 4.34

Результаты эксперимента, выполненного по ОЦКП

N	Y_{1j}	Y_{2j}	Y_{3j}	$\bar{Y}_j$	S_j^2	Y_j^p	$(\bar{Y}_j - Y_j^p)^2$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	88	86	88	87,3	1,33	87,6	0,097
2	80	80	80	80,0	0,00	79,4	0,359
3	93	93	92	92,7	0,33	92,6	0,006
4	84	85	84	84,3	0,33	84,3	0,000
5	92	90	90	90,7	1,33	90,4	0,062
6	83	81	82	82,0	1,00	82,2	0,030
7	93	93	92	92,7	0,33	92,5	0,018
8	85	83	84	84,0	1,00	84,3	0,083

N	Y_{1j}	Y_{2j}	Y_{3j}	$\bar{Y}_j$	S_j^2	Y_j^p	$(\bar{Y}_j - Y_j^p)^2$
9	97	96	96	96,3	0,33	96,4	0,010
10	87	86	86	86,3	0,33	86,4	0,006
11	87	89	87	87,7	1,33	87,9	0,077
12	92	93	92	92,3	0,33	92,2	0,010
13	89	89	88	88,7	0,33	88,9	0,070
14	90	91	91	90,7	0,33	90,6	0,007
15	95	94	94	94,3	0,33	94,1	0,075
$\sum_{j=1}^{15} S_j^2 = 9,00$						$\varphi = \sum_{j=1}^{15} (\bar{Y}_j - Y_j^p) = 0,911$	

В этой же таблице (4.34) приведены также рассчитанные по уравнениям значения средних $\bar{Y}_j$ и дисперсий S_j^2 в каждом опыте:

$$\bar{Y}_j = \frac{\sum_{i=1}^n Y_{ji}}{n}, \quad S_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{ji} - \bar{Y}_j)^2}{n-1}. \quad (4.64)$$

Дисперсии всех опытов в данном эксперименте с доверительной вероятностью 95 % однородны, так как экспериментальное значение критерия Кохрена меньше критического значения $G_3 < G_{n-1, N, 0,95}$:

$$G_3 = \frac{\max S_j^2}{\sum_{j=1}^N S_j^2} = \frac{1,33}{9,00} = 0,148, \quad G_{2; 15; 0,95} = 0,0335. \quad (4.65)$$

Так как дисперсии всех опытов однородны, то дисперсия воспроизводимости рассчитывается по формуле

$$S_{\text{воспр}}^2 = \frac{\sum_{j=1}^N S_j^2}{N} = \frac{9,00}{15} = 0,600,$$

$$f_{\text{воспр}} = N(n-1)=30. \quad (4.66)$$

Коэффициенты ортогонализированного уравнения регрессии (4.60) дисперсии их значимости рассчитаны по формулам [121]:

$$b_0 = \frac{\sum_{j=1}^{N_k} X_{0j} \overline{Y_j}}{\sum_{j=1}^{N_k} X_{0j}^2}; \quad b_1 = \frac{\sum_{j=1}^{N_k} X_{rj} \overline{Y_j}}{\sum_{j=1}^{N_k} X_{rj}^2}, \quad r = 1, \dots, k; \quad (4.67)$$

$$b_{rs} = \frac{\sum_{j=1}^{N_k} (X_{rj} X_{sj}) \overline{Y_j}}{\sum_{j=1}^{N_k} (X_{rj} X_{sj})^2}, \quad r = 1, \dots, k-1; s = 2, \dots, k; \quad (4.68)$$

$$b_{rr} = \frac{\sum_{j=1}^{N_k} (X_{rj}^2 - \lambda_k) \overline{Y_j}}{\sum_{j=1}^{N_k} (X_{rj}^2 - \lambda_k)^2}, \quad r = 1, \dots, k; \quad (4.69)$$

$$S^2(b_o) = \frac{S_{\text{воспр}}^2}{n \sum_{j=1}^{N_k} X_{oj}^2}; \quad S^2(b_r) = \frac{S_{\text{воспр}}^2}{n \sum_{j=1}^{N_k} X_{rj}^2}; \quad r = 1, \dots, k; \quad (4.70)$$

$$S^2(b_{rs}) = \frac{S_{\text{воспр}}^2}{n \sum_{\substack{j=1 \\ r < s}}^{N_k} (X_{rj} X_{sj})^2}; \quad r = 1, \dots, k-1; s = 2, \dots, k; r = 1, \dots, k; \quad (4.71)$$

$$S^2(b_{rr}) = \frac{S_{\text{воспр}}^2}{n \sum_{\substack{j=1 \\ r < s}}^{N_k} (X_{rj}^2 \lambda_k)^2}. \quad (4.72)$$

Доверительные интервалы регрессионных коэффициентов рассчитаны по формуле

$$\Delta b = t_{N_k(n-1), p} \cdot S(b), \quad (4.73)$$

где $t_{N_k(n-1), 0,95}$ – критическое значение критерия Стьюдента при числе степеней свободы $f_{\text{воспр}} = N(n-1)$ и доверительной вероятности 95 %, $t_{30, 0,95} = 2,042$.

Коэффициент уравнения регрессии (4.60) с доверительной вероятностью 95 % считался значимым, если выполнялось следующее неравенство:

$$\Delta b < |b|. \quad (4.74)$$

В таблице 4.35 приведены рассчитанные коэффициенты уравнения регрессии (4.60), дисперсии их значимости, а также доверительные интервалы регрессионных коэффициентов.

Таблица 4.35

Результаты обработки эксперимента методами математической статистики

b	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
	88,67	-4,12	1,77	0,68	-0,13	-0,21	-0,71	-1,78	-2,69	-2,91
$S^2(b)$	0,013	0,018	0,018	0,018	0,025	0,025	0,025	0,046	0,046	0,046
$S(b)$	0,115	0,135	0,135	0,135	0,158	0,158	0,158	0,214	0,214	0,214
Δb	0,24	0,28	0,28	0,28	0,32	0,32	0,32	0,44	0,44	0,44
Значимость	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Анализ результатов обработки экспериментальных данных показал, что регрессионные коэффициенты b_{12} и b_{13} незначимы и поэтому искомое уравнение регрессии имеет следующий вид [93]:

$$Y_1 = 88,67 - 4,12X_1 + 1,77X_2 + 0,68X_3 - 0,71X_2X_3 - 1,78(X_1^2 - 0,73)^2 - 2,69(X_2^2 - 0,73)^2 - 2,91(X_3^2 - 0,73)^2. \quad (4.75)$$

Дисперсия адекватности, используя данные таблиц 4.33 и 4.34, рассчитывалась по формуле:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{n\varphi}{N_k - B} = \frac{3 \cdot 0,911}{15 - 8} = 0,390, \quad f = N - B = 15 - 8 = 7, \quad (4.76)$$

где $\varphi = \sum (\bar{Y}_j - Y_j^P)^2$ – остаточная сумма квадратов (см. таблицу 4.34);

Y_j^P – значение параметра Y_1 , рассчитанное по ортогонализованному уравнению регрессии второго порядка (4.60) (см. таблицу 4.34);

B – число значимых коэффициентов многофакторного уравнения регрессии второго порядка ($B = 8$; см. таблицу 4.35).

Полученное уравнение регрессии с доверительной вероятностью 95 % адекватно, так как экспериментальное значение критерия Фишера меньше критического значения $F_9 < F_{Nk(n-1); N-B; 0,95}$:

$$F_9 = \frac{S_{\text{воспр}}^2}{S_{\text{ад}}^2} = \frac{0,600}{0,390} = 1,538, \quad \text{так как } S_{\text{воспр}}^2 > S_{\text{ад}}^2;$$

$$F_{30; 7; 0,95} = 3,376. \quad (4.77)$$

Так как все регрессионные коэффициенты при квадратичных членах меньше нуля, то уравнение регрессии (4.75) имеет абсолютный

максимум. Приравнявая частные производные параметра Y_1 к нулю, найдем оптимальные значения факторов X_1, X_2, X_3 , при которых $Y_1 = Y_{1\max} = 96,7 \%$:

$$X_{1\text{опт}} = -1,174; X_{2\text{опт}} = 0,340; X_{3\text{опт}} = 0,117. \quad (4.78)$$

Перевод нормированных оптимальных значений факторов в натуральные по формулам, приведенным в таблице 4.30, дает следующие результаты [93]:

$$x_{1\text{опт}} = v_{a\text{опт}} = 0,66 \text{ м/с}; x_{2\text{опт}} = n_{\text{опт}} = 584 \text{ мин}^{-1}; x_{3\text{опт}} = h_{\text{опт}} = 0,14 \text{ м}. \quad (4.79)$$

Абсолютная погрешность параметра $Y_1 (X_1, \dots, X_k)$, рассчитанного по ортогонализированному многофакторному уравнению регрессии второго порядка (4.60), определяется по формуле [93]

$$\Delta Y_1 = t_{N_k(n-1), N-B, 0,95} \sqrt{S^2(b_0) + S^2(b_1) \sum_{r=1}^k X_r^2 + S^2(b_{12}) \sum_{\substack{r=1 \\ r < s}}^k (X_r X_s)^2 + S^2(b_{11}) \sum_{r=1}^k (X_r^2 - \lambda_k)^2}. \quad (4.80)$$

Подставляя в уравнение (4.80) данные уравнений (4.73), (4.78) и таблицы 4.35, получаем, что предельная абсолютная погрешность $Y_{1\max}$ по данным проведенного эксперимента равна $\Delta Y_{1\max} = 0,7 \%$. Таким образом, полученное выражение (4.75) позволяет найти не только оптимальные значения факторов, при которых достигается максимальное значение полноты безопасной обрезки стелющихся побегов клюквенника, но и абсолютную погрешность этой величины: $Y_{1\max} = (96,7 \pm 0,7) \%$.

Для выбора безопасных режимов механизированного поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника с учетом изменения параметра состояния производственной среды разработана номограмма (рисунок 4.24). Так, например, чтобы достичь усовершенствованным техническим средством ((рисунок 4.24) 88 % полноты безопасной и качественной (Π_k) обрезки на чеке

стелющихся побегов клюквенника (Π_r), при среднем значении их длины на чеке ($L_{с.п.}$) 0,6 м и высоте клюквенника (h_c) 0,12 м, необходимо, чтобы скорость (v_a) движения машинно-тракторного агрегата была 0,78 м/с, частота вращения режущего барабана (n_o) – 550 мин⁻¹.

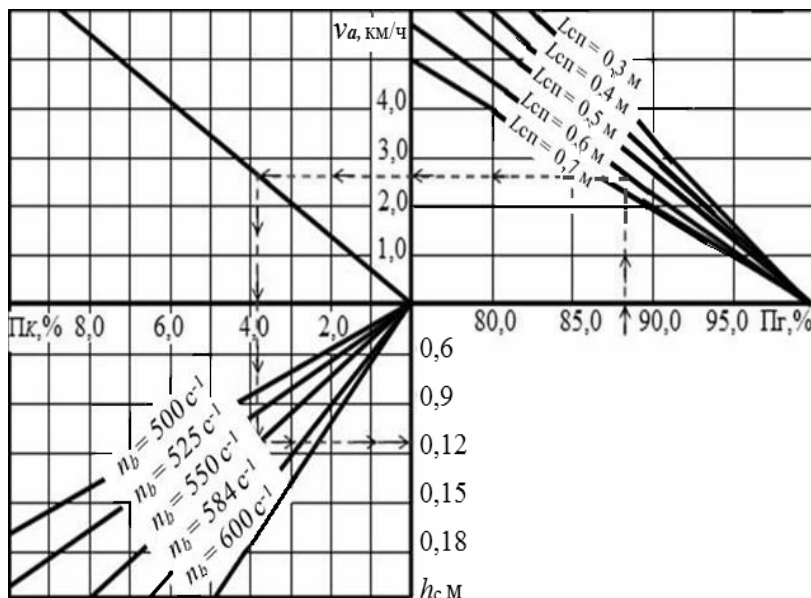


Рис. 4.24. Номограмма для выбора безопасных режимов механизированного поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника с учетом изменяющегося параметра состояния производственной среды

Изменение состояния активной безопасности при эксплуатации технического средства рассмотрим на примере механизированного ухода за клюквенным покровом промышленных чеков (поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника). Следует отметить, что скорость движения технического средства в составе машинно-тракторного агрегата можно рассматривать как возмущающий входной параметр (рисунок 4.25), влияющий на уровень активной безопасности технического средства при обеспечении требуемой производительности и качества выполнения технологического процесса.

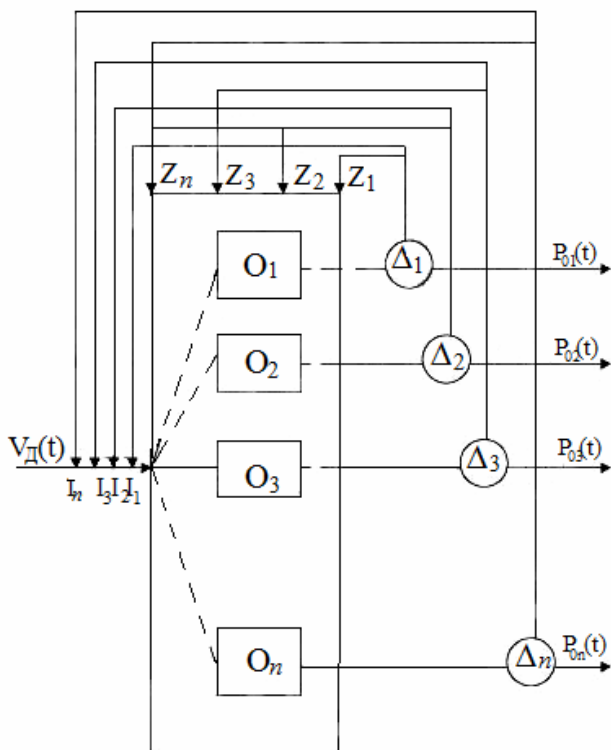


Рис. 4.25. Параметры активной безопасности технического средства при его эксплуатации:

$V_{Д}(t)$ – скорость технического средства;

$P_{01}(t) \dots P_{0n}(t)$ – вероятность безопасного выполнения регулировочного воздействия на техническое средство при нахождении операторов $O_1 \dots O_n$ в опасной зоне срабатывания предохранительного устройства;

$\Delta_1 \dots \Delta_n$ – оптимальные допуски на отклонение параметров технологических воздействий (регулировок) от настроечных;

$I_1 \dots I_n; Z_1 \dots Z_n$ – обратные связи, характеризующие управление активной безопасностью при эксплуатации технического средства с целью соблюдения оптимальных допусков на отклонения параметров $P_{01} \dots P_{0n}$ от настроечных регулировок.

Выходные параметры – $P_{01}(t), P_{02}(t), P_{03}(t), \dots, P_{0n}(t)$, с учетом показателей обратных связей, оцениваются вероятностно-статистическими характеристиками случайной последовательности дискретных значений P_{0i} [210]

$$P_{01i} = \frac{t_{01i}}{(T_{\text{см}} - \sum_{i=1}^m t_{01i})}, \quad (4.81)$$

$$P_{02i} = \frac{t_{02i}}{(T_{\text{см}} - \sum_{i=1}^m t_{02i})},$$

$$P_{03i} = \frac{t_{03i}}{(T_{\text{см}} - \sum_{i=1}^m t_{03i})},$$

$$P_{0ni} = \frac{t_{0ni}}{(T_{\text{см}} - \sum_{i=1}^m t_{0ni})},$$

где $T_{\text{см}}$ – время рабочей смены, ч;

t_{0ni} – продолжительность выполнения оператором технического средства i -й технологической регулировки, ч;

m – количество технологических регулировок.

Следует также отметить, что обратные связи $I_1 \dots I_n, Z_1 \dots Z_n$ активной безопасности технического средства (см. рисунок 4.25) зависят от:

– параметров технологического процесса, выполняемого техническим средством при соблюдении эксплуатационных допусков $\Delta_{13} \dots \Delta_{0n3}$;

– повышения эффективности методов и технических средств охраны труда от соблюдения исполнительных допусков $\Delta_{1н} \dots \Delta_{нн}$.

Операторы технического средства ($O_1 \dots O_n$) в контексте рассматриваемой системы (см. рисунок 4.25) при выполнении регулировочных воздействий в опасных зонах технического средства представляют собой рейтинги безопасности или амплитудно-частотные характеристики активной безопасности $[R_{\sigma 1}(\omega)]^2 \dots [R_{\sigma n}(\omega)]^2$ [210]. В случае нормального распределения ординат процессов $V_d(t)$ и $P_{01}(t) \dots P_{0n}(t)$, а также принадлежности их к классу стационарных и линейности модели, для управления активной без-

опасностью технического средства предлагается использовать метод идентификации, основанный на анализе свойств динамической системы, характеризующихся соотношением спектральных плотностей процессов на входе и выходе:

$$\left\{ \begin{array}{l} r_{\sigma_1}(i\omega) = \frac{S_{P0_1, V_d}(\omega)}{S_{P0_1}(\omega)}, \\ r_{\sigma_2}(i\omega) = \frac{S_{P0_2, V_d}(\omega)}{S_{P0_2}(\omega)}, \\ r_{\sigma_3}(i\omega) = \frac{S_{P0_3, V_d}(\omega)}{S_{P0_3}(\omega)}, \\ \dots\dots\dots, \\ r_{\sigma_n}(i\omega) = \frac{S_{P0_n, V_d}(\omega)}{S_{P0_n}(\omega)}; \end{array} \right. \quad (4.82)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} [R_{\sigma_1}(\omega)]^2 = \frac{S_{P0_1}(\omega)}{S_{V_d}(\omega)}, \\ [R_{\sigma_2}(\omega)]^2 = \frac{S_{P0_2}(\omega)}{S_{V_d}(\omega)}, \\ [R_{\sigma_3}(\omega)]^2 = \frac{S_{P0_3}(\omega)}{S_{V_d}(\omega)}, \\ \dots\dots\dots, \\ [R_{\sigma_n}(\omega)]^2 = \frac{S_{P0_n}(\omega)}{S_{V_d}(\omega)}, \end{array} \right. \quad (4.83)$$

где $r_{\sigma 1}(\omega)$, $r_{\sigma 2}(\omega)$, $r_{\sigma 3}(\omega)$, ..., $r_{\sigma n}(\omega)$ – частотные характеристики активной безопасности технического средства при настроечных регулировках, предусмотренных для предохранительных устройств ($i = 1; 2; 3, \dots, n$);

$[R_{\sigma 1}(\omega)]^2$, $[R_{\sigma 2}(\omega)]^2$, $[R_{\sigma 3}(\omega)]^2$, ..., $[R_{\sigma n}(\omega)]^2$ – амплитудно-частотные характеристики активной безопасности технического средства при выполнении оперативных регулировок предохранительных устройств ($i = 1; 2; 3, \dots, n$);

$S_{V_d}(\omega)$, $S_{P_{01}}(\omega)$, $S_{P_{02}}(\omega)$, $S_{P_{03}}(\omega)$, ..., $S_{P_{0n}}(\omega)$ – спектральные плотности процессов $V_d(t)$ и $P_{01}(t) - P_{0n}(t)$ выполнения технологических регулировок предохранительных устройств ($i = 1; 2; 3, \dots, n$);

$S_{P_{01}V_d}(\omega)$, $S_{P_{02}V_d}(\omega)$, $S_{P_{03}V_d}(\omega)$, ..., $S_{P_{0n}V_d}(\omega)$ – взаимные спектральные плотности процессов $V_d(t)$ и $P_{01}(t) \dots P_{0n}(t)$ при технологических регулировках соответствующих предохранительных устройств ($i = 1; 2; 3, \dots, n$).

Согласно выражению (4.83) амплитудно-частотные характеристики $[R_{\sigma 1}(\omega)]^2 \dots [R_{\sigma n}(\omega)]^2$ могут быть аппроксимированы выражениями вида

$$\left\{ \begin{array}{l} [R_{\sigma_1}(\omega)]^2 = \frac{(a_1 \omega^2 + I_1) K_1^2}{C_{I_1} \omega^4 + C_{Z_1} \omega^2 + I_1}, \\ [R_{\sigma_2}(\omega)]^2 = \frac{(a_2 \omega^2 + I_2) K_2^2}{C_{I_2} \omega^4 + C_{Z_2} \omega^2 + I_2}, \\ [R_{\sigma_3}(\omega)]^2 = \frac{(a_3 \omega^2 + I_3) K_3^2}{C_{I_3} \omega^4 + C_{Z_3} \omega^2 + I_3}, \\ \dots\dots\dots, \\ [R_{\sigma_n}(\omega)]^2 = \frac{(a_n \omega^2 + I_n) K_n^2}{C_{I_n} \omega^4 + C_{Z_n} \omega^2 + I_n}; \end{array} \right. \quad (4.84)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} [R_{\sigma_1}(\omega)]^2 = \frac{(d_{I_1} \omega^4 + d_{z_1} \omega^2 I_1) K_1^2}{C_{0_1} \omega^6 + C_{I_1} \omega^4 + C_{z_1} \omega^2 + I_1}, \\ [R_{\sigma_2}(\omega)]^2 = \frac{(d_{I_2} \omega^4 + d_{z_2} \omega^2 I_2) K_2^2}{C_{0_2} \omega^6 + C_{I_2} \omega^4 + C_{z_2} \omega^2 + I_2}, \\ [R_{\sigma_3}(\omega)]^2 = \frac{(d_{I_3} \omega^4 + d_{z_3} \omega^2 I_3) K_3^2}{C_{0_3} \omega^6 + C_{I_3} \omega^4 + C_{z_3} \omega^2 + I_3}, \\ \dots\dots\dots, \\ [R_{\sigma_n}(\omega)]^2 = \frac{(d_{I_n} \omega^4 + d_{z_n} \omega^2 I_n) K_n^2}{C_{0_n} \omega^6 + C_{I_n} \omega^4 + C_{z_n} \omega^2 + I_n}, \end{array} \right. \quad (4.85)$$

которым соответствуют передаточные функции:

$$\left\{ \begin{array}{l} O_1(S) = K_1^2 \frac{\tau_{z_1} S + I_1}{T_{z_1}^2 S^2 + T_{z_1} S + I_1}, \\ O_2(S) = K_2^2 \frac{\tau_{z_2} S + I_2}{T_{z_2}^2 S^2 + T_{z_2} S + I_2}, \\ O_3(S) = K_3^2 \frac{\tau_{z_3} S + I_3}{T_{z_3}^2 S^2 + T_{z_3} S + I_3}, \\ \dots\dots\dots, \\ O_n(S) = K_n^2 \frac{\tau_{z_n} S + I_n}{T_{z_n}^2 S^2 + T_{z_n} S + I_n}, \end{array} \right. \quad (4.86)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} O_1(S) = K_1^2 \frac{\tau_{I_1}^2 S^2 + \tau_{z_1} S + I_1}{T_{I_1}^3 S^2 + T_{z_1}^2 S^2 + T_{z_1} S + I_1}, \\ O_2(S) = K_2^2 \frac{\tau_{I_2}^2 S^2 + \tau_{z_2} S + I_2}{T_{I_2}^3 S^2 + T_{z_2}^2 S^2 + T_{z_2} S + I_2}, \\ O_3(S) = K_3^2 \frac{\tau_{I_3}^2 S^2 + \tau_{z_3} S + I_3}{T_{I_3}^3 S^2 + T_{z_3}^2 S^2 + T_{z_3} S + I_3}, \\ \dots\dots\dots, \\ O_n(S) = K_n^2 \frac{\tau_{I_n}^2 S^2 + \tau_{z_n} S + I_n}{T_{I_n}^3 S^2 + T_{z_n}^2 S^2 + T_{z_n} S + I_n}, \end{array} \right. \quad (4.87)$$

где $a_1 \dots a_n$; $d_{I_1} \dots d_{I_n}$; C_{z_1, I_1} , $I_1 \dots C_{z_n, I_n}$, $T_{z_1, I_1} \dots T_{z_n, I_n}$ и $\tau_{z_1, I_1} \dots \tau_{z_n, I_n}$ - коэффициенты, устанавливаемые в зависимости от факторов, влияющих на активную безопасность технического средства при его эксплуатации;

K_n^2 - коэффициент усиления влияния n -го фактора на активную безопасность технического средства при его эксплуатации.

На основании результатов поисковых исследований установлено, что важнейшим фактором влияющим на безопасность эксплуатации технического средства для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника является требуемая регулировка его предохранительной муфты. Затягивание предохранительной муфты до полного схождения витков ее пружины соответствует состоянию отсутствия муфты на техническом средстве, так как вся силовая цепь от вала приема мощности до срабатывания

муфты продолжает работать. В этом случае возможна ситуация деформации элементов рабочего органа технического средства – сдвоенных зубьев (технологический отказ). Это происходит при контакте зубьев с посторонними предметами на чеке, попадающими с его откосов и дамб в результате технологического отвода воды, используемой в зимний период для затопления плантации и послыного вмораживания растений в лед, с чека в водоем-накопитель. Если предохранительная муфта затянута слабо, то она срабатывает неоправданно часто, что снижает производительность механизированных работ по уходу за клюквенным чеком.

Рациональной регулировкой предохранительного устройства считается такая, при которой время ее выполнения ($t_{on\ i}$) при нахождении оператора технического средства в опасных зонах будет минимальным ($t_{on\ i} \rightarrow \min$). При этом зависимость $P(t) = f(n, t)$ достигается за счет сокращения количества технологических регулировок (m) и времени их выполнения (t) при неизменном их количестве. В связи со случайным характером распределения технологических регулировок по отдельным исполнительным органам технического средства, а также вероятностью их выполнения в опасных зонах при его эксплуатации, оптимальное количество технологических регулировок по условию максимальной безопасности оператора технического средства, обосновывается исходя из вероятностно-статистических характеристик процессов $P_{01}(t) \dots P_{0n}(t)$, которые в свою очередь зависят от вероятностно-статистических характеристик процесса $V_d(t)$ и амплитудно-частотных характеристик $[R_{\sigma 1}(\omega)]^2 \dots [R_{\sigma n}(\omega)]^2$ активной безопасности технического средства. Стратегия оптимизации этих характеристик определяется исходя из физического смысла функции спектральных плотностей $S_{P_{01}}(\omega) \dots S_{P_{0n}}(\omega)$ процессов $P_{01}(t) \dots P_{0n}(t)$, что позволяет определить преобладающий спектр $\omega_{01} \dots \omega_{0n}$ колебаний параметра и соответствующую ему дисперсию процесса. Исходя из логической сущности этих процессов, параметры $\omega_{01} \dots \omega_{0n}$ характеризуют преобладающую частоту технологических регулировок, а $D_{01} \dots D_{0n}$ – длительность их сохранения.

На безопасность механизированного ухода за промышленными чеками, и, в частности, на потери раствора пестицида при опрыскивании клюквенных посадок для защиты от болезни, грызунов и возможного его попадания на работающих существенно влияет скорость ветра в момент выполнения технологической операции.

Так, при скорости ветра около 3 м/с количество сносимого распыленного препарата может достигать 50 % [5]. Кроме того, величина сноса капель (потери) раствора пестицида зависит от расхода рабочей жидкости и конструктивных особенностей применяемых технических средств (ширины захвата, высоты установки рабочего органа относительно обрабатываемой поверхности).

Исследования влияния вышеуказанных факторов на потери раствора пестицида проводились на стенде СИ-4-1 для селективной подборки распылителей, разработанном в Научно-практическом центре НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства [179], дооборудованном вентиляционной установкой. Изучались количественные показатели сноса капель жидкости, истекающей через распылители, в зависимости от изменения скорости потока воздуха, массы выливания жидкости и высоты ее падения на поверхность. Регулятором давления варьировали расход жидкости (q_{Π}) через щелевые распылители в диапазоне 0,8...1,5 л/мин. Скорость потока воздуха ($v_{\text{в}}$), подаваемого вентиляционной установкой в область факела распыла, изменяли в пределах 0,5...3,0 м/с. Высоту падения капель жидкости (h_{Π}) на поверхность регулировали от 0,4 до 0,6 м путем установки рамы над поверхностью поддона. Такой диапазон установки (h_{Π}) объясняется тем, что при стандартном расположении распылителей на штанге опрыскивателя, а это 0,5 м, и высоте ее установки над обрабатываемой поверхностью менее 0,4 м начинается перекрытие факела распыла рабочей жидкости, что недопустимо. При h_{Π} более 0,6 м, а также типичных метеоусловий для производственной среды при промышленном выращивании клюквы происходит снос капель раствора пестицида (агрохимиката), вносимого для защиты клюквенника от болезней и вредителей [5; 209]. Исследовалось также влияние конструктивных особенностей распылителей (щелевых и центробежных), при фиксированном значении расхода жидкости q_{Π} , скорости потока воздуха $v_{\text{в}}$ и высоте h_{Π} , на снос капель. При изменении h_{Π} замеряли (при $v_{\text{в}} = 0$) угол факела распыла жидкости. Процент сноса капель (Π_{Π}) определяли из выражения

$$\Pi_{\Pi} = \frac{M_2 \cdot 100}{M_1 + M_2}, \quad (4.88)$$

где M_1 и M_2 – масса жидкости соответственно в первой и второй емкостях, г.

Замеры проводились на распылителях, установленных на стенде. Определялась зависимость сноса капель жидкости: от изменения расхода через распылители, скорости потока воздуха, воздействующего на факел распыла, и высоты падения капель на поверхность. Что же касается влияния на качество работы типа распылителя, то следует отметить, что при заданных исходных показателях (q_{Π} , $v_{\text{в}}$; h_{Π}) величина сноса капель жидкости через анализируемые распылители практически не отличалась, что и послужило основанием не рассматривать влияние этого фактора в дальнейших исследованиях. При исследовании показателей q_{Π} , $v_{\text{в}}$, h_{Π} установлено, что если расход жидкости через распылители составляет 1,35...1,5 л/мин (при $v_{\text{в}} = \text{const} = 2$ м/с; $h_{\Pi} = \text{const} = 0,5$ м), снос капель изменяется незначительно. В этом случае величина Π_{Π} находилась в пределах 18 %...20 % (рисунок 4.26). В то же время при изменении $v_{\text{в}}$ от 1 до 3 м/с значительная часть жидкости сносится за пределы установленной поверхности. С учетом требований к качеству выращиваемой продукции, параметров производственной среды (клюквенных чеков), за критерий оптимизации процесса опрыскивания растений была принята минимизация потерь пестицида в результате сноса потоком воздуха капель используемого раствора. Уровни и кодовые значения факторов приведены в табл. 4.36.

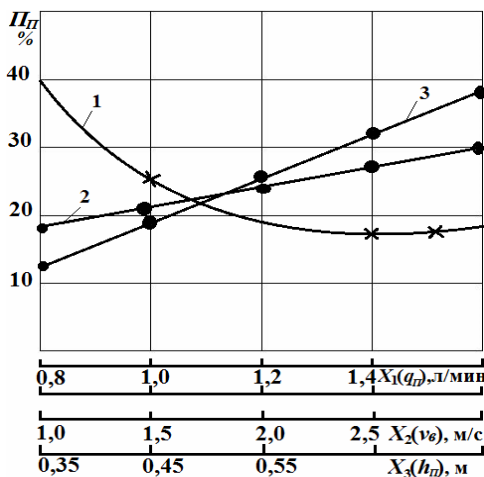


Рис. 4.26. Зависимость сноса капель жидкости (Π_{Π}) от факторов q_{Π} , $v_{\text{в}}$ и h_{Π} :
 1 – от расхода жидкости через распылители (q_{Π}); 2 – скорости потока воздуха ($v_{\text{в}}$);
 3 – высоты падения капель (h_{Π})

Таблица 4.36

Уровни и интервалы варьирования факторов

Обозначения факторов	X_1^p	X_2^c	X_3^n
Варьируемый фактор	q_{II}	h_n	v_e
Единица измерения	л/мин	м	м/с
Обозначения факторов	X_1	X_2	X_3
Основной уровень ($x=0$)	1,15	0,5	2,0
Интервал варьирования	0,175	0,1	1,0
Нижний уровень ($x=-1$)	0,8	0,4	1,0
Верхний уровень ($x=1$)	1,5	0,6	3,0

Областью возможных значений варьируемых переменных (факторов) является куб, т. е. в нормированном (приведенном) масштабе изменения переменных выполняется условие [121]:

$$-1 \leq x \leq 1. \quad (4.89)$$

В выражении (4.89) предельные (минимальные и максимальные) значения нормируемых факторов обозначены -1 и 1 . Переход к обычному масштабу может быть осуществлен по формулам:

$$a_i x_i = \frac{a_i}{\varepsilon_i} x_i - \frac{a_i}{\varepsilon_i} x_{0_i}; \quad (4.90)$$

$$a_{ij} x_i x_j = \frac{a_{ij}}{\varepsilon_i \varepsilon_j} (x_i x_j - x_i x_{0_j} - x_{0_i} x_j + x_{0_i} x_{0_j}); \quad (4.91)$$

$$a_{ii} x_i^2 = \frac{a_{ii}}{\varepsilon_i^2} (x_i^2 - 2x_i x_{0_i} + x_{0_i}^2). \quad (4.92)$$

где x_i, x_j – именованная величина в размерности фактора;

x_{0_j}, x_{0_j} – натуральное значение фактора при нулевом уровне;

$\varepsilon_i, \varepsilon_j$ – натуральное значение интервала варьирования фактора.

В опытах реализован полный факторный эксперимент типа 2^3 , матрица планирования которого представлена в таблице 4.37. Варьирование факторов проводилось, исходя из реального состояния производственной среды в пределах агроэкологических требований на опрыскивание агрохимикатом посадок клюквенника. В таблице 4.38 приведены результаты параллельных опытов. Кроме экспериментов в ядре плана также включены центральные точки с координатами $x_i = 0$, что в обычном масштабе соответствуют значениям:

$$x_i = (x_{\max} + x_{\min}) / 2. \quad (4.93)$$

Таблица 4.37

Матрица планирования эксперимента

Номер опыта	Планирование			Расчет					
	x_1	x_2	x_3	$x_1 \cdot x_2$	$x_1 \cdot x_3$	$x_2 \cdot x_3$	x_1^2	x_2^2	x_3^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1
4	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1
6	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1
7	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	-1,215	0	0	0	0	0	1,476	0	0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	1,215	0	0	0	0	0	1,476	0	0
11	0	-1,215	0	0	0	0	0	1,476	0
12	0	1,215	0	0	0	1	0	1,476	0

Номер опыта	Планирование			Расчет					
	x_1	x_2	x_3	$x_1 \cdot x_2$	$x_1 \cdot x_3$	$x_2 \cdot x_3$	x_1^2	x_2^2	x_3^2
13	0	0	-1,215	0	0	0	0	0	1,476
14	0	0	1,215	0	0	0	0	0	1,476
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 4.38

Выходные значения сноса капель раствора пестицида
при опрыскивании клюквенных чехов

Номер опыта	Планирование			Опытные данные			Среднее значение
	x_1	x_2	x_3	Y_1	Y_2	Y_3	$\bar{Y}$
1	-1	-1	-1	15	16	15	15,3
2	1	-1	-1	13	13	14	13,3
3	-1	1	-1	17	16	16	16,3
4	1	1	-1	15	15	14	14,7
5	-1	-1	1	42	41	42	41,7
6	1	-1	1	37	39	38	38,0
7	-1	1	1	42	43	41	42,0
8	1	1	1	39	40	40	39,6
9	-1,215	0	0	30	32	34	32,0
10	1,215	0	0	27	25	27	26,3
11	0	-1,215	0	28	26	27	27,0
12	0	1,215	0	30	28	28	28,7
13	0	0	-1,215	19	20	19	19,3
14	0	0	1,215	47	46	47	46,7
15	0	0	0	24	24	25	24,3

Необходимо отметить, что дополнительные эксперименты проведены в «звездных» точках, т. е. в вершинах трехмерного аналога октаэдра. Увеличение объема экспериментального материала повышает точность аппроксимации реального процесса регрессионной формулой. Координаты звездных точек имеют вид $(\pm a_n, 0, 0)$, $(0, \pm a_n, 0)$, $(0, 0, \pm a_n)$, где a_n – длина звездного плеча [121], рассчитываемого по формуле

$$a_n^2 = \frac{-N_o + \sqrt{N_o \cdot N_k}}{2}, \quad (4.94)$$

где N_o – число опытов в эксперименте ($N_o = 2^k$);
 K – число факторов;
 N_k – общее число опытов в эксперименте.

$$N_k = 2^k + 2 \cdot K + n_o, \quad (4.95)$$

где n_o – количество опытов в центре плана.

$$N_k = 2^k + 2 \cdot 3 + 1 = 15.$$

$$\text{Тогда } a_n^2 = \frac{-8 + \sqrt{8 \cdot 15}}{2} = 1,476; \quad a = \pm 1,215.$$

Модель изучаемого процесса имеет следующий вид:

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^3 a_i \cdot x_i + \sum_{i=1}^3 \cdot \sum_{j=i}^3 a_{ij} x_i x_j. \quad (4.96)$$

Введем обозначения: m – число повторностей (параллельных наблюдений в каждой точке); $L = \frac{(K+1) \cdot (K+2)}{2}$ – количество оцениваемых параметров. Тогда, для поставленной задачи $L = \frac{(3+1) \cdot (3+2)}{2} = 10$.

С учетом вышеприведенного модель анализируемого процесса примет вид:

$$Y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_1^2 + a_5 x_2^2 + a_6 x_3^2 + \\ + a_7 x_1 \cdot x_2 + a_8 x_1 \cdot x_3 + a_9 x_2 \cdot x_3. \quad (4.97)$$

Результаты параллельных опытов по определению сноса капель пестицида приведены в таблице 4.38. Гипотезу об однородности

построчных выборочных дисперсий проверяли по критерию Кохрена [22]:

$$\Phi_{\text{эксп.}} = \frac{S^2 \{Y_u\}}{\sum_{u=1}^N S^2 \{Y_u\}} < \Phi_q(t_m, N) = 0,3116,$$

где $S^2 \{Y_u\}$ – построчные выборочные дисперсии:

$$S^2 \{Y_u\} = \frac{1}{m-1} \cdot \sum_{s=1}^N (\bar{Y}_u - \tilde{Y}_{us})^2,$$

$\bar{Y}$ – среднее арифметическое i -го результата опыта;

$\tilde{Y}_{us}$ – значение функции отклика в параллельных опытах;

$\Phi_q(f_n, N)$ – табличное значение критерия Кохрена при уровне значимости q [22];

f_n – число степеней свободы для выборочных дисперсий;

N – объем выборки.

Осреднив выборочные дисперсии, вычислили дисперсию воспроизводимости $S^2 \{Y\}$ (при $f_2 = N(m-1) = 15 \cdot (3-1) = 30$, дисперсию среднего значения $S^2 \{Y\}$ и дисперсию коэффициентов регрессии $S^2 \{a_j\}$.

Величина доверительного интервала

$$D_{a_j} = \pm S \{a_j\} \cdot t_q(f_2) = 0,8973,$$

где $t_q(f_2)$ – табулированное значение критерия Стьюдента [22] при доверительной вероятности 95 % и числе степеней свободы $f_2 = 30$.

Полученное $t_q(f_2)$ показывает, что вычисленные значения коэффициентов регрессии ($a_0 = 28,2885$; $a_1 = -1,3591$; $a_3 = 12,2212$;

$a_5 = -1,6555$; $a_6 = 2,4218$) значимы (выполняется условие $|a_j| > \Delta a_j$). В этом случае уравнение регрессии, описывающее процесс, имеет следующий вид:

$$Y = \Pi_{\Pi} = 28,3 - 1,4 x_1 + 12,2 x_3 - 1,6 x_2^2 + 2,4 x_3^2. \quad (4.98)$$

Адекватность полученного выражения (4.98) опытными данными проверяли по F -критерию:

$$F_{\text{расч.}} \langle F_q(f_1, f_2),$$

где $F_{\text{расч.}} = \frac{S_{ag}^2}{S^2\{Y\}}$ – расчетное значение F – критерия Фишера;

S_{ag}^2 – дисперсия адекватности, характеризующая отклонение опытных точек от найденных по уравнению регрессии;

$S^2\{Y\}$ – дисперсия воспроизводимости;

$F_q(f_1, f_2)$ – табулированное значение F – критерия Фишера [22] при выбранном уровне значимости $q = 5\%$ и числах степеней свободы f_1 и f_2 ($F_q = F_{0,05}(5; 30) = 2,5335$);

$$F_{\text{расч.}} = F_{0,05}(5; 30) = 2,0308.$$

Так как расчетное значение ($F_{\text{расч.}}$) оказалось меньше табличного (F_q), то гипотеза об адекватности полученной математической модели (4.98) принимается. Определены оптимальные значения изучаемых факторов в приведенном масштабе: ($x_1=0,005$; $x_2=0,6199$; $x_3=2,8037$), анализ которых показал, что скорость ветра влияет на потери пестицида более существенно, нежели другие рассматриваемые факторы ($2,8037 > 0,6199 > 0,005$).

Для получения функции отклика в зависимости от натуральных значений факторов получена зависимость потерь (Π_{Π}) – сноса капель раствора пестицида от условий его применения [54]:

$$\Pi_{\Pi} = -190h_{\Pi}^2 + 2,4v_{\text{в}}^2 - 8q_{\Pi} + 160h_{\Pi} + 9,8v_{\text{в}} - 17,3. \quad (4.99)$$

Полученное выражение (4.99) позволяет минимизировать производственный риск путем выбора безопасного режима обработки посадок клюквенных чеков ($v_v = 1,05$ м/с; $q_{\Pi} = 1,15$ л/мин; $h_{\Pi} = 0,55$ м) с учетом минимизации нерегламентированных потерь рабочего раствора пестицида и соблюдения регламента работ.

В четвертой главе проанализированы результаты полученных теретических и экспериментальных исследований: обоснованы потенциально опасные зоны при проведении регулировочных воздействий и устранении эксплуатационных отказов различных технических средств (для уборки кормовых и зерновых культур, корнеклубнеплодов, обработки почвы и посевов и др.); зависимость безопасности труда от оперативности выполнения оператором управленческих воздействий при устранении эксплуатационных отказов кормоуборочного комбайна, травмоопасности при восстановлении его работоспособности и показателя отклонения опасных и вредных производственных факторов на рабочем месте оператора от гигиенических нормативов; разработана математическая модель механизированного ухода за клюквенным покровом промышленных чеков, с учетом показателя приспособленности технического средства для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника к безопасному выполнению технологического процесса в условиях изменения параметра состояния производственной среды, в зависимости от режимов технологического процесса (скорости движения технического средства, частоты вращения режущего барабана, высоты среза стелющихся побегов клюквенника), что позволяет определить значения этих показателей для обеспечения максимальной полноты безопасной обрезки растительности; обоснованы режимы опрыскивания растений на чеках (расход жидкости через распылители, высота распыла, скорость потока воздуха), обеспечивающие при соблюдении регламента и качества выполнения работ минимальные потери раствора пестицида.

5 ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

5.1 Технические решения для повышения производственной, экологической и пожарной безопасности, улучшения условий труда при эксплуатации технических средств для сельскохозяйственного производства

Объективными предпосылками травматизма и несчастных случаев на производстве являются взаимодействие человека с высокопроизводительным оборудованием, эксплуатирующимся при больших силовых нагрузках, давлениях, высоких скоростях, температурах, уровне шума и вибрации. Ряд травм происходит из-за того, что какие-либо механизмы, используемые в технологических процессах, не имеют инженерно-технических средств защиты [11]. Кроме того, оператор МСХТ практически весь рабочий день находится в кабине самоходной сельскохозяйственной техники или трактора, при этом на него воздействуют как вредные факторы производственной среды, так и производственные опасности, в т. ч. импульсного действия, которые при определенных обстоятельствах становятся источником травм и профессиональной заболеваемости. Если вредный производственный фактор воздействует на организм оператора независимо от его квалификации, стажа работы и возраста, то опасный фактор, присутствуя при эксплуатации МСХТ постоянно, может реализоваться в травму только при определенных условиях.

Для исключения возможности травмирования операторов МСХТ, защиты от влияния опасных и вредных факторов производственной среды (шума, вибрации, запыленности, загазованности, теплового воздействия и др.), повышения безопасности функционирования системы «оператор–машина–среда» необходимо постоянно улучшать условия и повышать безопасность труда. Важнейшее место отводится совершенствованию конструкции кабины МСХТ – своеобразной защитной оболочки вокруг рабочего места оператора, содержащей ряд устройств для нормализации

поступающего воздуха, для защиты от шума, вибрации и для создания необходимых условий труда [181].

При эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники загрязняет пол кабины и сам оператор МСХТ, поскольку периодически выходит из кабины и обслуживает техническое средство. Как следствие, от его обуви и одежды заносится пыль, которая оседает на пол кабины. При включенном вентиляторе, который установлен в потолочной части кабины, воздушный поток поднимает пыль, повышается ее концентрация. При остановке трактора и вентилятора-пылеотделителя пылевые частицы под действием силы тяжести оседают на полу кабины. Предлагается постелить в кабине на полу синтетический или тканевый материал, через который пройдут пылевые частицы и который, уменьшая сквозной проход воздуха, одновременно обеспечивает достаточное избыточное давление в кабине на полу. С включением двигателя под действием вибрации частицы пыли выносятся наружу и снижается концентрация пыли. При низких температурах (в осенне-зимний период) наружная панель пола кабины поворачивается вокруг шарнира, тем самым закрываются сквозные отверстия в наиболее глубоких точках выемок и устраняется возможность вытекания через них теплого воздуха [1].

Для снижения запыленности на рабочем месте оператора МСХТ рекомендуется оборудовать пол кабины технического средства (рисунок 5.1) эластичными пробками, например, из резины [182].

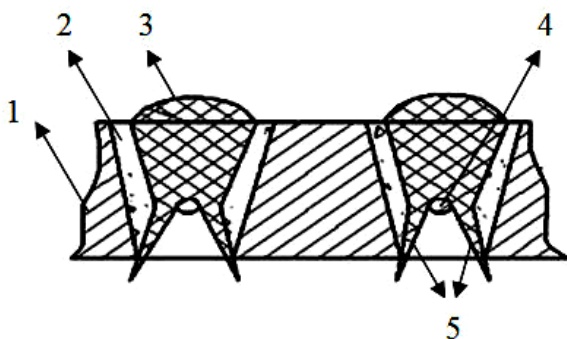


Рис. 5.1. Самоочищающийся пол кабины технического средства [182]:
1 – полкабины; 2 – пыль, мелкие частицы почвы и др.; 3 – пробки эластичные;
4 – стержень; 5 – пластины боковые нижние

Пыль и мелкие частицы почвы накапливаются в зазорах между наклонными стенками щелей пола и пробками. Под действием массы оператора МСХТ (см. рисунок 5.1) верхние части пробок деформируются вниз в направлении стержня. При этом упругие боковые нижние пластины сближаются друг с другом, открывая щели, через которые накопившаяся пыль высыпается за пределы кабины. Расположение щелей в направлении, перпендикулярном движению МСХТ, позволяет при перемещении оператора по кабине воздействовать его обувью на максимальное количество пробок и препятствует перемещению расположенных на полу кабины предметов под действием инерционных нагрузок во время разгона и торможения технического средства [182].

Для уменьшения передачи вибраций с основания МСХТ на сиденье предлагается конструкция подвески, представленная на рисунке 5.2. Во время движения МСХТ ее основание колеблется от толчков, возникающих из-за неровностей грунтового покрытия. Уменьшение передачи вибраций с основания на каркас сиденья может достигаться за счет упругого элемента в виде листовых рессор и демпфирующих свойств резиновых амортизаторов, а также сил трения стержней нажимных штанг о внутреннюю цилиндрическую поверхность отверстий амортизаторов при их деформации. Демпфирование низкочастотных колебаний осуществляет подпружиненный гаситель колебаний, а дополнительная пружина разгружает листовые рессоры и увеличивает скорость демпфирования, чем обеспечивается в целом высокая степень гашения колебаний.

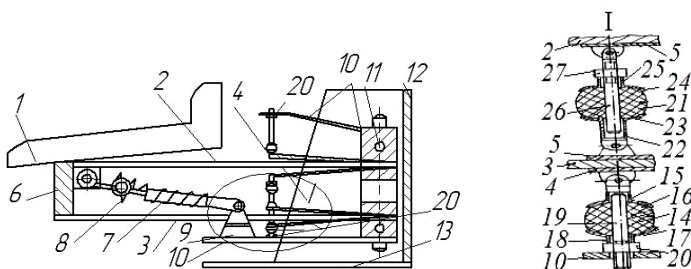


Рис. 5.2. Подвеска сиденья МСХТ [211]:

- 1 – подушка; 2, 3 – рессоры; 4, 5 – ограничители; 6 – планка;
 7 – гаситель колебаний; 8, 14, 21 – элемент упругий; 9 – серьга; 10 – каретка;
 11 – штырь; 12 – каркас; 13 – кронштейн; 15, 18, 22, 25 – труба;
 16, 23 – чашка опорная; 17, 24 – чашка нажимная; 19, 26 – стержень; 20, 27 – гайка

Для повышения эффективности виброизоляции, демпфирующих свойств вибрационной системы сиденья, увеличения возможности противодействия ее резонансным явлениям предлагается конструкция сиденья (рисунок 5.3), содержащая механизм стабилизации крена, состоящий из кареток и тросов, на котором крепится подушка сиденья [212]. Параллелограммный механизм связывает подушку с упругим элементом, причем его горизонтальные оси расположены в опорах качения. Упругий элемент выполнен в виде набора тарельчатых пружин, соединенных между собой посредством наружных и внутренних опорно-дистанционных колец, имеющих профиль «тавр» и общую с упругим элементом вертикальную ось симметрии. Каждое наружное опорно-дистанционное кольцо выполнено в виде полого цилиндра, к середине внутренней стенки симметрично горизонтальной плоскости симметрии которого крепится горизонтальная полка в виде плоского кольца. Внутреннее опорно-дистанционное кольцо выполнено в виде полого цилиндра, к середине внешней стенки симметрично горизонтальной плоскости симметрии которого крепится горизонтальная полка в виде плоского кольца, причем наружный диаметр тарельчатых пружин попарно увеличивается, а их толщина попарно уменьшается от вершины к основанию упругого элемента. Внутри тарельчатого упругого элемента проходит регулировочный винт с навинченной на него сверху прижимной гайкой; ось их симметрии совпадает с вертикальной осью симметрии упругого элемента. Внутренние стенки полых цилиндров наружных опорно-дистанционных колец имеют примыкающие к нижним и верхним плоскостям их горизонтальных полок, имеющих форму плоских колец, кольцевые выемки в виде полых цилиндров с расположенными в них по всему их объему упругими резиновыми кольцами. Толщина S верхней тарельчатой пружины каждой пары одного наружного диаметра меньше толщины нижней тарельчатой пружины этой пары, а высота H выемок с расположенными в них упругими резиновыми кольцами [11]

$$H = (1,8-2,0)S, \quad (5.1)$$

где S – толщина тарельчатой пружины, сопряженной с упругим резиновым кольцом.

Ширина B проходящих через вертикальную ось симметрии сечений упругих резиновых колец определяется из выражения

$$B = (0,8-1,0)H. \quad (5.2)$$

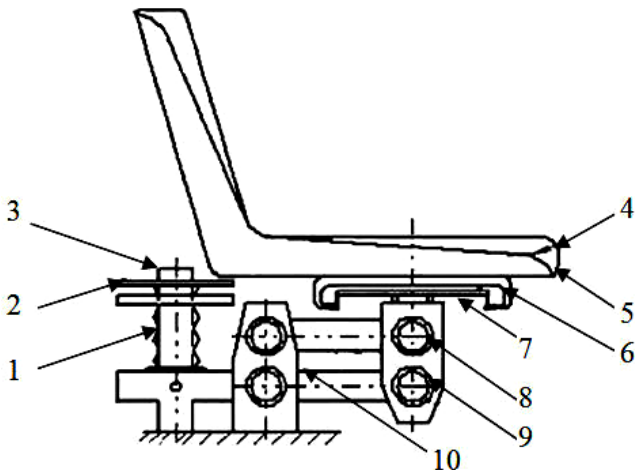


Рис. 5.3. Сиденье мобильного технического средства [212]:

1 – элемент упругий; 2 – гайка прижимная; 3 – винт регулировочный; 4 – подушка; 5 – каретка; 6 – трос; 7 – механизм стабилизации крена; 8 – ось горизонтальная; 9 – опора качения; 10 – механизм параллелограммный

Вертикальные вибрации, передаваемые на сиденье оператора, гасятся упругим элементом, а горизонтальные – тросовыми элементами в механизме стабилизации крена. Демпфирование колебаний в системе осуществляется за счет упругих деформаций и внутреннего трения резиновых колец вследствие увеличения горизонтальных размеров тарельчатых пружин. Так как толщина S верхней тарельчатой пружины каждой пары одного наружного диаметра меньше толщины нижней тарельчатой пружины этой пары, то это в два раза увеличивает типоразмеры задействованных в упругом элементе тарельчатых пружин, что, в свою очередь, увеличивает возможность противодействия виброзащитной системы резонансным явлениям. Жесткость упругого элемента изменяется в зависимости от веса оператора с помощью регулировочного винта и прижимной гайки [212].

С целью повышения безопасности оператора МСХТ в аварийных ситуациях предлагается конструкция сиденья, представленная на рисунке 5.4. При аварийных ударах мобильного средства (спереди и сбоку) оператора страхуют подушки безопасности. В случае удара сзади передняя скоба вместе со штоком перемещается и сжимает амортизатор, обеспечивая за счет его упругой деформации снижение ударной нагрузки на оператора. Удобное с точки зрения комфорта положение оператора на сиденье устанавливается вращением маховика [213].

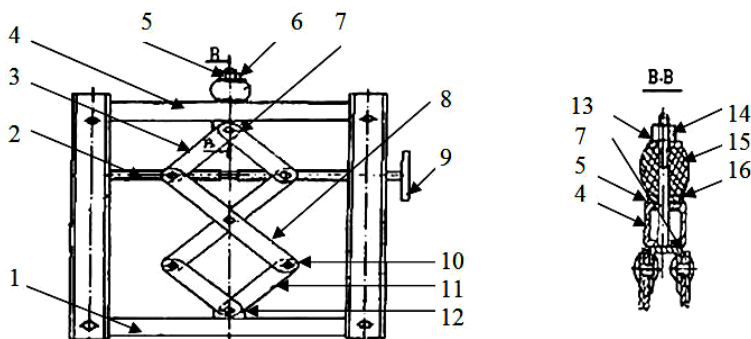


Рис. 5.4. Устройство безопасного сиденья МСХТ [213]:

- 1 – салазки; 2 – винт ходовой; 3, 8, 11 – рычаги; 4 – основание сиденья;
5 – шток; 6, 14 – гайка; 7, 12 – скобы; 9 – маховик; 10 – шарнир;
13, 16 – прокладки; 15 – амортизатор резиновый

Для нормализации шумового режима на рабочих местах оператора МСХТ предлагается кабина, содержащая станину из двухслойного остекления [185]: внутреннего и внешнего стекол, между которыми размещена упорная рама. Через нижнюю и верхнюю части рамы проходят туго натянутые струны, на которых жестко закреплены жалюзи, выполненные в виде желобов, поверхности которых перфорированы перпендикулярными их плоскостям сквозными отверстиями. В углублениях (лотках) желобов размещен слой синтетического волокна, например, из полихлорвинила. Внешние и внутренние стекла соединены между собой герметичной мастикой. Жалюзи размещены с возможностью пересечения мысленно проведенных линий, соединяющих верхние кромки желобов, с точкой расположения глаз водителя. Это необходимо для

сохранения максимальной просматриваемой площади за кабиной технического средства. Перфорационные отверстия, занимающие от 20 % до 30 % площади дна каждого желоба, содержат упругие цилиндрические вставки из пористой резины, позволяющие поглощать широкий спектр шумовых частот [185].

Для повышения герметичности, теплоизоляционных и звукоизоляционных свойств кабины, уменьшения проникновения вибраций во внутреннее ее пространство рекомендуется устройство [183], приведенное на рисунке 5.5. Узлы уплотнения устройства посредством чередующихся пластин образуют подвижное соединение, представляющее собой клапанную систему, способствующую снижению проникновения пыли, шума и вибрационных воздействий в кабину технического средства. Гофрированная манжета и нижний диск дополнительно повышают теплоизоляционные и звукоизоляционные свойства кабины, защищают эластичные резиновые части уплотнения от воздействия брызг, паров машинного масла и других агрессивных сред.

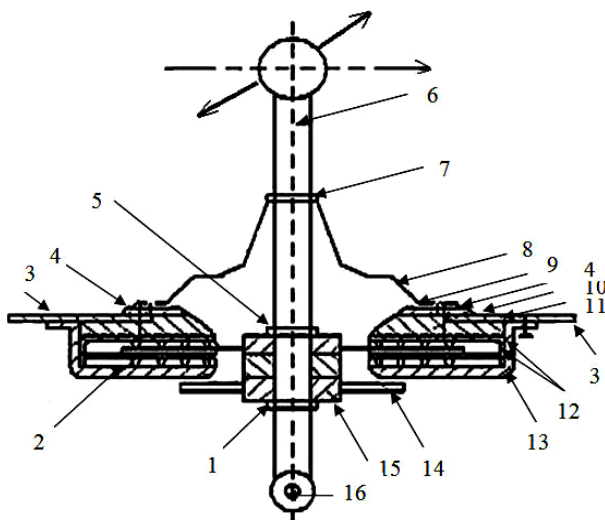


Рис. 5.5. Устройство для герметизации кабины [183]:

- 1, 5 – кольца пружинные; 2 – шип упругий; 3 – пол кабины; 4, 9 – винты;
 6 – рычаг управления; 7 – пружина кольцевая; 8 – манжета гофрированная;
 10, 11, 14 – диски; 12 – вставка; 13 – диск кольцевой; 15 – ступица;
 16 – шарнир шаровой

Для улучшения условий труда оператора МСХТ рекомендуется сиденье-кондиционер, способствующее обеспечению комфортных условий работы [214]. Предлагаемое техническое устройство включает кресло с полкой накидкой, воздухоудовку, вихревую камеру; нагревающее устройство и компрессионные, нагнетательные, подвижные и сбросные трубки, которые могут соединяться попарно с компрессионными трубками холодного или горячего воздуха через соответствующие подвижные трубки и переключатели. Переключатели холодного и горячего стояков идентичные по конструкции, однако работают в зеркальном режиме: если в холодное время переключатель горячего стояка выпускает под накидку теплый воздух, переключатель холодного стояка выпускает холодный воздух на сброс. И, наоборот, в холодное время холодный стояк с помощью своего переключателя выпускает под накидку холодный воздух, а теплый воздух горячего стояка при помощи его переключателя уходит на сброс.

Весь процесс происходит в автоматическом режиме. Переключатель представляет собой цилиндрический корпус, внутри которого размещен поршень. Его цилиндрическая полость снизу соединена с подвижной трубкой управляющего устройства, а сверху – в крайних положениях поршня с нагнетательной или со сбросной трубками. Поршень внутри цилиндра перемещается с помощью подвижных трубок, которые, в свою очередь, получают движение от штоков термоактивного элемента. Устройство работает следующим образом (рисунок 5.6). Воздухоудовка засасывает наружный воздух и подает его в вихревую камеру, где он разделяется на два потока: холодный и горячий. Во время жаркой погоды элемент развертывается, управляющее устройство принимает минимальную длину, перемещая конец подвижной трубки влево, на соединение с трубкой, через полость поршня переключателя. Холодный воздух поступает внутрь, одновременно конец подвижной трубки перемещается вправо, на соединение с трубкой сброса, при этом через полость поршня переключателя горячий воздух уходит в атмосферу. Во время холодной погоды элемент свертывается, управляющее устройство принимает максимальную длину, перемещая конец подвижной трубки влево, на соединение с трубкой, через переключатель. Горячий воздух поступает внутрь накидки, одновременно конец подвижной трубки перемещается вправо, на

соединение с трубкой сброса, через переключатель холодный воздух уходит в атмосферу. При изменении температуры воздуха в кабине МСХТ управляющее устройство автоматически изменяет направление потоков холодного и горячего воздуха, обеспечивая оптимальную температуру [214].

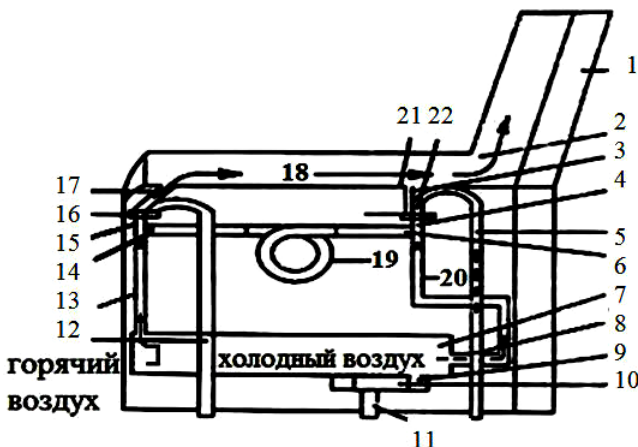


Рис. 5.6. Сиденье-кондиционер [214]:

- 1 – кресло; 2 – накидка полая; 3, 4, 5, 13, 15, 17, 20 – трубки; 6, 14 – штоки;
7, 12 – камера вихревая; 8 – цилиндр; 9 – патрубок; 10 – воздуходувка;
11 – фильтр воздушный; 16, 18 – переключатели; 19 – элемент термоактивный;
21 – полость цилиндрическая; 22 – поршень

Для снижения теплового воздействия на работоспособность оператора МСХТ предлагается инженерно-техническое решение, принцип работы которого заключается в том, что из дефлектора в патрубок с помощью штатной системы вентиляции в кабину МСХТ подается теплый воздух. Он проходит через увлажненную раствором душицы или эфирных масел хвои пористую верхнюю половину внутренней полости прямого полого цилиндра (рисунок 5.7). Поворачивая цилиндр вокруг оси симметрии, можно оперативно поддерживать требуемую степень увлажнения воздуха производственной среды. Эфирные масла хвои (или душицы), которые наполняют воздух внутри кабины аэрозолями, оказывают благотворное влияние на организм оператора МСХТ, способствуют повышению производительности труда, снятию усталости и улучшению настроения.

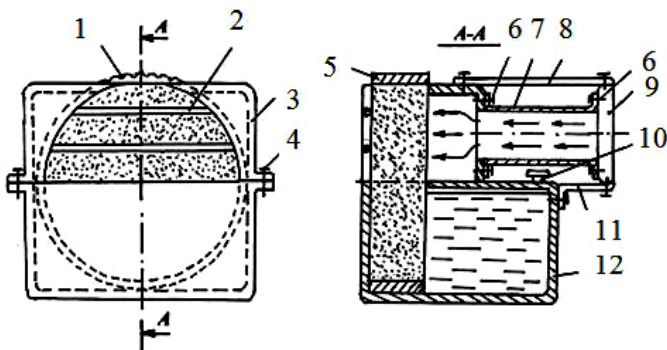


Рис. 5.7. Устройство для увлажнения воздуха производственной среды в кабине МСХТ [215]:
 1 – рифление; 2, 3 – стенка корпуса нижняя; 4, 6 – винты;
 5 – цилиндр полый; 6 – винты; 7 – патрубок; 8, 11 – крепления;
 9 – дефлектор; 10 – крышка горловины; 12 – стенка корпуса верхняя

Известно, что устройства искусственного микроклимата МСХТ должны отвечать требованиям простоты их конструкции и невысокой стоимости изготовления [216]. Кроме того, эти устройства должны обеспечивать расчетные условия при постоянно меняющихся режимах работы мобильной сельскохозяйственной техники, в различное время дня и периоды года [217]. Так, в условиях повышенной запыленности, при отсутствии (или неисправности) системы вентиляции в кабине МСХТ, запыленность воздуха в кабине МСХТ может значительно превышать требуемое нормативное значение (ПДК воздуха рабочей зоны) [218]. Частичное же снижение запыленности воздуха в кабине МСХТ достигается за счет естественной вентиляции и ведет к увеличению скорости движения воздуха и накоплению в ней пыли.

Так, при движении МСХТ в направлении против ветра запыленность воздуха зоны дыхания в кабине МСХТ бывает максимальной, при движении по ветру – наоборот. Для очистки приточного воздуха от пыли и вредных веществ в кабине МСХТ предлагается устройство (рисунок 5.8), в котором корпус с тангенциальным выводом для чистого воздуха. Сверху от корпуса осевой ввод выполнен для загрязненного воздуха в виде трубы, соединенный с контактным элементом, включающим брызгоотражатель и резиновый сильфон [219]. Брызгоотражатель выполнен в виде фартука

выпуклой формы. Внутренняя же боковая поверхность сопла имеет угол 45° , а в качестве поступающей орошающей жидкости используется раствор эфирных масел хвой. Когда уровень входа жидкости в каналы выше, то обеспечивается длительный период эффективной работы устройства на ограниченном объеме орошающей жидкости. При этом эфирные масла хвой наполняют воздух внутри кабины МСХТ мельчайшими частицами, несущими электрический заряд (аэрозолями), оказывающими благотворное влияние на организм оператора, снимают состояние утомления и усталости, что способствует повышению производительности труда.

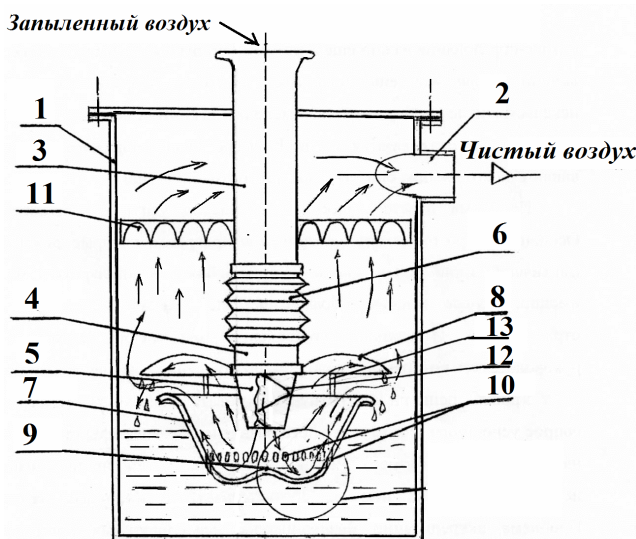


Рис. 5.8. Устройство для очистки воздуха от пыли и вредных веществ в кабинах МСХТ [219]:

- 1 – корпус; 2 – тангенциальный вывод; 3 – осевой ввод; 4 – патрубок;
5 – сопло; 6 – сильфон; 7 – коническая емкость; 8 – брызгоотражатель; 9 – дно;
10 – канал перфорации; 11 – кассета фильтра; 12 – спираль; 13 – стержень

Для снижения негативного влияния пыли на организм оператора МСХТ предлагается техническое решение в виде антибликовой пылезащитной накладки на приборную панель технического средства (рисунок 5.9). Основа накладки представляет собой слой полимера, армированный тканью. В качестве полимера можно

использовать силикон, полиуретан, акрил. Форма этой наклейки соответствует форме поверхности приборной панели в кабине, а ее верхний антибликовый слой выполнен из волокон флюка на полимерной основе (полиамид (нейлон) или вискоза), которые, в свою очередь, армированы тканью на шерстяной основе. Этот слой представляет собой хаотично расположенные волокна, имеющие разную толщину (0,5–5,0 мкм), расстояние между ними составляет примерно 0,5–50,0 мкм [1].

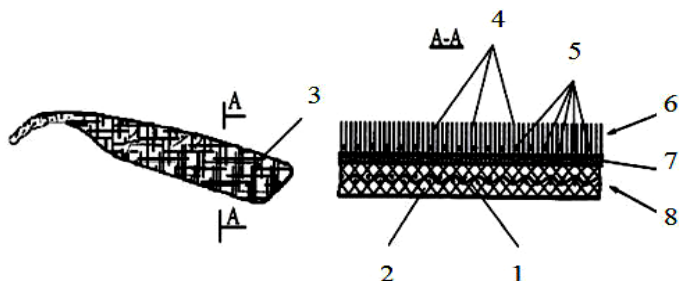


Рис. 5.9. Пылезащитная антибликовая наклейка [220]:

- 1 – ткань армированная; 2, 5 – слои полимерные;
3 – наклейка пылезащитная антибликовая; 4 – волокна флюка;
6 – слой антибликовый; 7 – клей; 8 – основа полимерная

Антибликовый пылезащитный слой из полиамидного флюка наносится на предварительно отформованную полимерную основу способом электрофлюкирования. Полимерная основа армирована тканью из синтетических волокон. В нижней части наклейки установлена оголенная медная нить толщиной 0,5–0,7 мм. Расстояние между соседними частями медной нити составляет 8–10 мм. По краям наклейки в точках наибольшей кривизны медная нить закреплена скобами. Между нитью и скобами во всех направлениях существуют зазоры размером 1–2 мм. В расправленном горизонтальном виде медная нить уложена на полимерной основе в виде общей синусоиды. Когда полимерная основа копирует форму приборной панели, то и закрепленная на ней с помощью скоб медная нить тоже соответствующим образом изгибается, копируя форму панели. В результате вибрации при работе МСХТ в верхнем слое наклейки возникают колебания, что приводит к трению между волокнами ткани и оголенной медной нитью (рисунок 5.10), создавая

статическое поле, состоящее из волн, пронизывающих все внутреннее пространство кабины, которые, в свою очередь, вызывают эффект подталкивания и притягивания пыли к наэлектризованным медным нитям.

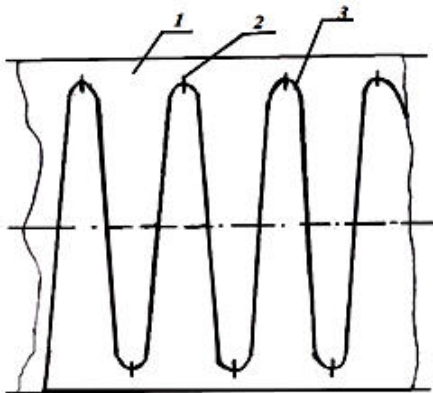


Рис. 5.10. Расположение медной нити в антибликовой пылезащитной накладке для приборной панели МСХТ [220]:

1 – накладка; 2 – скобы медные; 3 – нить медная

Осаждение пылинок происходит в результате малейшего прикосновения ее к медным нитям, расположенным поперек воздушного потока смеси воздуха и пыли. Накладка может быть достаточно легко демонтирована для очистки от накопившейся пыли или мойки.

Для защиты оператора в кабине МСХТ от пыли и насекомых предлагается москитная сетка [221], состоящая из пластиковой рамки, в которой натянута сетка. Вверху рамки имеется ручка. Сетка выполнена двойной, состоящей из наружного и внутреннего полотен, образующих внутреннюю полость в форме клина (рисунок 5.11), верхний угол которого прикреплен к верхней поверхности рамки, а в нижней части рамки расстояние между наружным и внутренним полотнами равно 10–12 мм. В нижней части клиновой полости между полотнами сетки поверх нижней поверхности рамки установлена с возможностью замены полоса войлока высотой 8–10 мм, пропитанная эфирным маслом лемонграсса; в наружном полотне имеются отверстия продолговатой формы 0,15 мм по высоте и 0,8 мм

по ширине, а во внутреннем полотне – отверстия продолговатой формы размером 0,8 мм по высоте и 0,15 мм по ширине. На нижней поверхности рамки закреплена, например с помощью клея полоса резинового уплотнителя с канавкой в виде равнобоочной трапеции для расположения в ней верхней части стекла двери МСХТ. Во время движения на МСХТ с помощью ручки сверху вставляется пластиковая рамка с выполненной двойной из наружного и внутреннего полотен москитной сеткой в оконный проем автомобильной или тракторной двери. Для плотного прилегания москитной сетки приподнимается стекло двери МСХТ, которое упирается в полосу резинового уплотнителя с канавкой в виде равнобоочной трапеции для расположения в ней с целью фиксации верхней части стекла двери МСХТ. При этом не остается зазоров для проникновения различных насекомых, пыли и пуха.

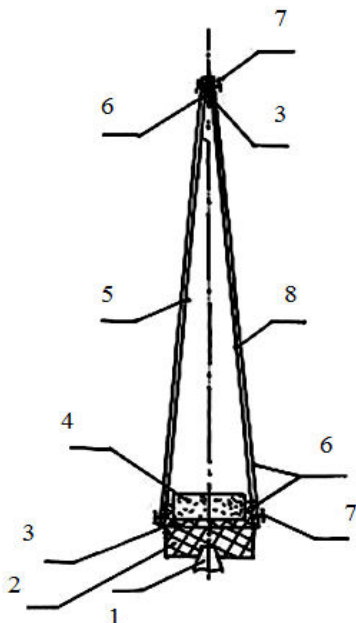


Рис. 5.11. Москитная сетка для трактора или автомобиля [221]:

- 1 – верхняя часть стекла двери кабины;
 2 – полоса резинового уплотнителя с канавкой; 3 – рамка пластиковая;
 4 – полоса войлока; 5 – полотно наружное; 6 – прокладка; 7 – винт;
 8 – полотно внутреннее

Москитная сетка изготовлена на основе полимера, поэтому ячейки со временем не растягиваются. Она не затеняет световой проем, препятствует попаданию в кабину МСХТ пуха и пыли, что особенно важно для людей, страдающих различными аллергическими заболеваниями. Москитная сетка не уменьшает видимость и не препятствует проникновению свежего воздуха. Сеточное ее полотно проходит обработку специальными веществами, в результате чего приобретает устойчивость к выгоранию и не поддается деформации [221].

Клиноватая полость между наружным и внутренним полотнами москитной сетки служит для поглощения шумовых звуковых волн, отраженных внутренними поверхностями наружного и внутреннего ее полотен, а расположение в них противоположно ориентированных отверстий продолговатой формы препятствует возникновению резонансных звуковых явлений. Распространяющийся по кабине МСХТ запах масла лемонграсса отпугивает насекомых, улучшает настроение и физическое состояние оператора МСХТ, способствует устранению слабости в конечностях, головокружения, сенсомоторных расстройств, помогает справиться с подавленностью и эмоциональной усталостью во время рабочей смены [221].

Водитель транспортного средства (ТС) является основным звеном системы «водитель–дорога–среда». Основную информацию водитель получает путем наблюдения за дорожной обстановкой. Большой объем и характер информации, которая постоянно меняется, например при интенсивном движении, не дают возможности своевременно и точно ее воспринять и обработать, а соответственно, и принять правильное решение.

По статистическим данным, около 30 % всех дорожно-транспортных происшествий (ДТП) происходит в результате неожиданного съезда ТС за пределы проезжей части с последующим опрокидыванием, наездом на препятствия при совершении маневра путем доворачивания рулевого колеса вправо или влево на необходимый угол поворота из-за потери управляемости [1]. Значительное уменьшение тяжести последствий от происшествий, связанных с потерей управляемости ТС, можно обеспечить и путем повышения пассивной безопасности при его управлении (рисунок 5.12).

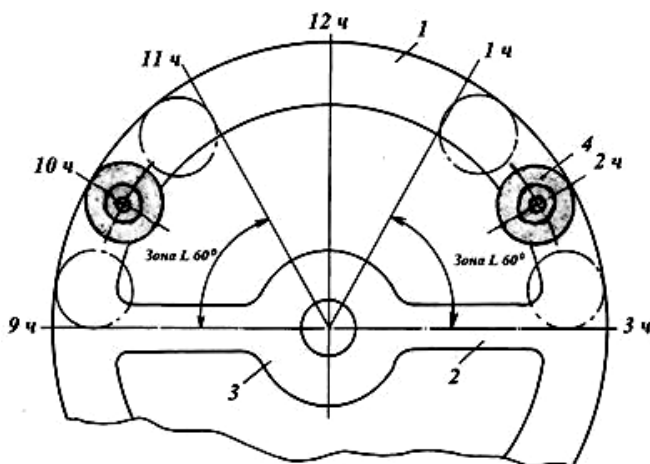


Рис. 5.12. Безопасное рулевое колесо ТС [222]:
1 – обод; 2 – спицы; 3 – ступица; 4 – дополнительный элемент

Предлагаемое рулевое колесо содержит обод, спицы, ступицу, два дополнительных элемента в виде конусообразных фигур на ободе с возможностью их поворота вокруг оси соосно рулевой колонке колеса и расположением в зонах часового циферблата от одного до трех часов и от девяти до одиннадцати часов при исходном положении рулевого колеса. Конусообразные фигуры двух дополнительных элементов управления выполнены из мягкой резины в виде полого усеченного прямого кругового конуса [222]. При необходимости совершить вращение рулевого колеса на большой угол поворота влево или вправо производится доворот рулевого колеса углублением ладони с помощью специального элемента, имеющего вращение соосно рулевой колонке. При этом ладонь водителя перекрывает верхнее отверстие полости конусообразной фигуры, что позволяет сохранить ее объемные контуры. Такая конструкция рулевого колеса ТС с элементами управления, имеющими незначительное возвышение на рулевом колесе, обеспечивает возможность надежно управлять ТС двумя руками, а при совершении маневров без отрыва руки от рулевого колеса – доворачивать вправо рулевое колесо левой рукой, а влево – правой. В случае возникновения аварийной ситуации в виде экстренного торможения или столкновения ТС при соприкосновении участков тела водителя

с конусообразными фигурами последние легко деформируются благодаря их материалу из мягкой резины и наличию внутренней полости. Воздух из этой полости беспрепятственно будет выходить через верхнее отверстие, что позволяет предотвратить травмирование водителя элементами рулевого колеса.

При выполнении оператором ТС работ имеют место «скачки» – переход от устойчивого состояния его нервной системы к неустойчивому (стрессу), то есть потере контроля над собой, что сказывается на безопасности труда [223]. Для недопущения таких случаев огромное значение отводится организации режима труда и отдыха с учетом подготовленности и физического состояния работника. Сигналом организму о необходимости прекратить или снизить интенсивность работы служит показатель усталости оператора [11]. Так, усталый мышечный аппарат, например глаз, уже не обеспечивает четкого пространственного восприятия, и оператор может уснуть за рулем. Для недопущения такой ситуации были проанализированы результаты ранее проведенных исследований и предложена конструкция универсального устройства для повышения работоспособности и внимательности оператора за рулем ТС [224]. Техническое решение основано на использовании диафрагм со сквозными отверстиями в качестве очков-тренажеров и сменных прозрачных и затемненных линз соответствующих диоптрий. Пользователь (оператор ТС) индивидуально перемещает диафрагмы или линзы с целью регулировки расстояния между носовыми упорами, межцентрового расстояния, а также регулирует длину дужек за счет перемещения заушин. Это способствует использованию предлагаемого технического устройства для операторов ТС различного возраста и комплекции. Регулярное применение диафрагм со сквозными отверстиями по 30–40 мин в день снимает излишнее напряжение глазных мышц из-за постоянной их зажатости. Также предлагаемое техническое решение позволяет через сквозные отверстия трубки, покрытые снаружи слоем наполнителя из пористого материала, подавать с возможностью дозирования к носу оператора ТС пары раствора душицы или эфирных масел хвои, способствующие повышению работоспособности оператора, снятию состояния его утомления и усталости [224]. Для улучшения условий труда при управлении ТС, предупреждения засыпания оператора может использоваться техническое устройство (рисунок 5.13),

надеваемое на ухо и содержащее последовательно соединенные источник питания, выключатель, генератор звукового сигнала и датчик угла наклона с регулятором исходного положения [225]. При управлении ТС, когда оператор держит голову прямо, металлический шар в датчике угла наклона находится в сферическом углублении на нижней грани корпуса датчика. Первая и вторая контактные пластины при этом не замкнуты, электрическая цепь устройства разомкнута, несмотря на включенный источник питания. При засыпании оператора ТС его голова склоняется вперед или в сторону. В таких случаях в датчике угла наклона металлический шар выкатывается из сферического углубления и попадает на нижний конец второй контактной пластины, прижимая ее к первой аналогичной пластине, и тем самым замыкает электрическую цепь устройства и включает генератор звукового сигнала для пробуждения [225].

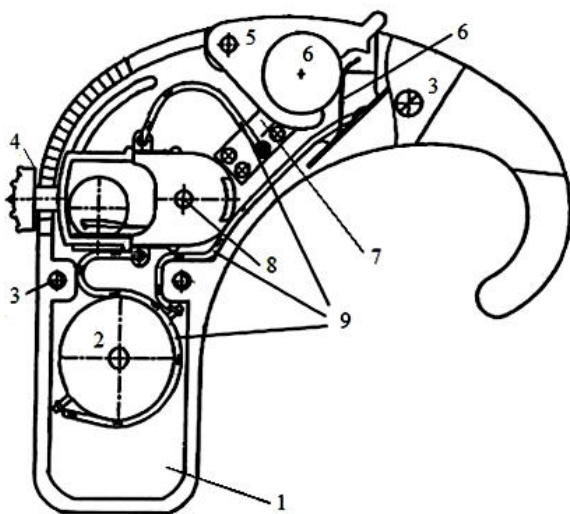


Рис. 5.13. Устройство для предупреждения от засыпания оператора ТС [225]:

- 1 – корпус серповидной формы; 2 – генератор звукового сигнала; 3 – винт;
- 4 – рукоятка; 5 – держатель; 6 – источник питания; 7 – выключатель;
- 8 – ось поворотная; 9 – провод

Постоянное пребывание работника за рулем может сказываться на кровоснабжении в органах малого таза и приводит к нарушению

работы нервной системы. Симптомы такого профессионального заболевания у операторов ТС разнообразны: тупые либо колющие боли в районе хребта, ощущение сдавленности и неподвижности («каменная спина»), сильные боли в районе органов малого таза. Для снижения проявления этих заболеваний предлагается специальная запатентованная накидка-чехол на сиденье ТС, которая имеет ортопедические мягкие вставки для поясничной части и органов малого таза [226]. При деформации вставки принимают форму тела оператора, а после снятия нагрузки восстанавливают свою исходную конфигурацию, что способствует улучшению кровоснабжения в поясничной части спины и в органах малого таза [226].

Для повышения безопасности труда рекомендуется техническое устройство (рисунок 5.14), установленное внутри рулевого колеса на оси рулевого вала [227].

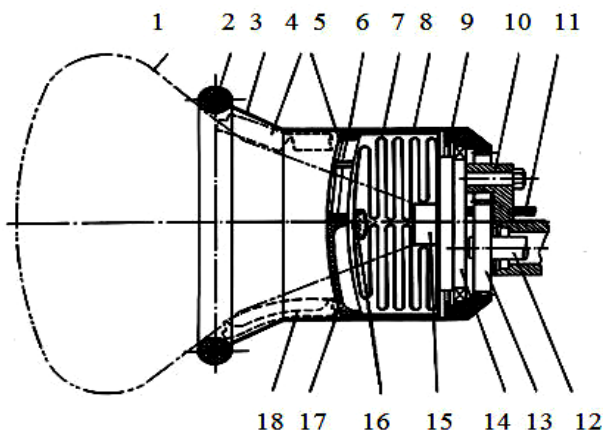


Рис. 5.14. Техническое устройство механизма рулевого управления ТС [227]:

- 1, 18 – контур; 2 – колесо рулевое; 3 – спица; 4 – контур разрыва;
- 5 – щиток приборный; 6 – корпус; 7 – подушка безопасности в сложенном состоянии;
- 8 – корпус подушки безопасности; 9 – венец планетарного механизма;
- 10 – кожух рулевого вала; 11 – коммутация электрическая; 12 – вал рулевой;
- 13 – шестерня; 14 – колодка разъемная; 15 – устройство взрывное;
- 16 – капсула, заполненная тозирующим препаратом;
- 17 – крышка корпуса подушки безопасности

Нередко работа операторов ТС протекает при неблагоприятных температурных условиях, повышенной влажности. Знание

гигиенических особенностей условий труда в кабине ТС, а также неблагоприятных факторов, которые могут возникнуть при работе, позволяет принять необходимые меры по сохранению здоровья и работоспособности операторов ТС. Так, физиологическая норма реакции тела человека позволяет организму адаптироваться к охлаждающей или нагревающей температуре воздуха, микроклимату. В случае же перегрева или переохлаждения тела, даже если это не опасно для жизни оператора ТС, снижается его трудоспособность [228]. Если изменяются теплофизические условия производственной среды, то система терморегуляции организма приводит в соответствие процессы теплообразования и теплоотдачи, сохраняя температуру тела на одном уровне ($36,6 \pm 0,5$) °С. Однако при длительном и постоянном изменении температуры производственной среды система терморегуляции организма человека не в состоянии обеспечить комфортное самочувствие и наступает дискомфорт. Задержка в испарении с поверхности тела пота сопровождается смачиванием им спинки сиденья ТС и может способствовать переохлаждению организма. Для недопущения такой ситуации рекомендуется использовать техническое устройство, содержащее сменные гигроскопические впитывающие элементы, неподвижно закрепленные на спинке сиденья в кабине ТС двумя эластичными кольцами, связанными друг с другом стяжкой, которая, в свою очередь, неподвижно прикреплена одним концом к оттяжке, закрепленной своим свободным концом и снабженной зацепом за спинку сиденья. Эффективная защита оператора ТС от пота, выделяемого в процессе работы при соприкосновении его спины со спинкой сиденья, достигается периодической нетрудоемкой сменой впитывающих элементов, препятствующих перегреву организма оператора ТС [228].

Для поддержания чистоты в кабине МСХТ предлагается напольный коврик [229]. При накоплении на нем воды и земли коврик поднимают, взяв за переднюю его часть. При этом под действием сил упругости пружины эластичный мешок кармана на коврике принимает объемное натянутое положение и в него поступает накопившаяся на коврике вода и земля без загрязнения ими кабины (рисунок 5.15).

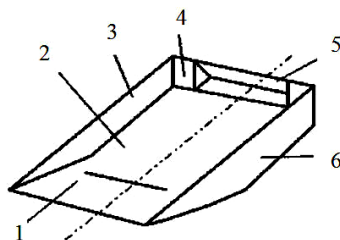


Рис. 5.15. Напольный коврик МСХТ [229]:

1 – передняя часть коврика; 2 – основание; 3 – стенка боковая левая;
4 – стенка задняя; 5 – карман; 6 – стенка боковая правая

Для повышения удобства и прочности лестницы, например зерноуборочного комбайна, рассматривается вариант усовершенствованной ее конструкции (рисунок 5.16) с учетом высокого клиренса ходовой части комбайна [230]. Часто оператор подвержен травмированию при спуске с такой лестницы или подъеме в кабину МСХТ. Объяснением этому служит поведенческий фактор, который, в свою очередь, связан с нервным напряжением при выполнении работ, спешкой, а также подошвой обуви. При выходе из кабины оператор обычно смотрит только на первые ступеньки лестницы и не обращает внимания на остальные. Для повышения безопасности перемещения оператора ТС по ступенькам вертикальной лестницы предлагается следующая запатентованная конструкция (рисунок 5.16), содержащая две боковины, соединенные между собой ступеньками, выполненными в виде горизонтальных площадок [231].

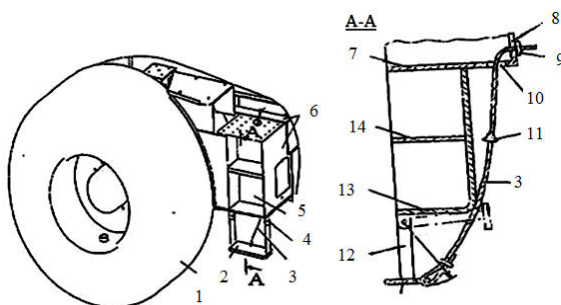


Рис. 5.16. Ступенька лестницы МСХТ [231]:

1 – колесо; 2 – ступенька складывающаяся; 3 – канат; 4 – кронштейн; 5 – ниша;
6 – рама комбайна; 7, 13, 14 – ступеньки верхняя, средняя и нижняя; 8 – паз;
9, 11 – шайбы стопорные; 10 – отверстия сквозные; 12 – рамка П-образная

Нижняя ступенька имеет площадку прямоугольной формы, а верхние выполнены со скосами со стороны подъема на техническое средство. На одной из верхних ступенек имеется скос с левой стороны, на следующей ступеньке – скос с правой стороны. При подъеме по вертикальной лестнице выполненные по параболе скошенные края ступеней не препятствуют быстрому и удобному подъему и спуску и позволяют располагать ноги в наиболее удобном месте с учетом размера обуви. Имеющиеся в ступеньках отверстия предназначены для удаления с их верхней поверхности грязевых отложений и для повышения безопасности труда оператора ТС при перемещении по ступенькам лестницы (спуске и подъятии). Для снижения тяжести травмирования большое значение имеет форма подошвы обуви оператора МСХТ, ее сцепные свойства. Предлагается съемная универсальная нескользящая подошва обуви (рисунок 5.17), выполненная из износостойкого материала. Такая подошва (галоша) легко надевается на обувь разных размеров и крепится на ней прочными эластичными петлями или ремнями с замками (липучками). Абразивный слой рабочей поверхности подошвы обеспечивает возможность многократного ее использования и безопасность оператора, например, на скользких ступеньках МСХТ [232].

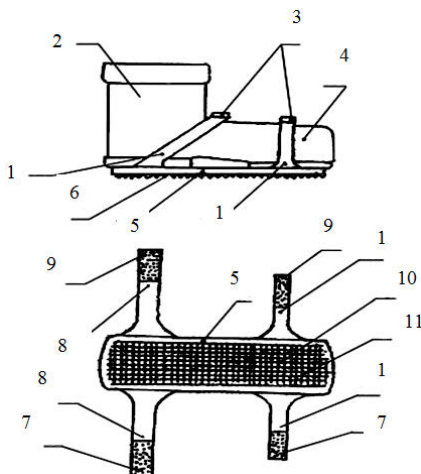


Рис. 5.17. Устройство съемной универсальной нескользящей подошвы обуви [232]:

- 1, 8, 14 – ремни эластичные; 2 – обувь; 3, 7, 9, 12 – липучки;
4 – лента с водостойкой основой; 5 – пластина эластомера; 6 – гранулы абразива;
10 – сетка абразивная; 11 – лента абразивная; 13 – носок обувной

Как один из вариантов снижения воздействия источников шума на акустические характеристики кабины трактора предлагается использовать шумопоглощающий брызговик [233]. Он размещается в моторном отсеке трактора и содержит тонколистовой металлический элемент в виде защитной несущей оболочки (рисунок 5.18). Такая оболочка может включать несколько отдельно смонтированных составных частей, имеющих горизонтальные и боковые (вертикальные и наклонные) поверхности. Шумопоглощающая футеровка плосколистовых звукопоглощающих панелей содержит внешний защитный слой звукопрозрачной пленки, а также слой пористого звукопоглощающего материала и монтажный адгезионный клеевой слой. Периметр внешних контуров монолитной плосколистовой звукопоглощающей панели превышает периметр квадратной монолитной плосколистовой звукопоглощающей панели не менее чем в три раза, площадь лицевой поверхности плосколистовой звукопоглощающей панели составляет не менее $0,25 \text{ м}^2$ [233].

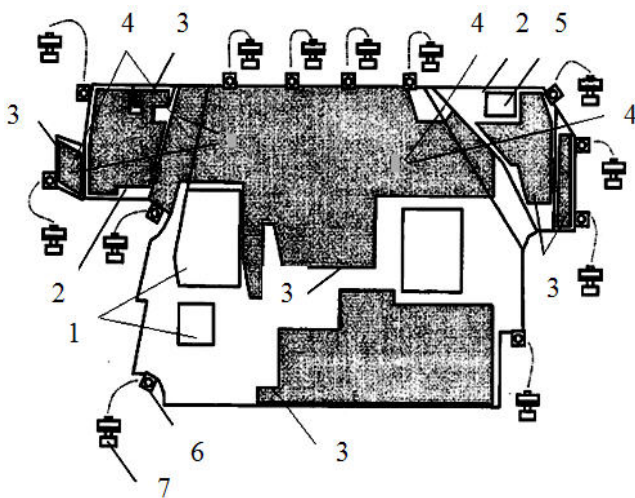


Рис. 5.18. Устройство шумопоглощающего брызговика моторного отсека трактора [233];

- 1, 5 – проемы вентиляционные;
- 2 – панели внутренние плосколистовые звукопоглощающие;
- 3 – панель футеровки звукопоглощающая;
- 4 – панели боковые плосколистовые звукопоглощающие;
- 6 – фланец; 7 – элементы крепежные съемные

Общее количество автономных плосколистовых звукопоглощающих панелей в составе шумопоглощающего брызговика принимается равным четырем. Воздушные зазоры между противолежащими торцами отдельных автономных плосколистовых звукопоглощающих панелей должны быть больше, чем толщина плосколистовых звукопоглощающих панелей. Такие элементы могут устанавливаться как на горизонтальной поверхности несущей защитной оболочки шумопоглощающего брызговика, так и на ее боковых (вертикальных и наклонных) поверхностях [233]. На монолитной плосколистовой звукопоглощающей панели также имеется лабиринтный вырез, образующий воздушный зазор, ширина которого не менее толщины плосколистовой звукопоглощающей панели. Автономные плосколистовые звукопоглощающие панели выполнены в виде прямоугольных пластинчатых элементов и располагаются относительно продольной оси трактора параллельно, что способствует многократному отражению и поглощению шумопоглощающим брызговиком звуковой энергии, генерируемой системами моторного отсека [233].

Травматическая ситуация в опасной зоне машинно-тракторного агрегата (МТА) может сопровождаться «наматыванием» при травмировании карданным валом, защемлением, придавливании человека (например, при сцепке трактора с техническим средством), наезде на человека, нанесением удара вращающимися узлами агрегата и др. Значительный удельный вес приходится на травмирование карданным валом до 14 % [57]. Известны различные предохранительные устройства карданного вала приводной сельскохозяйственной машины [199; 234–238], например устройство, состоящее из пластмассового сильфона (зажимного кожуха), соединенного с фланцем и втулкой, втулка крепится к корпусу трансмиссии трактора. Однако это устройство не обеспечивает должной безопасности работ при обслуживании карданного вала, соединения и крестовины, и при сдвиге сильфона (защитного кожуха) карданный вал исполнительной машины продолжает быть жестко соединен с валом отбора мощности трактора, т. е. с валом приводной машины. Известно также предохранительное устройство для карданного вала, содержащее защитный кожух, установленный коаксиально валу с возможностью осевого перемещения. Устройство снабжено отключающим механизмом, выполненным

в виде вала с наружными шлицами на концах, установленного между карданным валом и валом приводной машины. Недостатком такого устройства является его низкая надежность в работе из-за возможных перекосов вилки вследствие асимметричного приложения действующих на нее сил и большого количества сопряженных деталей. Для устранения этого недостатка, создания безопасных условий эксплуатации технических средств разработано и запатентовано предохранительное устройство для карданной передачи (рисунок 5.19), состоящее из шлицевой втулки, установленной на одном из шлицевых концов вала устройства, и вилки для перемещения шлицевой втулки. Вал устройства входит внутренним концом в подшипник, установленный в выточке шлицевого вала исполнительной машины, а наружным концом жестко соединен с карданным валом исполнительной сельскохозяйственной машины [199].

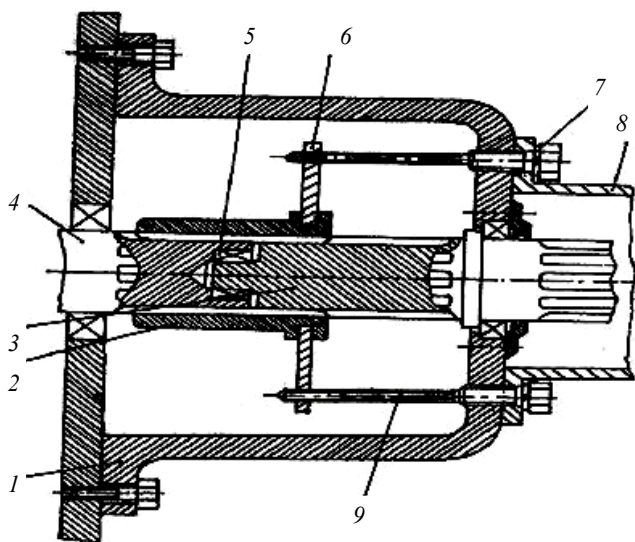


Рис. 5.19. Предохранительное устройство для карданного вала [199]:

1 – корпус; 2 – втулка шлицевая; 3 – вал; 4 – вал шлицевой;
5 – подшипник; 6 – вилка; 7 – шайба; 8 – кожух защитный; 9 – болт

При снятии защитного кожуха карданного вала одновременно (или поочередным поворотом головок болтов в пределах существующих зазоров на один оборот) против часовой стрелки болты

выворачиваются из больших отверстий в корпусе с правой резьбой. При этом вилка смещается вправо в сторону кожуха как за счет перемещения вместе с болтами, так и за счет вращения в ее отверстиях участков болтов малого диаметра с левой резьбой. После вывинчивания болтов из больших отверстий корпуса вилка вместе с втулкой путем захвата головок болтов руками механизатора с помощью осевого усилия перемещается в крайнее правое положение, наиболее близкое к кожуху, что приводит к разъединению валов. Затем болты путем поворота по часовой стрелке полностью выворачиваются из отверстий вилки и вынимаются из устройства, что позволяет снять защитный кожух уже не вращающегося карданного вала. При установке защитного кожуха болты вставляются в отверстия его фланцев и далее через большие отверстия корпуса своей частью малого диаметра с заостренными в виде конуса концами – в малые отверстия вилки. Поворотом против часовой стрелки болты ввинчиваются на одинаковую длину в отверстия вилки, затем вилка с втулкой путем осевого усилия на болты смещается влево в сторону приводной машины до упора правой резьбы болтов в соответствующие отверстия корпуса. Путем поворота болтов по часовой стрелке они ввинчиваются своим большим диаметром в большие отверстия корпуса до полного закрепления защитного кожуха. Одновременно осуществляется соединение втулкой валов исполнительной машины и вала устройства, жестко соединенного с карданным валом сельскохозяйственной машины [199]. Использование предлагаемого предохранительного устройства для карданного вала максимально обеспечивает безопасные условия эксплуатации машинно-тракторного агрегата, т. к. при снятии или отсутствии защитного кожуха карданного вала прекращается передача вращательного движения от вала отбора мощности трактора на рабочий орган сельскохозяйственной машины [199].

Для определения принадлежности технического средства к категории безопасности необходимо рассчитать суммарный вредный эффект от его использования с помощью обобщенного интегрального показателя безопасности. Следует также отметить, что техносферная безопасность, например тракторного дизеля, характеризуется следующими показателями [1]:

- бездымный выхлоп на холостом ходу прогретого двигателя, незначительное дымление при полной его загрузке;

- устойчивая работа 4-цилиндрового дизеля при 3 выключенных, а 6- и 8-цилиндровых – при 4 выключенных цилиндрах;
- чистый дизель: отсутствие подтеканий масла и охлаждающей жидкости на блоке и на головках цилиндров, отсутствие масла в турбокомпрессоре (ТКР) и в выхлопной трубе, отсутствие подтеканий топлива на элементах топливной аппаратуры;
- отсутствие интенсивного выхода картерных газов из сапуна (маслозаливной горловины);
- интенсивный характерный звук (свист) работы ТКР, отслеживающий изменение скорости вращения и нагрузки дизеля; слышимый выбег ротора ТКР после остановки двигателя в течение не менее 8 с;
- нормальный уровень моторного масла (повышенный уровень вызывает увеличенный угар масла и повышенную токсичность ОГ);
- равномерное снижение оборотов двигателя по всем цилиндрам при отключении каждой форсунки или свечи зажигания;
- отсутствие сигналов о засоренности воздухоочистителя;
- отсутствие резкого запаха подгорания фрикционных накладок;
- отсутствие колебаний (тряски) двигателя, дребезга облицовки, кабины, оперения;
- нормальные показания контрольно-измерительных приборов (КИП) на щитке приборов, сигнализаторов на воздушном и масляном фильтрах; отсутствие аварийных сигналов;
- продолжительное вращение по инерции ротора, ТКР после остановки двигателя;
- легкий ход машины по инерции при выключенной передаче, обусловленный нормальной регулировкой тормозов, давления в шинах, схождением колес, исправностью силовой передачи.

Обязательные работы ТО, обуславливающие надежную и экологически чистую работу машины включают [1]:

- периодический слив отстоя из топливного бака, фильтра-отстойника (60–100 ч), фильтра тонкой очистки топлива (60–240 ч), экстренный слив отстоя при возникновении мутного топлива;
- периодическая очистка воздухоочистителя, топливных фильтров, а после работы в запыленных условиях – внеплановая очистка воздухоочистителя или очистка, требуемая по показаниям сигнализатора загрязненности;

- периодическая очистка реактивного центробежного маслоочистителя и других масляных фильтров (в силовой передаче, гидросистеме навесного механизма);
- устранение причин выделяющихся стуков механизма газораспределения;
- проверка и при необходимости восстановление уровня моторного масла, масла в силовой передаче;
- утепление дизеля, в т. ч. при температуре ниже +5 °С, не дожидаясь морозов, использование зимних сортов моторного масла и топлива, что уменьшает расход топлива на 200–300 кг на трактор за зиму; только на каждом пуске дизеля зимой экономится до 2 л топлива за счет разогрева дизеля горячей водой, горячим маслом, утепления радиатора, топливной аппаратуры;
- проверка и регулировка натяжения ремней вентилятора дизелей с воздушным охлаждением;
- заправка машины топливом через заливной фильтр (воронку с сеткой);
- снижение давления в шинах трактора до нижнего диапазона перед работой на поле и повышение давления перед транспортными работами;
- очистка машины от загрязнений, растений, химикатов.

Частое выполнение регулировочных работ оператором МСХТ, в случае неудобного расположения узлов технологических регулировок технического средства, приводит к повышению физической нагрузки в области шейного и поясничного отделов позвоночника, быстрому утомлению, болевым ощущениям в суставах, снижению работоспособности и внимания. Для улучшения условий труда, снижения негативных последствий от выполнения регулировочных воздействий, пассивного массажа мышц спины и шеи оператора МСХТ, предлагается техническое устройство (рисунок 5.20).

Расположение предлагаемого технического устройства под мышцу спинного или шейного отделов позвоночника осуществляется при помощи вспомогательных шнуров. Оператор МСХТ, надавливая своим весом на выступы, ориентируется на появление небольшой боли в мышцах. При этом в момент надавливания происходит рефлекторное расслабление сжатой мышцы. Время массажа на одном участке позвоночника составляет от двух до пяти минут [239]. Оператор МСХТ перемещается в продольном направлении с одного массирующего выступа на другой в направлении от шеи к поясничному

отделу позвоночника или наоборот. В процессе перемещения возникает равнодействующая сила двух выступов, раздвигающая позвонки и устраняющая подвывих. Во время массажа мышц спины оператор может покачиваться на выступах-основаниях, добиваясь небольшого скручивания позвоночника и, тем самым, регулировать степень надавливания на болезненную спазмированную мышцу. Во время продольного перемещения с одного массирующего элемента на другой, а также во время покачивания на выступах происходит рефлекторное расслабление перенапряженной мышцы, испытывающей точечное надавливание. Благодаря точечному массажу, сочетаемому с продольными перемещениями позвоночника и небольшим его скручиванием, улучшается кровообращение спинного и шейного отделов, что усиливает питание костно-мышечной ткани и ускоряет выведение продуктов обмена веществ. Снятие мышечного спазма способствует освобождению корешков спинного мозга, что приводит к нормализации функции внутренних органов [239].

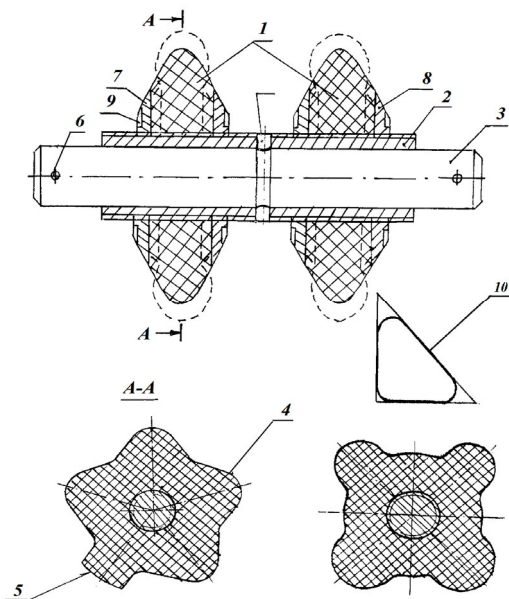


Рис. 5.20. Техническое устройство для массажа мышц спины и шеи [239]:

- 1 – корпус; 2 – втулка; 3 – ось; 4, 5 – массирующий элемент;
6 – верхнее отверстие; 7 – левый прижимной диск; 8 – правый прижимной диск;
9 – ребра-зацеп; 10 – опорная поверхность

Повышение производственной безопасности и предупреждение пожаров на МСХТ – важнейшие задачи в период уборки сельскохозяйственных культур. В случаях непринятия своевременных мер по организации безопасной эксплуатации, предупреждению и тушению пожаров уборочной техники, возможно быстрое распространение огня с нанесением значительных материальных потерь. В целях повышения производственной и пожаробезопасности, например, кормоуборочных комбайнов необходимо постоянно следить за их техническим состоянием, наличием изолирующих колпачков на клеммах генератора, аккумуляторной батареи (АКБ), стартера, датчиков и другого электрооборудования, а также защиты электропроводов в местах возможных механических, тепловых и химических повреждений, проводить очистку искрогасителей от нагара, оборудовать топливные баки визуальными указателями. При этом не забывать, что наиболее распространенными причинами пожаров на кормоуборочных комбайнах являются [240]:

- возгорание в моторном отсеке из-за замыкания силового провода аккумулятора на металлические детали корпуса с последующим воспламенением его изоляции;
- неисправность электрического оборудования, возникающая, как правило, вследствие его старения, коррозии, механических повреждений (перетираание изоляции в местах ее соприкосновения с гранями металлических узлов и деталей кормоуборочного комбайна);
- образование легкогорючего слоя на узлах и деталях кормоуборочного комбайна, состоящего из мелких растительных остатков, топлива, масла в результате их подтекания из-за неплотности соединений в системе питания, смазки и гидрооборудования;
- техническая неисправность кормоуборочного комбайна и нарушение правил пожарной безопасности при его эксплуатации;
- неосторожное обращение с огнем;
- нарушение правил пожарной безопасности при проведении огневых работ.

Эксплуатация МСХТ при повышенных нагрузках, несоблюдении требований производственной безопасности может стать причиной возникновения внештатной ситуации с возгоранием проводки или элементов системы питания двигателя. Последствиями подобных ситуаций могут быть сгоревший комбайн и охваченные пожаром прилегающие сельскохозяйственные территории. Ущерб при этом

значительный. Возгорание в подкапотном пространстве МСХТ часто удается устранить с помощью ручных огнетушителей, но даже в этом случае МСХТ может получить значительные повреждения. Дело в том, что возгорание должен заметить оператор МСХТ, остановить технику, снять огнетушитель со штатного места, дойти до очага возгорания и активировать средство пожаротушения. На эти действия у оператора МСХТ уходит несколько минут, в течение которых огонь может перекинуться на другие узлы МСХТ и на поле. Кроме того, оператор МСХТ при обнаружении обильного дыма, как правило, физически не способен осуществить подачу тушащей струи порошка в подкапотное пространство. Этому мешают перегретый корпус, обильное задымление и сложность передвижения в условиях пожара. Поэтому огнетушитель, в первую очередь, необходим для обеспечения безопасности самого оператора МСХТ. Что же касается повышения пожаробезопасности МСХТ, рассмотрим событие A – возникновение загорания на МСХТ. Оно является следствием того, что не выполнены требования пожарной безопасности D_j ($j = 1, 2, \dots i$). В результате исследований установлено, что вероятность возникновения рассматриваемого события $P(D_j)$ можно определить из выражения [240]:

$$P(D_j) = P(D_{1j}) + P(D_{2j}) + \dots + P(D_{ij}) = P_1 + P_2 + \dots + P_i. \quad (5.3)$$

Это событие состоит из двух совместных событий: E_i – не выполнено требование и D_i – возникновение возгорания на МСХТ из-за невыполнения требования. Всего имеется N_i таких сочетаний для $E_1 D_1, E_2 D_2, E_3 D_3, \dots E_{N_i} D_{N_i}$. Тогда

$$P(A) = P(E_1 D_1 + E_2 D_2 + \dots + E_{N_i} D_{N_i}), \quad (5.4)$$

$$P(A) = 1 - (1 - P(E_1)P(D_1))(1 - P(E_2)P(D_2)) \dots (1 - P(E_{N_i})P(D_{N_i})).$$

Выражение (5.4) получено на основании факта, что нарушение требований пожарной безопасности и влияние требования на вероятность возгорания на МСХТ – события независимые. Так как $P(E_i)$ ($i = 1; N_i$) может принимать значения только 0 или 1, то формулу (5.4) представим в виде [240]:

$$P(A) = 1 - (1 - P(D_{K_1}))(1 - P(D_{K_2}))(1 - P(D_{K_3})) \dots (1 - P(D_{K_{N_i}})), \quad (5.5)$$

где $K_1 \dots K_{N_i}$ – номера невыполненных требований.

При возникновении источника возгорания на МСХТ, то есть выполнении события *A* – распространение огня происходит не только по конструктивным причинам технического средства, но и обуславливается особенностями выполнения технологического процесса.

Чтобы сохранить технику и ликвидировать очаги возгорания на первых стадиях образования огня, за рубежом активно применяют автоматические системы пожаротушения AFEX, принцип работы которых основан на автоматизации процесса подачи тушащих веществ. При этом МСХТ оснащается тепловыми датчиками, которые способны зафиксировать появление огня в любой точке подкапотного пространства МСХТ, автоматически информация передается на центральный блок системы пожаротушения AFEX, происходит оповещение оператора МСХТ звуковым и световым сигналами. Учитывая все риски, например, при эксплуатации кормоуборочного комбайна заказчик системы пожаротушения AFEX составляет техническое задание с указанием зоны рисков возгорания на кормоуборочном комбайне, приводятся схемы разведения датчиков, обосновывается объем с порошковым тушащим веществом. Алгоритм функционирования системы автоматического пожаротушения включает: принудительную остановку двигателя, вентилятора системы охлаждения, запуск системы распыления огнетушащего вещества. Следует однако отметить, что согласно результатам исследований [241–243] сухие химические вещества пожаротушения обеспечивают недостаточную защиту технических средств от возможного повторного возгорания. Для повышения пожаробезопасности, устранения возгорания на МСХТ возможно применение устройств аэрозольно-порошкового пожаротушения, содержащих генераторы огнетушащего аэрозоля [244], диспергированной воды, характеризующейся высокой пожаротушащей эффективностью и экологичностью [245], пленкообразующих пенообразователей, из которых получается пена низкой кратности, что позволяет охладить зону горения и защитить от повторного воспламенения [246]. Для пожаротушения моторного отсека также известно устройство [247], содержащее герметичную емкость с огнетушащим реагентом, электромагнитный клапан, контроллер, средство распыления огнетушащего реагента. К недостатку использования такого устройства можно отнести следующее – начало возгорания должно фиксироваться оператором МСХТ, что приводит к несвое-

временности начала тушения возгорания. Для автоматической локальной пожарной защиты мобильных технических средств находит применение и устройство, выполненное в виде капсулы в оболочке [248], при разрушении которой происходит выделение огнетушащего порошка. Широкое применение такого устройства ограничивается сложностью его установки и высокой стоимостью изготовления. Тушение возгорания в моторном отсеке МСХТ возможно с применением и других технических решений [249–250], например, когда в качестве огнетушащей среды используется охлаждающая жидкость из штатной системы охлаждения ДВС. При этом необходимость существенного переоборудования технического средства с целью подсоединения установки пожаротушения к системе охлаждения двигателя требует дополнительных финансовых затрат на установку оборудования и не исключает риск самовоспламенения используемой в качестве огнетушащего вещества жидкости из системы охлаждения ДВС.

Анализ причин, средств и устройств пожаротушения [241–251] позволил обосновать конструкцию технического устройства для оперативного устранения возгорания на кормоуборочном комбайне [252]. Такое устройство состоит из автономной системы охлаждения двигателя, пускового клапана, оросителей (рисунок 5.21), каждый из которых выполнен в виде пневматического распылителя с установленной на нем пирозарядной капсулой, гидравлически связанной через электромагнитный клапан с емкостями для пенообразователя и антипирена.

Для приготовления антипирена [253] необходим гидрофосфат аммония в количестве 36,3...39,7 мас. %, фосфорная кислота – 20,6...48,4 мас.% и карбамид в количестве 15,3...39,7 мас.%. В эту смесь добавляют никелевый катализатор – 0,2 %...0,5 % от общей массы сухих веществ, перемешивают и нагревают до температуры 125 °С. Смесь выдерживают 15...25 минут, а затем охлаждают и разбавляют водой до шестидесятипроцентной концентрации (растворимость антипирена сухого вещества составляет от 40 до 150 г на 100 г воды) [254]. Следует отметить, что пирозарядная капсула имеет электрический контакт с автоматическим предохранителем, автономным извещателем, датчиками дыма и пламени, электромагнитным клапаном, а также с электрической цепью кормоубо-

рочного комбайна. При срабатывании датчиков дыма и пламени, реагирующих на возникающий очаг возгорания, подается импульс на автономный извещатель, автоматический предохранитель, пирозарядную капсулу и электромагнитный клапан. При этом автономный извещатель воспроизводит звуковой сигнал, который оповещает оператора технического средства о возникшей угрозе для его безопасности. Автоматически открывается электромагнитный клапан и срабатывает пирозарядная капсула, что приводит к выделению под давлением газа, который подается в пневматический распылитель, а затем – в кольцевой канал. Согласно закону Бернулли, в потоке газа создается зона пониженного давления и происходит одновременное эжектирование по гидравлическим каналам антипирена и пенообразователя, происходит смешение газа и жидкости, образование смеси, которая распыляется в виде факела пенного аэрозоля на очаг возгорания [255].

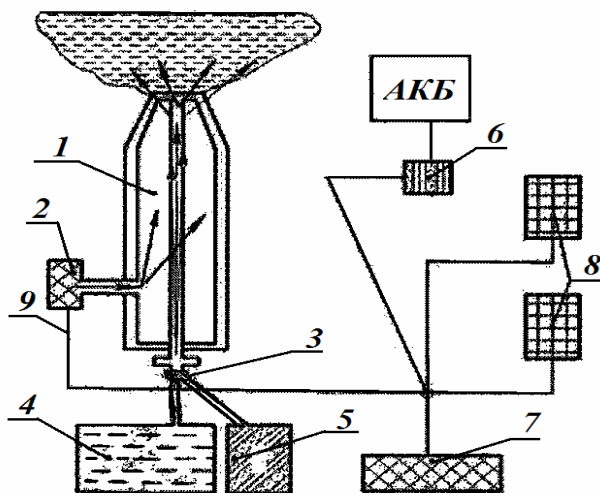


Рис. 5.21. Техническое устройство пожаротушения на кормоуборочном комбайне [252]:

- 1 – пневматический распылитель; 2 – пирозарядная капсула;
- 3 – электромагнитный клапан; 4 – емкость для хранения антипирена;
- 5 – пенообразователь; 6 – автоматический предохранитель;
- 7 – автономный извещатель; 8 – датчик дыма и пламени;
- 9 – основная электрическая цепь кормоуборочного комбайна

5.2 Технические решения для предотвращения травмоопасной ситуации при загрузке, выгрузке и транспортировке растительной массы и сыпучих материалов, повышения обзорности управления техническим средством

Для исключения травмоопасной ситуации при загрузке и выгрузке растительной массы из транспортного средства с самосвальной платформой предлагается следующее техническое решение (рисунк 5.22).

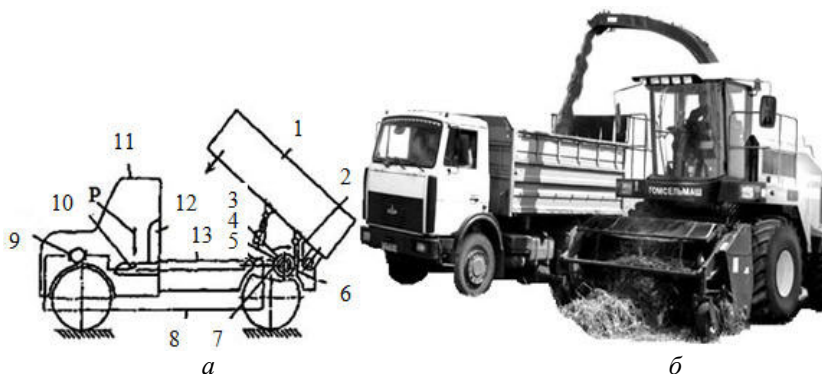


Рис. 5.22. Транспортное обеспечение кормоуборки:

а – транспортное средство с устройством защиты оператора от травмирования [256]:
при поднятии (опускании) грузовой платформы;

б – кормоуборочный комбайн + транспортное средство для загрузки (выгрузки)
растительной массы;

1 – платформа грузовая; 2 – рейка; 3 – колесо зубчатое; 4 – направляющая;

5 – электромагнит; 6 – вал; 7 – колодки тормоза; 8 – цепь электропитания;

9 – источник тока; 10 – контакт замыкающий; 11 – кабина;

12 – сиденье оператора; 13 – рама

Когда оператор транспортного средства находится в кабине на сиденьи и своим весом замыкает контакт, электромагнит включается в дополнительную цепь электропитания, а колодки колодочного тормоза разомкнуты и не взаимодействуют с тормозным шкивом колодочного тормоза. В таком случае при подъеме или опускании грузовой платформы рейка перемещается вверх или вниз по направляющей, вращая зубчатое колесо вместе с валом и не мешая подъему-опусканию грузовой платформы. В том случае, когда оператор не

находится в кабине и замыкающий контакт разомкнут, размыкается и дополнительная цепь электропитания. Электромагнит оказывается обесточенным, колодки тормоза прижаты к тормозному шкиву, исключая его вращение во время опускания платформы. Одновременно ролики увлекаются при попытке вращения венца зубчатого колеса силами трения и усилиями пружин в узкие части клиновых пазов втулки, что приводит к их заклиниванию. Таким образом, тормозной шкив, поворотный вал и венец зубчатого колеса не могут вращаться, а рейка не имеет возможности перемещаться по направляющей благодаря зацеплению с венцом зубчатого колеса. Грузовая платформа опирается на рейку и фиксируется неподвижно, исключая возможность перемещения платформы. Оператор может покинуть сиденье, например стать для лучшего обзора на подножку кабины и с нее управлять процессом выгрузки. При этом в кабине замыкающий контакт становится разомкнутым, электромагнит оказывается обесточенным, колодки тормоза – прижатыми к тормозному шкиву, исключая его вращение во время опускания платформы. Однако при движении рейки вверх венец зубчатого колеса, вращаясь против часовой стрелки, силой трения своей внутренней поверхности о ролики увлекает их в более широкую часть клинового паза, что обеспечивает свободное вращение венца зубчатого колеса и беспрепятственный подъем грузовой платформы транспортного средства для загрузки (выгрузки) растительной массы [256].

Основным из направлений по повышению безопасности погрузочно-транспортных работ машин является совмещение нескольких операций. Даже самый квалифицированный оператор МСХТ может уменьшить срок службы и производительность, например, фронтального колесного погрузчика, неправильно его эксплуатируя [1]. При этом на оператора МСХТ воздействуют как вредные факторы производственной среды, так и производственные опасности, в т. ч. импульсного действия, которые при определенных обстоятельствах становятся источником травм. Если вредный производственный фактор воздействует на организм оператора МСХТ независимо от его квалификации, стажа работы и возраста, то опасный производственный фактор может реализоваться в травму только при определенных обстоятельствах. Эти опасности увеличиваются многократно, если работник неопытный. Также

эффективность эксплуатации погрузчика зависит от того, насколько быстро и безопасно оператор МСХТ выполняет работу. На топкой, скользкой или покрытой рытвинами поверхности погрузчик будет вязнуть, производительность работы упадет, а образующиеся грязевые брызги, например от колес, могут способствовать ухудшению обзорности при управлении техническим средством и, как следствие, созданию производственной опасности.

Для повышения производственной безопасности при эксплуатации фронтального погрузчика, например ТО-18, устранения влияния грязевых брызг на обзорность и безопасность управления предлагается использовать на задних колесах этого технического средства крыло из листового материала, закрепленное на кронштейне и связанное с остовом погрузчика (рисунок 5.23). Крыло выполнено из пересекающихся с помощью горизонтальных, перпендикулярных продольной вертикальной плоскости симметрии погрузчика ребер трех частей – центральной горизонтальной, внутренней и внешней наклонных в виде плоских листовых конструкций с направленными вниз боковыми вертикальными бортами [257]. Центральная (горизонтальная) листовая конструкция, неподвижно закрепленная на кронштейне симметрично оси вращения колеса и выполненная со сквозной прорезью в виде параллелограмма, обращена к центральной части погрузчика. Меньшая сторона параллелограмма совпадает с проходящей через ось симметрии и вращения колеса вертикальной плоскостью и соприкасается с внутренней стороной внутреннего бокового вертикального борта. Вторая меньшая сторона параллелограмма совпадает с внешним ребром пересечения центральной горизонтальной и внешней наклонной плоских листовых конструкций и соприкасается с внутренней стороной внешнего бокового вертикального борта. Длина меньшей стороны параллелограмма составляет одну треть расстояния между внутренними сторонами боковых вертикальных бортов [257].

При выполнении погрузчиком работ, связанных с маневрированием и требующих визуального контроля расположения его колес и рабочего органа, в т. ч. относительно возможных ям, оператор МСХТ имеет возможность в любой момент без остановки погрузчика осуществлять необходимый в таких случаях оперативный визуальный контроль, обеспечивая при этом безопасность выполнения работ [257].

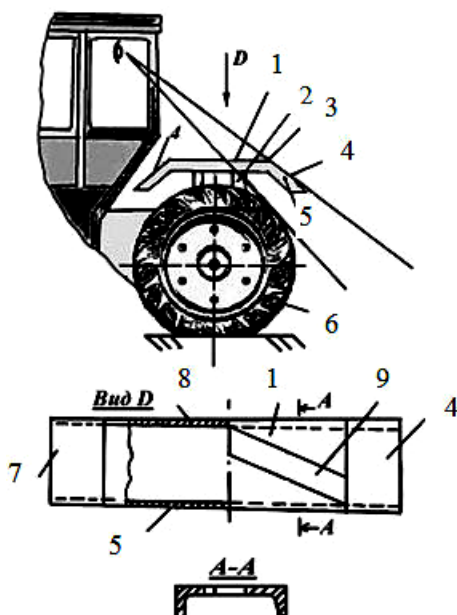


Рис. 5.23. Техническое устройство для повышения обзорности и безопасности управления фронтальным погрузчиком [257]:

1 – часть центральная горизонтальная; 2 – кронштейн; 3 – ребро;
4, 7 – части крыла внутренняя и внешняя; 5, 8 – борты вертикальные; 6 – колесо;
7 – колесо; 9 – прорезь сквозная

Перевозка различных сыпучих материалов требует от водителя транспортного средства высокого уровня профессиональной компетенции и внимания, поскольку такой груз отличается высокой подвижностью: он может просыпаться на дорогу или крыши легковых автомобилей, проезжающих рядом, создавая тем самым аварийную ситуацию [1]. Тяжесть перевозимого груза и его смещение в одну из сторон на поворотах, подъемах и спусках затрудняет управление транспортным средством. Также некоторые грузы подвержены нагреванию. Самосогреванием называют процесс повышения температуры груза, вызванный действием внутренних источников тепла – химических и биохимических процессов, протекающих в грузах. Самосогреванию подвержены многие грузы растительного происхождения, в особенности зерновые. Процесс самосогревания приводит к резкому ухудшению качества груза,

уменьшает его количество и зачастую заканчивается самовозгоранием. Самосогревание зерна вызывается в основном тремя причинами: биологическим процессом дыхания зерна, жизнедеятельностью микроорганизмов и жизнедеятельностью вредителей зерновых грузов. Чтобы минимизировать возможность возникновения таких ситуаций, необходимо, чтобы груз был равномерно распределен по кузову транспортного средства, а мелкие сыпучие материалы накрыты тентом [1].

Значительная часть перевозок сыпучих грузов отводится зерновым культурам и минеральным удобрениям. Перевозка зерновых культур имеет специфические особенности, отличающие ее от других сыпучих материалов. Существует несколько способов транспортировки зерна: зерновозы бортовые, автопоезда, цистерны, самосвалы. При использовании самосвальной техники процесс разгрузки зерновых автоматизируется, что обеспечивает одновременно экономию и высокую скорость перевозки. Что же касается перевозки минеральных удобрений, то, если их завод-изготовитель находится на расстоянии, не превышающем 200 км от сельскохозяйственного предприятия, допускается использование только автомобильного транспорта [1]. Для повышения безопасности перевозки сыпучих материалов, их механизированной разгрузки или разбрасывания по поверхности рекомендуется, например, самосвал-разбрасыватель с подвижными приводными механизмами трансформации сыпучих материалов. Такое транспортное средство содержит шасси базового автомобиля с установленным на нем и опрокидываемым назад кузовом-бункером с приводным механизмом подъема, боковыми бортами-стенками и откидным задним бортом-стенкой с замками. Посередине в днище кузова-бункера расположен приводной транспортер, подающий материал к разбрасывающему устройству. Это устройство выполнено в виде разбрасывающего диска с возможностью его занимать положение, не препятствующее использованию разбрасывателя как самосвала. Боковые борта-стенки кузова-бункера самосвала имеют подвижные приводные механизмы трансформации между вертикальным и наклонным положением кузова-бункера и смещаются к его центру в направлении к подающему транспортеру. Последний снабжен поворотным кожухом, фиксируемым в двух положениях: верхнем над транспортером, препятствующем повреждению транспортера, и нижнем, препятствующем просыпанию материала под транспортером [1].

5.3 Технические решения для повышения производственной безопасности сельскохозяйственной техники при работе на склонах, внесении пестицидов, техническом обслуживании и ремонте

Для улучшения условий труда оператора МСХТ при ее эксплуатации на склонах немаловажное значение имеет возможность регулировки сиденья с учетом неровности почвы. Зачастую неправильная его регулировка при работе на склонах может вызывать у оператора МСХТ болевые ощущения в спине. Кроме того, чем быстрее техника движется по склону, тем большее значение имеет правильная регулировка сиденья. В противном случае у оператора могут появляться проблемы со спиной, что в дальнейшем сказывается и на профессиональной его нетрудоспособности [1]. Несмотря на то что сиденья МСХТ не требуют обслуживания, они подвержены износу. К наиболее частым неисправностям относятся выход из строя подшипника, поломки пружины и амортизаторов. Механические повреждения можно распознать по снижению комфорта и скрежету пружины. Подушка сиденья может регулироваться по длине и наклону; следует обращать внимание на верхние участки бедер оператора МСХТ, которые должны иметь максимальную площадь опоры, но в то же время это не должно затруднять управление педалями сцепления и тормоза [1].

Для повышения безопасности и улучшения условий труда оператора МСХТ предлагается устройство, содержащее нижнюю опору, связанную с полом кабины МСХТ, и верхнюю опору, связанную с подушкой сиденья, которая может наклоняться вбок и фиксироваться в любом из выбранных положений относительно нижней опоры. Каждая опора снабжена двумя направляющими элементами, причем элементы верхней опоры выполнены дугообразными, а направляющие элементы нижней опоры – в виде шариков, симметрично установленных относительно продольной оси сиденья. Дугообразные направляющие элементы и шарики размещаются в кронштейнах и закреплены на верхней и нижней опорах соответственно. Один из дугообразных направляющих элементов снабжен радиальным пазом. Устройство содержит управляемый стопор, выполненный в виде пластины, расположенной на оси кронштейна. Паз и стопор установлены с возможностью взаимодействия.

Для обеспечения безопасного положения оператора МСХТ при работе на склоне требуется установка сиденья под определенным углом, зависящим от крутизны склона. В этом случае нажатием на рукоятку стопора, преодолевая сопротивление пружины, выводят пластину стопора из паза дугообразного направляющего элемента и паза пластины нижней опоры. Поскольку в расфиксированном положении сиденье свободно перекачивается по дугообразному направляющему элементу, выполненному в виде трубки, оператор МСХТ занимает удобное для работы положение смещением корпуса. Опустив рукоятку, оператор МСХТ фиксирует сиденье в нужном положении. При этом под действием пружины пластина стопора через один из пазов нижней опоры входит в паз дугообразного направляющего элемента верхней опоры, фиксируя сиденье в заданном положении. Изменение угла наклона сиденья за счет качения дугообразных направляющих элементов, выполненных в виде стержней, по поверхностям шариков происходит мгновенно, а следовательно, быстроедействие предлагаемого устройства значительно возрастает [1].

Аэрозоли, пары и газы, содержащиеся в воздухе, – как при выполнении технологического процесса, так и при хранении химических веществ – могут проникать в организм человека через органы дыхания, зрения, желудочно-кишечный тракт, кожу и воздействовать на его ткани и биохимические системы, вызывая нарушения процессов нормальной жизнедеятельности. Вредные вещества, находящиеся в воздухе в виде аэрозольных частичек размером более 100 мк в диаметре, обычно быстро оседают под действием силы тяжести и не представляют опасности. Частички же диаметром менее 10 мк могут достигать зоны газообмена в легких человека. Учитывая это обстоятельство, все исполнители химзащитных работ должны пройти ежегодное медицинское обследование и иметь медицинскую книжку с отметкой врачей-специалистов о соответствующем допуске. Со всеми работниками в обязательном порядке должен быть проведен инструктаж по охране труда с соответствующей записью в журнале регистрации, организован строгий учет с указанием в специальном журнале вида работ, даты, применяемых препаратов, объекта обработок, расходуемого количества и др. Наиболее опасным путем попадания вредных веществ в организм являются органы дыхания. Поверхность легочных альвеол при

среднем их растяжении может достигать 100 м^2 , а толщина альвеолярных мембран колеблется в пределах $0,004\text{--}0,010 \text{ мм}$, вследствие чего в легких создаются благоприятные условия для проникания газов, паров и пыли в кровь [1].

Для предотвращения такой ситуации, повышения эффективности использования средства защиты органов дыхания предлагается запатентованная конструкция противоаэрозольного респиратора [258], содержащая полумаску из сорбционно-фильтрующего материала с обтюратором, странгулятором и оголовьем, которое присоединено с двух сторон с помощью эластичного шнура к полумаске (рисунок 5.24). Обтюратор в верхней его части имеет эластичное сеточное полотно, позволяющее охватить поверхности головы и ушей работника, что практически устраняет попадание вредных веществ в виде аэрозолей внутрь.

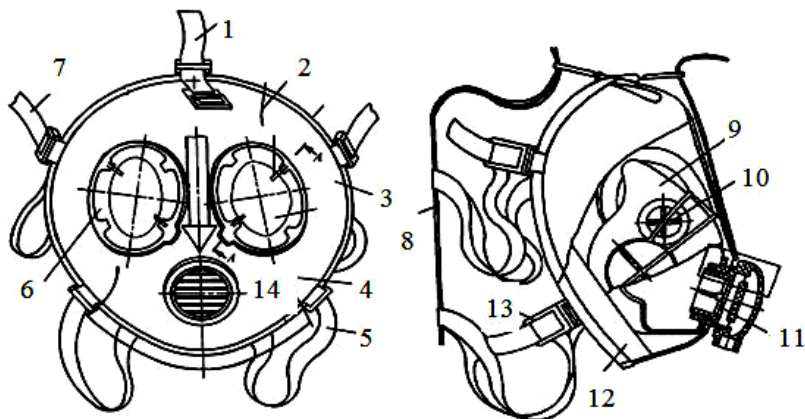


Рис. 5.24. Респиратор для защиты органов зрения и дыхания работников агропромышленного комплекса от воздействия вредных веществ [258]:
 1, 5, 7 – зажим; 2 – складка лобная; 3 – корпус маски; 4 – складка подбородочная;
 6 – очки; 8 – наголовник; 9 – подмасочник; 10 – клапан вдоха; 11 – клапан выдоха;
 12 – обтюратор; 13 – пряжка

Статистика производственного травматизма в сельскохозяйственном производстве свидетельствует и о том, что ремонтные работы и техническое обслуживание МСХТ остаются наиболее травмоопасными. Создание безопасных условий предусматривает проведение ряда мероприятий по снижению производственного

травматизма Для повышения безопасности и удобства выполнения работ, например, в подкапотном месте предлагается конструкция оперения ТС с подрессоренной кабиной (рисунок 5.25), которое включает капот, соединенный с верхней частью крыла, и нижнюю часть крыла, прикрепленную к подножке и раме. В верхней части зазора между дверью кабины и стенкой капота прикреплена накладка, а к выступающей части кабины – козырек [1].

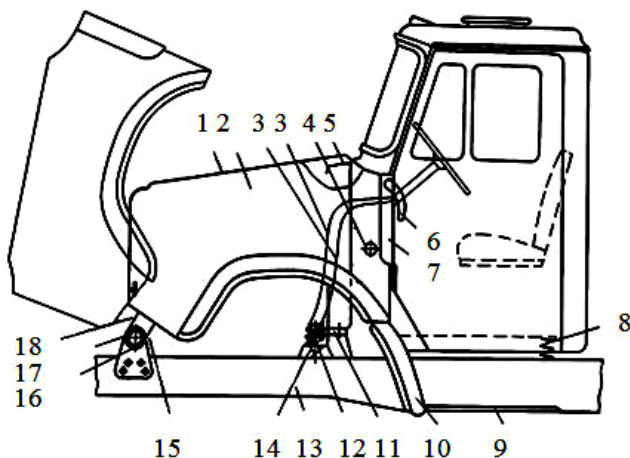


Рис. 5.25. Оперение ТС с подрессоренной кабиной [1]:

- 1 – капот; 2 – крыло; 3 – тросики; 4 – кнопка; 5 – козырек; 6 – ручка;
- 7 – накладка; 8 – рычаг; 9 – подножка; 10 – нижняя часть крыла; 11 – упор;
- 12, 14 – управление дополнительным замком оперения; 13 – рама;
- 15 – рычаг регулировочный; 16 – труба; 17 – торсион; 18 – рычаг

Оперение крепится с помощью двух рычагов в передней части к поперечно расположенной трубе, в которую вставлен торсион, соединяющийся шлицами с одной стороны с трубой, а с другой – с регулировочным рычагом. К ручке прикреплены два тросика, действующие на два замка, установленные на раме ТС. Управление дополнительным замком оперения 14 осуществляется путем нажатия на кнопку сбоку оперения. Замок останавливает открывание капота, после того как капот поднимается на определенную высоту, действуя на упор, прикрепленный к кабине. Замки 12 открываются раньше, чем замок 14, который не дает открываться капоту, если замки 12 оказались незаперты. Величина подъема капота обеспечивает

полное открытие замков 12. Отсутствие замка может привести к открыванию капота, например при выполнении ремонтных работ. Чтобы подрессоренная кабина имела возможность колебаться при неровной дороге, работе на склонах и т. д., не натываясь на оперение, выполнены зазоры. Колебания кабины, установленной спереди на резиновые подушки, а сзади – на рессоры, совершаются в продольной плоскости вокруг ее передних резиновых опор. Амплитуда колебаний наибольшая в месте, где капот верхней своей частью подходит к кабине, т. е. под ветровым стеклом. Направление колебаний кабины в этом месте проходит параллельно крышке капота. При достаточном перекрытии капота и выступающей части кабины или закреплении козырька появление зазора исключается. Изменяющийся боковой зазор между кабиной и вертикальными стенками капота скрывается накладкой, выполненной в месте наибольших колебаний, т. е. в верхней части зазора между дверью кабины и стенкой капота. Нижняя часть крыла прикреплена к подножке и раме. Часть крыла, прилегающая к капоту, при его отпуске ложится на нижнюю часть крыльев и своим весом через прокладки уплотняет крылья в месте их разъединения.

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований техносферной безопасности на объектах АПК, патентного поиска предложены 47 авторских патентных технических решений [100–104; 139–141; 145–146; 182–185; 194–203; 211–215; 219–222; 224–227; 229–233; 238–239; 252; 256–257] (из них 19 на изобретения) [103–104; 140; 145–146; 182–183; 185; 196–197; 199; 201; 203; 211; 213–214; 229; 231; 256; 258] для снижения запыленности на рабочем месте оператора технического средства, повышения герметичности и звукоизоляционных свойств кабины, нормализации ее теплового режима, повышения шумовой защиты и уменьшения вибраций на сиденье, обеспечения безопасной эксплуатации транспортных средств и пожаробезопасности на уборке сельскохозяйственных культур, повышения производственной безопасности сельскохозяйственной техники при работе на склонах, внесении пестицидов, техническом обслуживании, ремонте и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В монографии обобщен материал результатов исследований по обеспечению техносферной безопасности на объектах агропромышленного комплекса.

Обоснованы возможные взаимосвязи и взаимовлияние компонент эргатической системы на техносферную безопасность сельскохозяйственного производства (на примере кормоуборки), роль человеческого фактора в обеспечении безопасного функционирования эргатических систем.

Установлены теоретические зависимости для прогнозирования приспособленности технических средств к проведению регулировочных воздействий путем определения показателей безопасности, доступности, а также удобства их выполнения, с учетом физиологических показателей оператора и его антропометрических характеристик, что позволяет определить зоны повышенной опасности при проведении технологических регулировок, разработать корректирующие организационно-технические решения для управления уровнем производственного риска.

Разработано методическое сопровождение оценки техногенной опасности агропредприятий, условий и безопасности труда на рабочем месте оператора технического средства, прогнозирования и управления производственным риском в условиях изменения параметра состояния производственной среды агропроизводства, способности оператора технических средств безопасно осуществлять управленческие воздействия при их эксплуатации.

Предложены авторские патентные технические решения для повышения техносферной безопасности при эксплуатации технических средств для сельскохозяйственного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мисун, Л. В. Техносферная безопасность : пособие / Л. В. Мисун, Ал-й Л. Мисун, Ал-р Л. Мисун. – Минск : Белорус. гос. агр. техн. ун-т, 2023. – 212 с.
2. Гурачевский, В. Л. Введение в атомную энергетику. Чернобыльская авария и ее последствия / В. Л. Гурачевский. – Минск : Ин-т радиологии, 2014. – 168 с.
3. Организация и управление экологической безопасностью на объектах агропромышленного комплекса : монография / Л. В. Мисун, А. А. Зеленовский, В. М. Раубо. – Минск : Белорус. гос. агр. техн. ун-т, 2009. – 240 с.
4. Степук, Л. Я. Механизация процессов химизации и экология / Л. Я. Степук, И. С. Нагорский, В. П. Дмитрачков. – Минск : Ураджай, 1993. – 272 с.
5. Степук, Л. Я. Машины для применения средств химизации в земледелии: конструкция, расчет, регулировки : учеб. пособие / Л. Я. Степук, В. Н. Дашков, В. Р. Петровец. – Минск : Дикта, 2006. – 448 с.
6. Мисун, Л. В. Отходы производства и потребления. Проблемы и решения : монография / Л. В. Мисун, В. М. Раубо, Г.А. Рускевич. – Минск : Белорус. гос. агр. техн. ун-т, 2010. – 288 с.
7. Мисун, Л. В. Безопасность деятельности человека : пособие / Л. В. Мисун, В. В. Азаренко, А. Л. Мисун. – Минск : Белорус. гос. агр. техн. ун-т, 2018. – 140 с.
8. Гурачевский, В. Л. Радиационный контроль: физические основы и приборная база : метод. пособие. – Минск : Ин-т радиологии, 2010. – 166 с.
9. Мисун, Л. В. Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций : учеб. пособие / Л. В. Мисун, А. Л. Мисун, Т. В. Севастюк. – Минск : Белорус. гос. агр. техн. ун-т, 2016. – 224 с.
10. Мисун, Л. В. Профессиональная успешность и безопасность операторов мобильной сельскохозяйственной техники: психофизиологический отбор и прогнозирование / Л. В. Мисун, А. Н. Гурина. – Минск : Белорус. гос. агр. техн. ун-т, 2013. – 184 с.
11. Организационно-технические мероприятия для повышения безопасности и улучшения условий труда операторов мобильной сельскохозяйственной техники : монография / Л. В. Мисун [и др.] – Минск : Белорус. гос. агр. техн. ун-т, 2012. – 192 с.

12. Бурланчук, Л. Ф. Словарь-справочник по психодиагностике / Л. Ф. Бурланчук, С. М. Морозов. – СПб. : Питер, 2000. – 528 с. – Серия «Мастера психологии».
13. Raven, J. C. Extended guide to using the Mill Hille Vocabulary Scale With the Progressive Matrices Scales / J. C. Raven – London: Lewis, 1962. – 642 p.
14. Анастаси, А. Психологическое тестирование / А. Анастаси, С. Урбина. – СПб. : Питер, 2003. – 688 с. – Серия «Мастера психологии».
15. Макаренко, Н. В. Основы профессионального психофизиологического отбора / Н. В. Макаренко, Б. А. Пухов, Н. В. Кольченко. – Киев : Наукова думка, 1987. – 244 с.
16. Вассерман, Л. И. Медицинская психодиагностика: теория, практика и обучение / Л. И. Вассерман, О. Ю. Щелкова. – СПбГУ: Академия, 2003. – 736 с.
17. Психотерапевтическая энциклопедия; под ред. Б. Д. Карварского. – СПб. : Питер, 2002. – 1024 с. – Серия «Золотой фонд психотерапии».
18. Толочек, В. А. Профессиональный отбор и психологические тесты : учеб. пособие / В. А. Толочек. – М. : Мир безопасности, 2001. – 112 с.
19. Венда, В. Ф. Системный подход в инженерной психологии / В. Ф. Венда, В. А. Бодров. – М. : Наука, 1992. – 153 с.
20. Мисун, Ал-й Л. Физиологические и медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности : пособие / Ал-й Л. Мисун, Л. В. Мисун, Ал-р Л. Мисун. – Минск : Белорус. гос. агр. техн. ун-т, 2024. – 310 с.
21. Горшков, Ю. Г. Повышение эффективности транспортно-технологических процессов и улучшение условий труда работников АПК за счет инженерно-технических устройств : монография / Ю. Г. Горшков, М. С. Дмитриев, И. С. Старунова. – Челябинск : Челяб. гос. агр. ун-т, 2010. – 291 с.
22. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей : учебник / Е. С. Вентцель. – М. : Наука, 1969. – 576 с.
23. Азаренко, В. В. Исследование причин и условий возникновения опасной ситуации в процессе уборки кормовых культур / В. В. Азаренко, А. Л. Мисун // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2015. – № 4. – С. 105–113.

24. Мисун, Л. В. Физиологические и медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности : практикум / Л. В. Мисун, А. Л. Мисун, И. Н. Мисун. – Минск : Белорус. гос. агр. техн. ун-т, 2021. – 200 с.

25. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: методы обработки / Н. Джонсон, Ф. Лион – М. : Мир, 1980. – 610 с.

26. Азаренко, В. В. Научно-методическое обеспечение исследований безопасности управления технологическими операциями на клюквенном чеке / В. В. Азаренко, А. Л. Мисун, А. Ю. Ларичев // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. темат. сб. – 2015. – Вып. 49. – С. 262–273.

27. Корнев, Г. В. Введение в механику человека / Г. В. Корнев. – М. : Наука, 1997. – 263 с.

28. Мисун, А. Л. Прогнозирование удобства выполнения технологических регулировок технических средств с учетом антропометрических характеристик работника и условий их проведения / А. Л. Мисун // Горная механика и машиностроение. – 2023. – № 1. – С. 75–81.

29. Черноусько, Ф. Л. Манипуляционные работы: динамика, управление, оптимизация / Ф. Л. Черноусько, Н. Н. Болотник, В. Г. Градецкий. – М. : Наука, 1989. – 368 с.

30. Справочник по инженерной психологии; под общ. ред. Б. Ф. Ломова. – М. : Машиностроение, 1982. – 368 с.

31. Аверьянов, Ю. И. Повышение процесса уборки зерновых культур на основе совершенствования системы «оператор–машина–среда» : дис. ... докт. техн. наук: 05.26.01 / Аверьянов Юрий Иванович; Челяб. гос. агр. ун-т. – Челябинск, 2006. – 414 с.

32. Олянич, Ю. Д. Результаты теоретических исследований и моделирования условий безопасного функционирования человеко-машинных систем / Ю. Д. Олянич, В. С. Шкрабак, А. П. Лапин // Охрана труда и здоровья работников АПК России : сб. науч. тр. СПбГАУ. – 1993. – С. 32–40.

33. Пиуновский, И. И. Травматизм работников сельхозпредприятий при производстве продукции растениеводства / И. И. Пиуновский, А. В. Молош // Охрана труда. Сельское хозяйство. – 2013. – № 1. – С. 91–97.

34. Горшков, Ю. Г. Исследование риска системы «О-М-С» в транспортно-технологическом процессе сельскохозяйственных

операций / Ю. Г. Горшков, М. С. Дмитриев, О. А. Гребенщикова // Охрана труда и техника безопасности в сельском хозяйстве. – 2007. – № 10. – С. 31–35.

35. Аксенов, В. А. Совершенствование системы управления рисками для обеспечения безопасности производственных процессов / В. А. Аксенов, Д. Л. Раенок, А. М. Завьялов // Надежность. – 2013. – № 3. – С. 103–111.

36. Левашов, С. П. Автоматизированная система оценки рисков профессионального травматизма работников сельскохозяйственного производства / С. П. Левашов // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 6. – С. 58 – 61.

37. Соложенцев, Е. Д. Технологии управления риском в структурно-сложных системах / Е. Д. Соложенцев. – СПб. : Изд-во ГУАП, 2013. – 414 с.

38. Аксенов, В. А. Повышение эффективности оценки травматизма при анализе и оценке профессиональных рисков / В. А. Аксенов, П. Н. Потапов, А. М. Завьялов // Наука и техника транспорта. – 2013. – № 3. – С. 96– 99.

39. Олянич, Ю. Д. Снижение риска травмирования механизаторов путем совершенствования техники и технологий : автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.26.01 / Олянич Юрий Дмитриевич; Санкт-Петерб. гос. агр. ун-т, СПб. – Пушкин, 1998. – 47 с.

40. Гаранин, М. А. Корреляционное исследование влияния причин несчастных случаев на статистические показатели производственного травматизма / М. А. Гаранин, А. М. Завьялов, Ю. В. Дементьева // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2017. – № 3. – С. 109–120.

41. Пиуновский, И. И. Охрана труда работников при производстве и послеуборочной обработке продукции растениеводства / И. И. Пиуновский, В. И. Володкевич, А. В. Молош // Агропанорама. – 2010. – С. 22–25.

42. Пиуновский, И. И. Требования охраны труда в технологических процессах производства и послеуборочной обработки продукции растениеводства / И. И. Пиуновский, А. В. Молош // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. темат. сб. – 2009. – Вып. 43, Т. 1. – С. 217–224.

43. Гордиенко, Н. А. Охрана труда в системе управления сельскохозяйственным производством / Н. А. Гордиенко,

И. И. Пиуновский В. И. Володкевич // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. темат. сб. – 2010. – Вып. 44, Т. 2. – С. 152–158.

44. Дементьева, Ю. В. Корреляционный анализ влияния количественных факторных признаков на статистические показатели производственного травматизма / Ю. В. Дементьева // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 3. – С. 139–148.

45. Дементьева, Ю. В. Анализ влияния причин несчастных случаев на показатели производственного травматизма / Ю. В. Дементьева, М. А. Гаранин // Единый всероссийский научный вестник. – 2016. – № 9. – С. 17–26.

46. Шкрабак, В. В. Снижение и ликвидация производственного травматизма в основных отраслях АПК путем разработки и внедрения комплекса инженерных и организационно-технических трудоохранных мероприятий : дис. ... докт. техн. наук 05.26.01 / Шкрабак Владимир Владимирович; Санкт-Петерб. гос. агр. ун-т, СПб–Пушкин, 2006. – 550 с.

47. Завьялов, А. М. Прогнозирование производственного травматизма на основе множественного регрессионного анализа / А. М. Завьялов, Ю. В. Дементьева, Д. Л. Раснок // Проблемы безопасности российского общества. – М., 2017. – № 2. – С. 36–50.

48. Шкрабак, В. В. Производственный травматизм на механизированных работах в АПК и пути его снижения и ликвидации // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2005. – С. 219–234.

49. Юрков, М. М. Совершенствование методов оценки параметров условий труда операторов мобильных сельскохозяйственных агрегатов / М. М. Юрков, В. В. Шкрабак, А. М. Юрков // Снижение и профилактика травматизма и пожаров в АПК : сб. науч. тр. Санкт-Петерб. гос. агр. ун-та, СПб. – Пушкин, 2002. – С. 228–230.

50. Мисун, Л. В. Технологические процессы и средства механизации промышленного выращивания брусничных культур : монография / Л. В. Мисун. – Минск : Белорус. гос. агр. техн. ун-т, 2008. – 204 с.

51. Дмитриев, М. С. Пути повышения уровня безопасности операторов мобильных машин / М. С. Дмитриев, Ю. Г. Горшков, И. Н. Старунова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2007. – № 4. – С. 77–80.

52. Мисун, Л. В. Профессиональный отбор операторов мобильной сельскохозяйственной техники как метод предупреждения производственного травматизма в АПК / Л. В. Мисун, А. Н. Гурина, А. Л. Мисун // Агропанорама. – 2011. – № 5. – С. 45–48.

53. Азаренко, В. В. Результаты исследований экономической эффективности инженерно-технических решений для улучшения условий и повышения безопасности механизированного ухода за клюквенным покровом чека / В. В. Азаренко, А. Л. Мисун, А. Ю. Ларичев // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. темат. сб. – 2015. – Вып. 49. – С. 274–278.

54. Мисун, А. Л. Управление уровнем профессиональных рисков в промышленном выращивании клюквы / А. Л. Мисун // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. темат. сб. – 2016. – Вып. 50. – С. 128–134.

55. Азаренко, В. В. Методические подходы оценки и управления производственным риском в растениеводческой отрасли АПК Беларуси / В. В. Азаренко, Ал-р Л. Мисун, Ал-й Л. Мисун // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2017. – № 3. – С. 99–108.

56. Аверьянов, Ю. И. Выявление и совершенствование проблемных взаимосвязей структурных элементов системы безопасности движения мобильных машин / Ю. И. Аверьянов, В. К. Глемба // Вестник Челябинского государственного аграрного университета. – 2013. – Т. 66. – С. 25–34.

57. Шкрабак, Р. В. Травмирование работников АПК карданными валами и обоснование средств защиты от них / Р. В. Шкрабак // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – Красноярск, 2007. – № 6. – С. 247–253.

58. Ворошилов, С. П. Комплекс контроля компетентности работников в сфере безопасности труда / С. П. Ворошилов // Охрана и экономика труда. – М., 2015. – № 1. – С. 68–72.

59. Лопатин, А. Н. Повышение безопасности операторов средств механизации мелиоративных работ в АПК за счет инженерно-технических мероприятий : дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Лопатин Александр Николаевич; Санкт-Петерб. гос. агр. ун-т. – СПб.– Пушкин, 2000. – 216 с.

60. Митрофанов, П. Г. Улучшение условий и охраны труда работников АПК путем совершенствования эргономических

параметров рабочих мест и внедрения организационно-технических мероприятий : дис. ... докт. техн. наук: 05.26.01 / Митрофанов Петр Георгиевич; Санкт-Петерб. гос. агр. ун-т. – СПб. – Пушкин, 1999. – 564 с.

61. Мисун, Л. В. Научные и технологические основы производства крупноплодной клюквы / Л. В. Мисун. – Минск : Белорус. издат. товарищество «Хата», 1995. – 135 с.

62. Тюриков, Б. М. Улучшение условий и охраны труда работников АПК путем обоснования, разработки и использования дыхательных аппаратов : дис. ... докт. техн. наук : 05.26.01 / Тюриков Борис Михайлович; Санкт-Петерб. гос. агр. ун-т. – СПб. – Пушкин, 2010. – 621 с.

63. Фоминова, О. В. Улучшение условий труда операторов мобильных сельскохозяйственных машин за счет управления процессом демпфирования в системах виброзащиты : дис. ... докт. техн. наук : 05.26.01 / Фоминова Ольга Владимировна; Орловск. гос. техн. ун-т, Орел, 2005. – 391 с.

64. Христофоров, Е. Н. Предотвращение аварийности и травматизма водителей сельскохозяйственных транспортных средств путем инженерно-технических мероприятий : дис. ... докт. техн. наук: 05.26.01 / Христофоров Евгений Николаевич; Санкт-Петерб. гос. агр. ун-т. – СПб. – Пушкин, 2009. – 345 с.

65. Козлов, В. В. «Человеческий фактор» как современная методология обеспечения надежного функционирования эргатических систем / В. В. Козлов // Безопасность жизнедеятельности. – 2004. – № 7. – С. 7–10.

66. Переездчиков, И. В. Надежность технических систем и техногенный риск : в 4 ч. Ч. 2: Анализ опасностей сложных систем «человек–машина–среда» / И. В. Переездчиков, О. В. Крышевич. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 47 с.

67. Гуляева, Т. И. Безопасность труда в агропромышленном комплексе : учеб. пособие / Т. И. Гуляева. – Орел : Орловск. гос. агр. ун-т, 2008. – 504 с.

68. Тимофеева, С. С. Современные методы оценки профессиональных рисков и их значение в системе управления охраной труда / С. С. Тимофеева // Техносферная безопасность. – 2016. – № 1. – С. 14–24.

69. Мисун, Л. В. Прогнозирование профессиональной успешности и безопасности операторов мобильной сельскохозяйственной

техники / Л. В. Мисун, А. Н. Леонов, А. Н. Гурина // Агропанорама. – 2012. – № 5. – С. 25–30.

70. Бойченко, Н. В. Реализация системных методов управления профессиональными рисками / Н. В. Бойченко // Технологический аудит и резервы производства. – М., 2014. – Т. 3, № 3. – С. 20–22.

71. Тимашов, А. В. Ориентирование системы управления охраной труда на оценку и управление профессиональным риском / А. В. Тимашов // Охрана и экономика труда. – 2015. – № 4. – С. 49–54.

72. Глемба, К. В. Методы оценки информационной перегрузки оператора в процессе управления машиной / К. В. Глемба, В. К. Глемба // Вестник Челябинского государственного аграрного университета. – 2010. – Т. 56. – С. 5–10.

73. Божанов, А. А. Улучшение условий и охраны труда операторов фронтальных погрузчиков агропромышленного комплекса за счет повышения устойчивости и эргономики : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Божанов Аркадий Александрович; Всерос. науч.-ислед. ин-т охраны труда, Орел, 2007. – 18 с.

74. Кузьмина, В. В. Совершенствование процесса выявления причин профессиональных рисков / В. В. Кузьмина, В. С. Сердюк // Охрана и экономика труда. – 2014. – № 1. – С. 49–52.

75. Шкрабак, В. В. Улучшение условий и охраны труда работников АПК за счет разработки и внедрения организационно-технических мероприятий по профилактике травматизма / В. В. Шкрабак, М. С. Овчаренко // Состояние и профилактика травматизма и пожаров в АПК : сб науч. тр. Санкт-Петерб. гос. агр. ун-та. – СПб.–Пушкин, 2003. – С. 131–142.

76. Шкрабак, В. В. Характеристика условий труда оператора мобильной сельскохозяйственной техники / В. В. Шкрабак, А. А. Овчаренко, М. С. Овчаренко // Состояние и профилактика травматизма и пожаров в АПК : сб. науч. тр. Санкт-Петерб. гос. агр. ун-та. – СПб. – Пушкин, – 2003. – С. 147–156.

77. Маркарянц, Л. М. Проблемы повышения безопасности операторов мобильных средств в сельскохозяйственном производстве / Л. М. Маркарянц, Т. И. Белова, Р. В. Степко // Состояние и профилактика травматизма и пожаров в АПК : сб. науч. тр. Санкт-Петерб. гос. агр. ун-та. – СПб. – Пушкин, 2003. – С. 50–53.

78. Sousa, S. Measuring and managing operational risk in industrial processes / S. Sousa, E. Nunes, I. Lopes // FME Transaction. – 2015. – № 43. – С. 295–302.

79. Дмитриев, М. С. Оценка риска травмирования механизаторов при выполнении регулировок зерноуборочных комбайнов / М. С. Дмитриев, Б. П. Кутепов, Ю. И. Аверьянов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2005. – № 3. – С. 20–21.

80. Дмитриев, М. С. Определение уровня безопасности операторов мобильных средств сельскохозяйственного назначения / М. С. Дмитриев, Ю. Г. Горшков, А. В. Богданов // Безопасность жизнедеятельности. – 2006. – № 5. – С. 2–6.

81. Дмитриев, М. С. Оценка удобства и доступности выполнения технологических регулировок зерноуборочных комбайнов / М. С. Дмитриев, Б. П. Кутепов, Ю. И. Аверьянов // Вестник Челябинского государственного аграрно-инженерного университета. – 2002. – Т. 37. – С. 98–101.

82. Дмитриев, М. С. Исследование риска травмирования комбайнеров на основе оценки приспособленности зерноуборочных комбайнов к выполнению технологических регулировок / М. С. Дмитриев, Ю. Г. Горшков, Б. П. Кутепов // Двухфазный обмолот в отечественном и зарубежном комбайностроении : сб. науч. тр. – Костанай, 2005. – № 3. – С. 4–10.

83. Дмитриев, М. С. Повышение показателей приспособленности рабочих органов зерноуборочного комбайна к выполнению технологических регулировок / М. С. Дмитриев, Б. П. Кутепов, Ю. И. Аверьянов // Двухфазный обмолот в отечественном и зарубежном комбайностроении : сб. науч. тр. – Костанай, 2005. – № 3. – С. 97–101.

84. Кутепов, Б. П. Оценка приспособленности зерноуборочных комбайнов к выполнению технологических регулировок / Б. П. Кутепов, А. М. Бибин // Совершенствование способов уборки и послеуборочной обработки зерна : сб. науч. тр. Челяб. ин-та механиз. и электриф. с. х. – Челябинск, 1981. – Вып. 164. – С. 67–72.

85. Алуханян, В. А. Обоснование экспертной системы технологических регулировок зерноуборочного комбайна : дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Алуханян Вадим Александрович, Донской гос. техн. ун-т, Ростов-на-Дону, 2006. – 211 с.

86. Борисова, Л. В. Повышение эффективности функционирования уборочных машин на основе моделей экспертных знаний : дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01; 05.20.03 / Борисова Людмила Викторовна, Ростовская-на-Дону гос. акад. с.-х. машиностроения. – Ростов-на-Дону, 2007. – 514 с.

87. Сазанович, В. И. Обоснование метода технологической настройки зерноуборочного комбайна с применением экспертной системы : дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Сазанович Виталий Иванович, Всерос. науч.-исслед. проектно-технол. ин-т механиз. и электриф. с. х. – Зерноград, 2004. – 186 с.

88. Шаманова, Е. В. Улучшение условий и охраны труда слесарей-ремонтников при техническом обслуживании зерноуборочных комбайнов в АПК России : дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Шаманова Елена Владимировна, Челяб. гос. агр. ун-т, Челябинск, 2005. – 134 с.

89. Суворов, С. Б. Комплексный подход к оценке травмобезопасности рабочих мест / С. Б. Суворов // Безопасность жизнедеятельности. – 2007. – № 8. – С. 2–4.

90. Гальянов, И. В. Улучшение условий и охраны труда механизаторов сельского хозяйства путем совершенствования техники и технологии : дис. ... докт. техн. наук: 05.26.01 / Гальянов Иван Васильевич; Санкт-Петерб. гос. агр. ун-т. – СПб.–Пушкин, 1999. – 335 с.

91. Копылов, Г. Н. Статистический анализ показателей травматизма в сельскохозяйственных подразделениях / Г. Н. Копылов, В. С. Шкрабак, А. В. Ковалев // Пути обеспечения безопасности и средства электромеханизации в сельском хозяйстве : сб. науч. тр. Санкт-Петерб. гос. агр. ун-та. – СПб.–Пушкин, 1999. – С. 28–41.

92. Азаренко, В. В. Результаты исследований безопасности труда на клюквенных чеках в условиях изменяющихся параметров производственной среды / В. В. Азаренко, А. Н. Леонов, А. Л. Мисун // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2016. – № 1. – С. 109–116.

93. Мисун, А. Л. Тестирование функционального состояния технического средства с учетом оценки его приспособленности к технологическим регулировкам и безопасности их выполнения : компьютер. программа / А. Л. Мисун, В. В. Азаренко. – Минск : Белорус. гос. агр. техн. ун-т, 2019. – св-во о госрегр. № 1166.

94. Макаров, П. В. Совершенствование методики оценки профессионального риска в строительной отрасли на основе экспертных оценок и анкетирования : дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Макаров Павел Вячеславович; Нижегородск. гос. архит.-строит. ун-т. – Волгоград, 2010. – 172 с.

95. Даданов, Ю. А. Международная научная школа специалистов по анализу риска в сложных системах / Ю. А. Даданов, А. В. Денисов,

Е. А. Иванов // Безопасность труда в промышленности. – 2001. – № 7. – С. 58.

96. Даданов, Ю. А. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов : метод. указания / Ю. А. Даданов, А. В. Денисов, Е. А. Иванов // Безопасность труда в промышленности. – 2001. – № 10. – С. 40–42.

97. Tanaka, K. Production risk management system with demand probability distribution / K. Tanaka, H. Akimoto, M. Inoue // Advanced Engineering Informatics. – 2012. – № 26. – С. 46–54.

98. Occupational health and safety management systems: BS 8800:2004, 2004. – 76 с.

99. Мисун, А. Л. Оценка производственного риска при возделывании сельскохозяйственных культур / А. Л. Мисун // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2017. – № 11. – С. 134–139.

100. Полезная модель ВУ 9399, МПК В 62Д 33/06; В 60Н 1/00 (2006.01). Кабина транспортного средства: №u20121141: заявлено 21.12.2012: опубл. 30.08.2013 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик Ю. В., Агейчик В. А., Гурина А. Н.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 6 с.

101. Полезная модель ВУ патент 9631, МПК В 60Н 1/00; В 62Д 33/06, (2006.01). Кабина транспортного средства: №u20130333: заявлено 15.04.2013: опубл. 30.10.2013 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик Ю. В., Агейчик В. А., Гурина А. Н.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 4 с.

102. Полезная модель ВУ патент 9368, МПК В 60Н 1/00; В 62Д 33/06 (2006.01). Кабина транспортного средства: №u20130041: заявлено 14.01.2013: опубл. 30.08.2013 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик Ю. В., Агейчик В. А., Гурина А. Н.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 6 с.

103. Патент ВУ 20533 МПК В 60Н 1/00; В 62Д 33/06 (2006.01). Кабина транспортного средства: №a20121803: заявлено 21.12.2012: опубл. 30.10.2016 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик Ю. В., Агейчик В. А., Гурина А. Н.; заявители Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик Ю. В., Агейчик В. А., Гурина А. Н. – 6 с.

104. Патент ВУ 20535, МПК В 60Н 1/00; В 62Д 33/06 (2006.01). Кабина транспортного средства: №a20130477: заявлено 15.04.2013: опубл. 30.10.2016 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик Ю. В., Агейчик В. А., Гурина А. Н.; заявители Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик Ю. В., Агейчик В. А., Гурина А. Н. – 6 с.

105. Мисун, Л. В. Снижение влияния грозových проявлений на объектах агропромышленного комплекса / Л. В. Мисун, А. Н. Скрипко. – Минск : Белорус. гос. агр. техн. ун-т, 2015. – 116 с.

106. Молниезащита зданий, сооружений и инженерных коммуникаций: ТКП 336–2011. – Введ. 01.11.2011. – Минск : Энерго-энерго, 2011. – 187 с.

107. Скрипко, А.Н. Исследование защиты объектов от воздействия грозových разрядов / А.Н. Скрипко, Л. В. Мисун, А. Н. Леонов // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2013. – № 1. – С. 70–77.

108. Машины и тракторы сельскохозяйственные и лесные. Методы оценки приспособленности к техническому обслуживанию: ГОСТ 26026–83. – М. : Изд-во стандартов, 2015. – 10 с. (дата обращения 22.12.2024).

109. Quality management systems. Requirements. It is commissioned: ISO 9001: 2000. – Geneva: European Committee for Standardization, 2000. – 34 p.

110. Occupational health and safety management systems. Specification: OHSAS 18001. – London: British Standards Institute, 2007. – 76 p.

111. Овчинникова, Н. И. Надежность технологических систем «человек–машина–среда» в растениеводстве (на примере обработки почвы и уборки урожая): дис. ... докт. техн. наук: 05.20.03 / Овчинникова Наталья Ивановна, Иркутск, 2001. – 426 с.

112. Мисун, А. Л. Прогнозируемая травмоопасность при восстановлении работоспособности кормоуборочных комбайнов // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. Химическая технология. Охрана труда. – 2016. – № 3. – С. 179–185.

113. Методические указания «Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным»: РД 50–690–89 – М, 1990. – 131 с. (дата обращения 26.12.2024 г.).

114. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки: ГОСТ Р 52778–2007 – М. : Изд-во стандартов, 2007. – 15 с.

115. Митков, А. Л. Статистические методы в сельхозмашиностроении / А. Л. Митков, С. В. Карданевский. – София : Земиздат, 1978. – 360 с.

116. Машины землеройные, тракторы и машины для сельскохозяйственных работ и лесоводства. Контрольная точка сиденья: ГОСТ 27715–88 – М., 1988: – 23 с. (дата обращения 21.09.2024 г.).

117. Гальянов, И. В. Оценка удобства рабочего места в кабине трактора / И. В. Гальянов // Проблемы охраны труда в АПК и пути их решения: сб. науч. тр. Санкт-Петерб. гос. агр. ун-та. – СПб. – Пушкин, 1999. – С. 132–135.

118. Мисун, А. Л. Подбор экспертов для оценки профессиональной подготовки операторов мобильной сельскохозяйственной техники : компьют. программа / А. Л. Мисун [и др.]. Минск : Беларус. гос. агр. техн. ун-т, 2019. – св-во о госрег. № 1184.

119. Мисун, А. Л. Прогнозирование безопасного использования с.-х. машин в растениеводстве по их показателю приспособленности к выполнению технологических регулировок / А. Л. Мисун // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2021. – № 3. – С. 2–10.

120. Черчмен, У. Введение в исследование операций / У. Черчмен. – Мир, 1968. – 448 с.

121. Леонов, А. Н. Основы научных исследований и моделирования : учеб.-метод. комплекс / А. Н. Леонов, М. М. Дечко, В. Б. Ловкис. – Минск : Беларус. гос. агр. техн. ун-т, 2010. – 276 с.

122. Бурков, Е. А. Определение субъективности и надежности экспертных оценок на основе анализа статистических данных // Известия государственного электротехнического университета. – 2010. – № 9. – С. 33–38.

123. Конышева, Л. К. Основы теории нечетких множеств / Л. К. Конышева, Д. М. Назаров. – СПб., 2011. – 192 с.

124. Система стандартов безопасности труда: ГОСТ 12.3.002–2014. Минск : Госстандарт: Беларус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2015. – 19 с.

125. Система стандартов безопасности труда. Система управления охраной труда. Методы идентификации опасностей на различном этапе выполнения работ: ГОСТ 12.0.230–2018. – Минск : Госстандарт: Беларус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2019. – 22 с.

126. Сидорович, Е. А. Технология производства посадочного материала клюквы крупноплодной / Е. А. Сидорович, Н. Н. Рубан, А. В. Шерстеникина. – Минск : Беларус. науч. исслед. ин-т науч.-техн. информации и техн.-эконом. исслед., 1992. – 88 с.

127. Сидорович, Е. А. Технология промышленного выращивания клюквы крупноплодной на получение ягодной продукции / Е. А. Сидорович, Н. Н. Рубан, А. Н. Шерстеникина. – Минск : Бе-

лорус. науч.-исслед. ин-т науч.-техн. информации и техн.-экон. исслед., 1992. – 120 с.

128. Проектирование производственных плантаций клюквы крупноплодной : пособие к СН иП 2.06.03 – 85 «Мелиоративные системы и сооружения». – Минск : Белорус. науч.-исслед. ин-т мелиор. и луговодства, 1991. – 37 с.

129. Климова, Е. В. Улучшение охраны труда работников карьеров агропромышленного комплекса : автореф. дис... канд. техн. наук : 05.26.01 / Климова Елена Владимировна: Всерос. науч.-исслед. ин-т охраны труда. – Орел, 2006. – 29 с.

130. Теоретические основы инженерной геологии. Механико-математические основы ; под общ. ред. акад. Е. М. Сергеева. – М. : Недра, 1986. – 385 с.

131. Комплект технологических карт на строительство плантаций по выращиванию и воспроизводству клюквы крупноплодной. – Пинск : Главполесьеводстрой, 1986. – 106 с.

132. Климова, Е. В. Выбор безопасных параметров откосов с целью охраны труда на карьерах / Е. В. Климова // Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных геологических условиях : материалы восьмого Международ. симпоз, 15–17 окт. 2005 г., г. Белгород : в 2 ч. / Белгородск. гос. нац. исслед. ун-т. – Белгород, 2005. – Ч. 2. – С. 104–108.

133. Храмцов, Б. А. Аналитический расчет устойчивости откосов по поверхности скольжения в виде логарифмической спирали / Б. А. Храмцов, Е. В. Климова // Образование, наука, производство и управление в XX веке : сб. науч. тр. – Белгородск. гос. нац. исслед. ун-та. – Белгород., 2004. – Т. II. – С. 396–398.

134. Цытович, Н. А. Механика грунтов / Н. А. Цытович. – М. : Высш. школа, 1983. – 288 с.

135. Чугаев, Р. Р. Земляные гидротехнические сооружения: теоретические основы решения / Р. Р. Чугаев. – Л.: Энергия, 1967. – 459 с.

136. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. – Л. : ВНИМИ, 1972. – 164 с.

137. Крук, И. С. Научно-технические основы проектирования рабочих органов штанговых опрыскивателей / И. С. Крук. – Минск : Белорус. гос. агр. техн. ун-т, 2018. – 272 с.

138. Крук, И. С. Способы и технические средства защиты факела распыла от прямого воздействия ветра в конструкциях полевых опрыскивателей / И. С. Крук, Т. П. Кот, О. В. Гордеенко. – Минск : Белорус. гос. агр. техн. ун-т, 2015. – 284 с.

139. Полезная модель ВУ патент 7100, МПК В 62Д 57/00 (2009). Устройство для самовытаскивания колесных транспортных средств: №и20100723: заявлено 16.08.2010: опубл. 28.02.2011 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик Ю. В., Агейчик В. А.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 5 с.

140. Патент ВУ 16905 В1, МПК В 60С 27/22; В 62Д 57/02 (2006.01). Устройство для самовытаскивания заднеприводного колесного транспортного средства: №а20101227: заявлено 16.08.2010: опубл. 28.02.2013 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик Ю. В., Агейчик В. А.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 4 с.

141. Полезная модель ВУ 8801, МПК А 01М 7/00 (2006.01). Штанга опрыскивателя с ветрозащитными устройствами: №и20120509: заявлено 18.05.2012: опубл. 30.12.2012 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик Ю. В., Агейчик В. А.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 5 с.

142. Полезная модель ВУ 3928 F1, МПК F 01М 7/00 (2006.01). Штанга опрыскивателя с ветрозащитными устройствами: №и20100320: заявлено 04.07.2007: опубл. 18.01.2008 / Крук И. С., Гордеенко О. В., Послед Е. В., Гайдуковский А. И., Назарова Г. Ф., Новиков А. А., Гринкевич П. Э.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 4 с.

143. Полезная модель ВУ 6648, МПК А 01 М 7/00 (2006.01). Штанга опрыскивателя с ветрозащитными устройствами: №и20100267: заявлено 18.03.2018: опубл. 30.10.2010 / Крук И. С., Гордеенко О. В., Послед Е. В., Гайдуковский А. И., Назарова Г. Ф., Новиков А. А., Гринкевич П. Э.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 4 с.

144. Горленко, С. В. Болезни и вредители клюквы крупноплодной / С. В. Горленко, С. В. Буга. – Минск : Навука і тэхніка, 1996. – 247 с.

145. Патент ВУ 20415, МПК А 01М 7/00 (2006.01). Опрыскиватель: №а20130164: заявлено 11.02.2013: опубл. 30.08.2016 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик Ю. В., Агейчик В. А., Гурина А. Н.; заявители: Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик Ю. В. [и др.]. – 5 с.

146. Патент ВУ № 19401, МПК А 01М 7/00 (2006.01). Штанга опрыскивателя: №а20120776: заявлено 18.05.2012: опубл. 30.08.2015 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик Ю. В., Агейчик В. А., Гурина А. Н.; заявитель: Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 5 с.

147. Growing cranberries // Agriculture Canada. – Publication. – 1982. – 1282 / E. – P. 28.

148. Патент US 6123478, МПК А 46В 11/00 (2006.01). Устройство для нанесения жидкости: №a6123478: заявлено 18.03.1999: опубл. 26.09.2000 / Henry J. Recla; заявитель Henry J. Recla. – 5 с.

149. Патент US 444397, МПК А 01В 26/04 (2006.01). Аппликатор для распределения жидкости на растения: №a444397: заявлено 24.09.1990: опубл. 06.01.1991 / Rudolph M. Hunter; заявитель Rudolph M. Hunter. – 4 с.

150. Патент US 7213997, МПК В 05С 1/00; В 43М 11/02; В 43К 1/06 (2006.1). Устройство аппликатора для нанесения гербицида: №a196078: заявлено 03.08.2005: опубл. 08.05.2007 / E. Carroll Joyner; заявитель E. Carroll Joyner. – 4 с.

151. Патент UK 2275058, МПК Н 02G 1/14 (2006.01). Устройство для активного смачивания агрохимикатами: №a2020060: заявлено 04.09.1991: опубл. 12.11.1993 / James Ernest Gordon; заявитель James Ernest Gordon. – 5 с.

152. Патент US 6434880, МПК А 01С 23/02 (2006.01). Система устройств для нанесения агрохимикатов на растения: №a760982: заявлено 16.01.2001: опубл. 20.08.2002 / Wayne Dubois, Mark Dubois, Brett Dubois, Monte Dubois; заявитель Wayne Dubois, Mark Dubois, Brett Dubois, Monte Dubois. – 5 с.

153. Полезная модель RU 2176876, МПК А 01М 21/04 (2006.01). Устройство для нанесения ядохимикатов на растения: №a2000106959: заявлено 21.03.2000: опубл. 20.12.2000 / Главацкий Г. Д., Забегалин Е. М., Кривоуццкий А. И.; заявитель Всерос. науч.-исслед. ин-т противопож. охр. лесов и механиз. лесн. хоз-ва. – 5 с.

154. Патент RU 2127974, МПК А 01М 21/00; А 01М 21/04 (2006.01). Вращающееся контактное фитильное устройство для обработки растений: №a96118278: заявлено 14.02.1995: опубл. 27.03.1999 / АлексМартин Стивенс; заявитель «Видбаг ПТИ». – 5 с.

155. Патент US 15523, МПК А 01В 24/06 (2006.01). Виды аппликаторов и их компоненты: №a652387: заявлено 07.09.2000: опубл. 08.03.2001 / CENTROGEN holding; заявитель CENTROGEN holding. – 7 с.

156. Патент US 42187, МПК А 01В 26/04 (2006.01). Аппликатор для выборочной подачи агрохимикатов к растениям: №a563774: заявлено 07.12.1995: опубл. 24.03.1997 / WIPO; заявитель WIPO. – 5 с.

157. Патент US 4347684, МПК А 01М 21/03 (2006.01). Аппликатор для строчного нанесения гербицида: №a259924: заявлено 12.03.1981: опубл. 07.09.1982 / John Keeton; заявитель John Keeton. – 5 с.

158. Патент UK 2305590, МПК Н 04G 1/16 (2006.01). Техническое средство для нанесения гербицида: №a3200157: заявлено 14.07.1994: опубл. 29.09.1995 / Nathy Mullarkey; заявитель Nathy Mullarkey. – 5 с.

159. Патент US 4624071, МПК А 01М 28/04 (2006.01). Аппликатор для нанесения гербицида: №a308744: заявлено 14.07.1984: опубл. 25.11.1986 / Glen A. Mumeу; заявитель Glen A. Mumeу. – 5 с.

160. Полезная модель BY 3916, МПК А 01С 15/00 (2006.01). Устройство для контактного внесения гербицидов: №и20070209: заявлено 26.03.2007: опубл. 30.10.2007 / Мисун Л. В., Мисун В. Л., Агейчик В. А.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 5 с.

161. Полезная модель RU 66886, МПК А 01G 9/02; С 08L 23/06; В 65Д 1/00 (2006.01). Устройство для выращивания растений: №и2007111156: заявлено 26.03.2007: опубл. 10.10.2007 / Бахов С. К., Шевцов В. А.; заявители: Бахов С. К., Шевцов В. А. – 5 с.

162. Патент BY 12722, МПК А 01С 7/00; А 01М 7/00; А 01С 15/00 (2006.01). Устройство для контактного внесения гербицидов, агрегатируемое с мотоблоком: №a20070620: заявлено 24.05.2007: опубл. 30.12.2009 / Мисун Л. В., Мисун В. Л., Агейчик В. А.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 5 с.

163. Патент DE 16039834, МПК А 01F 24/04 (2006.01). Способ и устройство для обрезки высокорослых растений: №a139834: заявлено 16.08.2000: опубл. 07.03.2002 / Manfred Schlasse; заявитель Manfred Schlasse. – 5 с.

164. Патент DE 12855650, МПК А 01F 26/04 (2006.01). Техническое средство для нанесения гербицида: a126638: заявлено 03.07.1999: опубл. 13.02.2001 / Manfred Schlasse; заявитель Manfred Schlasse. – 5 с.

165. Патент US 6357215, МПК А 01Д 34/63 (2006.01). Vegetation cutting tool and blade: №a6357215: заявлено 09.04.1998: опубл. 19.03.2002 / Peter Thorne.; заявитель Peter Thorne. – 5 с.

166. Патент UK 2409142, МПК Н 02G 3/18 (2006.01). Техническое средство для смачивания растений: №a2021874: заявлено 03.11.2002: опубл. 12.10.2003 / James Ernest Gordon; заявитель James Ernest Gordon. – 6 с.

167. Патент RU 2051557, МПК А 01Д 34/63 (2006.01). Машина для скашивания и измельчения растительности: №а5007933: заявлено 11.11.1991: опубл. 10.01.1996 / Мармалюков В. П., Мисун Л. В., Астахов М. И., Шупилов А. А., Пасеко А. П., Лавор Б. Л.; заявители: Мармалюков В. П., Мисун Л. В., Астахов М. И., Шупилов А. А., Пасеко А. П., Лавор Б. Л. – 6 с.

168. Василенко, П. М. К динамике поперечного опрокидывания двухколесного мобильного машинного агрегата / П. М. Василенко, В. Г. Кузьминский // Земледельческая механика. – М., 1969. – Т. 12. – С. 92 – 108.

169. Мисун, Л. В. Повышение эффективности ухода за промышленными клюквенными чеками совершенствованием технологии срезания с измельчением сорной растительности / Л. В. Мисун, А. А. Бабак // Агропанорама. – 2009. – № 2. – С. 11–16.

170. Полезная модель ВУ 5101, МПК А 01Д 34/63 (2006.01). Машина для измельчения сорной растительности: №и20080610: заявлено 29.07.2008: опубл. 28.02.2009 / Мисун Л. В., Бабак А. А., Агейчик В. А.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 3 с.

171. Сидорович, Е. А. Интродукция и опыт выращивания клюквы крупноплодной, голубики высокой и брусники / Е. А. Сидорович, Н. Н. Рубан, А. В. Шерстеникина. – Минск : Белорус. науч.-исслед. ин-т науч.-техн. информации и техн.-экон. исслед., 1991. – 52 с.

172. Азаренко, В. В. Оценка уровня опасности профессиональных рисков на клюквенных чеках оператора технических средств / В. В. Азаренко, А. Л. Мисун // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства : сб. науч. тр. – Горки, 2016. – Вып. 2. – С. 165–167.

173. Технический регламент о безопасности машин и оборудования: ТР ТС 010/2011. – Утв. 18.10.2011.

174. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Техника сельскохозяйственная. Методы оценки безопасности: ГОСТ 12.2.002–91. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 74 с.

175. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Методы контроля безопасности: ГОСТ 12.2.122 – 2013; введ. 01.01.2015. – М. : Изд-во стандартов, 2013. – 32 с.

176. Мисун, А. Л. Обеспечение безопасности производственной среды в кабине мобильной сельскохозяйственной техники / А. Л. Мисун, И. М. Морозова, Л. В. Мисун // Вестник Полоцкого го-

сударственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2018. – № 11. – С. 24–27.

177. Мисун, А. Л. Улучшение условий труда в кабине мобильной сельскохозяйственной техники / А. Л. Мисун, И. Н. Мисун, Н. Ф. Моисеенко // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства : сб. науч. тр. – Горки, 2018. – Вып. 3. – С. 94–98.

178. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны: ГОСТ 12.1.005–88. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 18 с. (дата актуализации 21.04.2018).

179. Босак, В. Н. Безопасность жизнедеятельности человека : учебник. – Минск : Вышэйшая школа, 2016. – 335 с.

180. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности: ГОСТ 12.1.003 – 83. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 16 с. (дата актуализации 21.04.2018).

181. Агейчик, В. А. Улучшение условий и повышение безопасности труда оператора мобильной сельскохозяйственной техники / В. А. Агейчик, Ал-р Л. Мисун, Ал-й Л. Мисун // Агропанорама. – 2011. – № 1. – С. 44–48.

182. Патент ВУ 16024, МПК В 62Д 33/06, В 60S 1/56 (2006.01). Кабина транспортного средства: №a20100279: заявлено 25.05.2010: опубл. 30.06.2012 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик В. А.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 5 с.

183. Патент ВУ 16704, МПК В 60К 20/04; F 16Н 57/02 (2006.01). Устройство для герметизации рычага управления коробки скоростей в кабине транспортного средства: №a20100627: заявлено 23.04.2010: опубл. 30.12.2012 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик В. А.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 6 с.

184. Полезная модель ВУ 9123, МПК В 62Д 33/06, В 60S 1/62 (2006.01). Кабина транспортного средства: №u20120861: заявлено 03.10.2012: опубл. 30.04.2013 / Мисун Л. В., Гурина А. Н., Мисун А. Л., Агейчик Ю. В., Агейчик В. А.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 3 с.

185. Патент ВУ 160250, МПК В 62Д 33/06 (2006.01). Кабина транспортного средства: №a20100542: заявлено 09.04.2010: опубл. 30.08.2012 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик В. А.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 5 с.

186. Мисун, А. Л. Техническое решение и основные показатели звукоизоляции двухслойной конструкции из стекла кабины мобильной сельскохозяйственной техники / А. Л. Мисун, И. Н. Мисун, А. Г. Кузнецов // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. – Горки, 2021. – Вып. 6. – С. 29–32.

187. Алексеев, А. С. Охрана труда. Практикум / А. С. Алексеев, А. Е. Кондраль, А. Н. Кудрявцев. – Минск : ИВЦ Минфина, 2017. – 192 с.

188. Кисленко, А. К. Оценка условий труда операторов тракторов сельскохозяйственного назначения / А. К. Кисленко, М. А. Архилаев, П. Д. Веретенников // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2004. – № 2. – С. 236–240.

189. Азаренко, В. В. Оценка уровня безопасности труда на уборке кормовых культур как показателя снижения профессиональных рисков / В. В. Азаренко, А. Л. Мисун, С. Н. Корбут // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2016. – № 3. – С. 99–106.

190. Мисун, А. Л. Организационно-технические мероприятия для повышения эффективности и безопасности транспортного обеспечения уборки кормовых культур / А. Л. Мисун, П. Е. Круглый, Л. В. Мисун // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. темат. сб. – 2018. – Вып. 51. – С. 261–265.

191. Богданов, А. В. Повышение безопасности и совершенствование оценки условий труда операторов мобильных колесных машин в агропромышленном производстве : дис. ... докт. техн. наук: 05.26.01 / Богданов Андрей Владимирович, Челяб. гос. агр. техн. ун-т. – Челябинск, 2010. – 358 с.

192. Богданов, А. В. Улучшение параметров микроклимата в кабинах мобильных машин / А. В. Богданов // Безопасность жизнедеятельности. – 2009. – № 5. – С. 8–10.

193. Мисун, А. Л. Оценка уровня безопасности труда при эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники : компьютер. программа / А. Л. Мисун, В. В. Азаренко. – Минск : Белорус. гос. агр. техн. ун-т, 2019. – св-во о госрегистр. № 1178.

194. Полезная модель ВУ 5190, МПК А 01Д 46/24 (2006.01). Хедер для расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквы: №и20080741: заявлено 30.09.2008: опубл. 05.01.2009 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик В. А.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 6 с.

195. Полезная модель ВУ 5950, МПК А 01Д 46/00 (2006.01). Устройство для расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквы: №a20090484: заявлено 10.06.2009: опубл. 28.02.2010 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик В. А.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 5 с.

196. Патент ВУ 13842, МПК А 01Д 47/00 (2006.01). Хедер для расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквы: №a20081232: заявлено 30.09.2008: опубл. 30.12.2010 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик В. А.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 5 с.

197. Патент ВУ 14905, МПК А 01Д 65/00 (2006.01). Устройство для расчесывания с обрезкой стелющихся побегов клюквы: №a20090845: заявлено 10.06.2010: опубл. 30.08.2011 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик В. А.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 6 с.

198. Полезная модель ВУ 7418, МПК А 01Д 47/00 (2006.01). Хедер для расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквы: №u20101051: заявлено 21.12.2010: опубл. 30.08.2011 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик В. А., Агейчик А. В.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 5 с.

199. Патент ВУ 16179, МПК F 16P 1/02 (2006.01). Предохранительное устройство для карданного вала: №a20100171: заявлено 08.02.2010: опубл. 30.08.2012 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик В. А.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 5 с.

200. Полезная модель ВУ 8801, МПК А 01М 7/00 (2006.01). Штанга опрыскивателя с ветрозащитными устройствами: №u20120509: заявлено 18.05.2012: опубл. 30.12.2012 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик Ю. В., Агейчик В. А., Гурина А. Н.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 6 с.

201. Патент ВУ 17465, МПК А 01Д 47/00 (2006.01). Хедер для расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквы: №a20101856: заявлено 21.12.2010: опубл. 30.08.2013 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик А. В., Агейчик В. А.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 5 с.

202. Полезная модель ВУ 9870 А1, МПК А 01Д 47/00 (2006.01). Хедер для расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквы: №u20130604: заявлено 17.07.2013: опубл. 28.02.2014 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик В. А., Лягуский В. Г.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 5 с.

203. Патент ВУ 20945 А1, МПК А 01Д 47/00 (2006.01). Хедер для расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквы: №a20130861: заявлено 17.07.2013: опубл. 30.04.2017 / Мисун Л. В.,

Мисун А. Л., Агейчик В. А., Лягуский В. Г.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 5 с.

204. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М. : Высшая школа, 2000. – 480 с.

205. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рошин. – Л. : Колос, 1980. – 168 с.

206. Мисун, Л. В. Исследование безопасности функционирования системы «оператор–машина–среда» в агропроизводстве / Л. В. Мисун, В. В. Азаренко, А. Л. Мисун // Агропанорама. – 2012. – № 2. – С. 32–35.

207. Машины сельскохозяйственные навесные и прицепные. Общие требования безопасности: ГОСТ 12.2.111–2020. – М. : Из-во стандартов, 2020. – 7 с. (дата актуализации 01.01.2021).

208. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки: ГОСТ 24055–2016. – М. : Изд-во стандартов, 2016. – 23 с. (дата актуализации 01.01.2021).

209. Мисун, Л. В. Организация безопасной эксплуатации технических средств защиты растений в промышленном производстве клюквы / Л. В. Мисун, А. А. Зеленовский, В. Л. Мисун. – Минск : Белорус. гос. агр. техн. ун-т, 2011. – 124 с.

210. Мисун, А. Л. Оценка условий и безопасности выполнения регулировочных воздействий при эксплуатации технических средств / А. Л. Мисун // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. темат. сб. – 2015. – Вып. 58. – С. 252–260.

211. Патент BY 17141, МПК В 60N 2/50 (2006.01). Подвеска сиденья транспортного средства: №a20101444: заявлено 07.10.2010: опубл. 30.06.2013 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик А. В., Агейчик В. А.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 5 с.

212. Полезная модель BY 7727, МПК В 60N 2/54 (2006.01). Виброзащитная система сиденья: №u20110292: заявлено 14.04.2011: опубл. 30.10.2011 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик А. В., Агейчик В. А.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 5 с.

213. Патент BY 16448, МПК В 60N 2/06 (2006.01). Безопасное сиденье транспортного средства: №a20100541: заявлено 09.04.2010: опубл. 30.10.2012 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик А. В., Агейчик В. А.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 5 с.

214. Патент KZ 31561, МПК В 60N 2/56 (2006.01). Сиденье-кондиционер: №a24839: заявлено 15.12.2014: опубл. 30.09.2016 / Нукешев С. О., Романюк Н. Н., Агейчик В. А., Есхожин Д. З., Ахметов Е. С., Романюк В. Н., Мисун А. Л., Джадыгерович К. Д.; заявитель Казахск. агротехн. ун-т. – 6 с.

215. Полезная модель ВУ 11910, МПК F 24F 6/02 (2006.01). Устройство для снижения температуры и увлажнения воздуха в салоне автомобиля: №и20180034: заявлено 07.02.2018: опубл. 28.02.2019 / Мисун Л. В., Мисун Ал-й Л., Агейчик О. Г., Агейчик В. А., Мисун Ал-р Л., Азаренко В. В., Мисун И. Н.; заявители: Мисун Л. В., Мисун Ал-й Л., Агейчик О. Г., Агейчик В. А., Мисун Ал-р Л., Азаренко В. В., Мисун И. Н. – 6 с.

216. Курдюмов, В. И. Безопасность жизнедеятельности: проектирование и расчет средств обеспечения безопасности : учеб. пособие / В. И. Курдюмов, Б. И. Зотов. – М. : Юрайт, 2018. – 221 с.

217. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности: ГОСТ 12.2.019 – 2015. – Взамен ГОСТ 12.2019 – 2005; введ. 01.11.17. – Минск : Госстандарт: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2017. – 20 с.

218. Насибуллина, Б. М. Опасности производственной среды и способы защиты от них : учеб. пособие / Б. М. Насибуллина, Е. Г. Локтионова, Т. Ф. Курочкина. – М. : КНОРУС, 2016. – 174 с.

219. Полезная модель ВУ 13206, МПК В 01Д 47/02 (2006.01). Устройство для очистки воздуха от пыли и вредных веществ в кабине транспортного средства сельскохозяйственного назначения: №и20220267: заявлено 25.11.2022: опубл. 30.06.2023 / Мисун А. Л., Мисун Л. В., Агейчик О. Г., Агейчик В. А., Мисун В. Л., Азаренко В. В.; заявители: Мисун А. Л., Мисун Л. В., Агейчик О. Г., Агейчик В. А., Мисун В. Л., Азаренко В. В. – 6 с.

220. Полезная модель ВУ 11911, МПК В 60К 37/00, В60I3/00 (2006.01). Накладка антибликовая на приборную панель автомобиля или трактора: №и20180075: заявлено 16.03.2018: опубл. 28.02.2019 / Мисун Л. В., Мисун Ал-й Л., Агейчик О. Г., Агейчик В. А., Мисун Ал-р Л., Азаренко В. В., Морозова И. М., Мисун В. Л.; заявители: Мисун Л. В., Мисун Ал-й Л., Агейчик О. Г., Агейчик В. А., Мисун Ал-р Л., Азаренко В. В., Морозова И. М., Мисун В. Л. – 6 с.

221. Полезная модель ВУ 12000, МПК А 01М 3/00 (2006.01). Москитная сетка для автомобиля или трактора: №и20180156: заявлено

30.05.2018: опубл. 30.06.2019 / Мисун Ал-р Л., Агейчик О. Г., Мисун Л. В., Агейчик В. А., Мисун Ал-й Л., Морозова И. М., Мисун И. Н.; заявители: Мисун Ал-р Л., Агейчик О. Г., Мисун Л. В., Агейчик В. А., Мисун Ал-й Л., Морозова И. М., Мисун И. Н. – 5 с.

222. Полезная модель ВУ 13491, МПК В 62Д 25/16 (2006.01). Безопасное рулевое колесо трактора: №и20240010: заявлено 16.01.2024: опубл. 05.06.2024 / Мисун А. Л., Агейчик О. Г., Мисун Л. В., Агейчик В. А., Азаренко В. В., Мисун В. Л.; заявители: Мисун А. Л., Агейчик О. Г., Мисун Л. В., Агейчик В. А., Азаренко В. В., Мисун В. Л. – 5 с.

223. Шимшарев, В. Ю. Надежность технических систем : учебник / В. Ю. Шимшарев. – М. : Юрайт, 2017. – 306 с.

224. Полезная модель ВУ 12555, МПК G 02С 1/00, G 08В 21/06, F 24F 6/02 (2006.01). Устройство для повышения работоспособности и внимательности за рулем оператора транспортного средства сельскохозяйственного назначения: №и20200219: заявлено 09.09.2020: опубл. 28.02.2021 / Мисун Ал-й Л., Мисун Ал-р Л., Агейчик О. Г., Мисун Л. В., Агейчик В. А., Азаренко В. В.; заявители: Мисун Ал-й Л., Мисун Ал-р Л., Агейчик О. Г., Мисун Л. В., Агейчик В. А., Азаренко В. В. – 5 с.

225. Полезная модель ВУ 12302, МПК G 08В 21/06, В 60К 28/06 (2006.01). Устройство для предупреждения от засыпания за рулем оператора транспортного средства сельскохозяйственного назначения: №и20190278: заявлено 12.11.2019: опубл. 30.06.2020 / Мисун Ал-й Л., Агейчик О. Г., Мисун Л. В., Мисун Ал-р Л., Кузнецов А. Г., Агейчик В. А., Азаренко В. В., Мисун В. Л.; заявители: Мисун Ал-й Л., Агейчик О. Г., Мисун Л. В., Мисун Ал-р Л., Кузнецов А. Г., Агейчик В. А., Азаренко В. В., Мисун В. Л. – 5 с.

226. Полезная модель ВУ 11800, МПК В 60N 2/58 (2006.01). Чехол для кресла транспортного средства: №и20170406: заявлено 26.05.2018: опубл. 27.10.2018 / Мисун Л. В., Мисун Ал-р Л., Агейчик В. А., Азаренко В. В., Мисун Ал-й Л.; заявители: Мисун Л. В., Мисун Ал-р Л., Агейчик В. А., Азаренко В. В., Мисун Ал-й Л. – 5 с.

227. Полезная модель ВУ 12365, МПК В 62Д 1/11; В 60R 21/20 (2006.01). Безопасное рулевое управление для транспортного средства сельскохозяйственного назначения: №и20190316: заявлено 20.12.2019: опубл. 30.08.2020 / Мисун Ал-р Л., Мисун Ал-й Л., Агейчик О. Г., Мисун Л. В., Агейчик В. А., Азаренко В. В., Мисун В. Л.; заявители: Мисун Ал-р Л., Мисун Ал-й Л., Агейчик О. Г., Мисун Л. В., Агейчик В. А., Азаренко В. В., Мисун В. Л. – 5 с.

228. Татаренко, В. И. Основы безопасности труда в техносфере : учебник / В. И. Татаренко, В. Л. Ромейко, О. П. Ляпина. – М. : ИНФА, 2015. – 351 с.

229. Патент ВУ 17559 В1, МПК В 60N 3/04 (2006.01). Напольный коврик транспортного средства: №a201110472: заявлено 14.04.2011: опубл. 30.10.2013 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик Ю. В., Агейчик В. А., Азаренко В. В., Мисун В. Л.; заявитель Белорус. гос. агр. техн. ун-т. – 6 с.

230. Полезная модель ВУ 11743, МПК В 60R 3/00, Е 06С 5/00 (2006.01). Лестница для технического средства: №u20180012: заявлено 14.01.2018: опубл. 18.06.2018 / Мисун Л. В., Мисун Ал-й Л., Османова И. Р., Агейчик В. А., Азаренко В. В., Мисун В. Л.; заявители: Мисун Л. В., Мисун Ал-й Л., Османова И. Р., Агейчик В. А., Азаренко В. В., Мисун В. Л. – 5 с.

231. Патент ВУ 21154, МПК В 60Д 2/14 (2006.01). Дополнительная ступенька транспортного средства: №a20131366: заявлено 20.11.2013: опубл. 30.06.2017 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик В. А., Агейчик Ю. В., Гурина А. Н.; заявители: Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик В. А., Агейчик Ю. В., Гурина А. Н. – 6 с.

232. Полезная модель ВУ 12586, МПК А 43С 15/00 (2006.01). Безопасная съемная нескользящая подошва для обуви с каблуком оператора мобильной сельскохозяйственной техники: №u20200218: заявлено 09.09.2020: опубл. 01.03.2021 / Мисун Ал-р Л., Мисун Ал-й Л., Агейчик О. Г., Мисун Л. В.; заявители: Мисун Ал-р Л., Мисун Ал-й Л., Агейчик О. Г., Мисун Л. В. – 5 с.

233. Полезная модель ВУ 12966, МПК В 62Д 25/16, В 60R 13/08 (2006.01). Шумопоглощающий брызговик моторного отсека трактора: №u20210355: заявлено 28.12.2021: опубл. 30.08.2022 / Мисун А. Л., Мисун Л. В., Агейчик В. А.; заявители: Мисун А. Л., Мисун Л. В., Агейчик В. А. – 5 с.

234. Патент RU 2040164, МПК А 01К 5/00 (2006.01). Предохранительное устройство кормораздатчика: №a4723521: заявлено 11.02.1991: опубл. 25.07.1995 / Матюхин В. А., Шкрабак В. С., Высотина И. Г., Шкрабак В. В.; заявители: Матюхин В. А., Шкрабак В. С., Высотина И. Г., Шкрабак В. В. – 6 с.

235. Полезная модель RU 66886, МПК А 01G 9/02, С 08L 23/06; В 65 Д1/00. Устройство для ухода за растениями: №u2007111156: заявлено 26.03.2007: опубл. 10.10.2007 / Бахов С. К., Шевцов В. А.; заявители: Бахов С. К., Шевцов В. А. – 5 с.

236. Авторское свидетельство СССР 635351, МПК F 16P1/02. Предохранительное устройство для карданного вала: заявлено 01.01.1977: опубл. 30.11.78 / Шкрабак В. С., Агапов И. Т., Шкрабак А. С. – 3 с.

237. Патент RU 2036368, МПК F 16P 1/00 (2006.01). Предохранительное устройство для карданного вала: №a4381183: заявлено 31.07.1991: опубл. 27.05.1995 / Белов С. М., Белова Т. И., Шкрабак В. В., Шкрабак В. С.; заявители: Белов С. М., Белова Т. И., Шкрабак В. В., Шкрабак В. С. – 6 с.

238. Полезная модель ВУ 6532, МПК F 16P 1/00 (2006.01). Предохранительное устройство для карданного вала: №и20100113: заявлено 08.02.2010: опубл. 30.08.2010 / Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик В. А., Агейчик А. В.; заявители: Мисун Л. В., Мисун А. Л., Агейчик В. А., Агейчик А. В. – 5 с.

239. Полезная модель ВУ 13205, МПК А 61Н 1/00 (2006.01). Устройство для самомассажа глубоких мышц спины и шеи оператора мобильной сельскохозяйственной техники при проведении регулировочных работ в положении лежа: №и20220266: заявлено 25.11.2022: опубл. 30.06.2023 / Мисун А. Л., Мисун Л. В., Агейчик О. Г., Агейчик В. А.; заявители: Мисун А. Л., Мисун Л. В., Агейчик О. Г., Агейчик В. А. – 5 с.

240. Мисун, Л. В. Организационные мероприятия и технические решения по повышению производственной и пожарной безопасности кормоуборочных комбайнов / Л. В. Мисун, В. В. Азаренко, Ал-й Л. Мисун // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб.–2024. – Вып. 57. – С. 44–48.

241. Полезная модель RU 39832, МПК А 62С 37/00, G08В 25/00 (2006.01). Автоматическая система пожарной сигнализации и управления пожаротушением в подвижных транспортных средствах: №и2004112963: заявлено 21.04.2004: опубл. 20.08.2004 / Демидов В. Г., Подоляка А. И., Пинаев А.И.; заявители: Демидов В. Г., Подоляка А. И., Пинаев А. И. – 5 с.

242. Патент ВУ 1913, МПК Е 06В 1/56; Е 06 В 1/60 (2006.01). Устройство для крепления металлической дверной коробки из полого профиля: №a961056: заявлено 16.11.1996: опубл. 30.12.1997 / Баранов С. В., Солодкин А. А.; заявитель Закрытое акционерное общество «ПКЦ-АВКО». – 6 с.

243. Полезная модель RU 93285, МПК А 62С 37/00 (2006.01). Система пожарной сигнализации и управления пожаротушением в подвижных транспортных средствах: №и2009148416: заявлено 28.12.2009; опубл. 27.04.2010 / Баев С. Н., Шеин В. Н.; заявители: Баев С. Н., Шеин В. Н. – 5 с.

244. Авторское свидетельство SU 1258434, МПК А 62 С 31/22. Пробойник-инжектор для пробивания стен и инъекции сквозь них текучей среды: №3877365: заявлено 04.04.1985: опубл. 23.09.1986 / Безборобько М. Д., Беляев А. В., Голяшкин В. В., Рогачев А. А.; заявитель гос. науч.-исслед. ин-т гражд. авиац. и Высш. инженер. пож.-техн. шк. – 5 с.

245. Патент US 8366955, МПК В 43С 26/00 (2006.01). Огнетушащий состав: №a995316: заявлено 30.05.2008: опубл. 30.11.2010 / Stephanie C. Thomas, Chad Powell, Anne C. Regina; заявитель Kidde – Fenwal. – 6 с.

246. Пасовец, В. Н. Пути предотвращения пожаров на зерноуборочных комбайнах, возникающих за счет выделения тепла в узлах трения / В. Н. Пасовец, В. В. Лахвич, М. А. Антоненко // Вестник университета гражданской защиты Мин-ва по чрезвычайн. ситуац. Респ. Беларусь. – 2021. – Т. 5. – № 2. – С. 206–211.

247. Полезная модель RU 167997, МПК А 62С 3/07 (2006.01). Устройство пожаротушения моторного отсека транспортного средства: №и2016109684: заявлено 17.03.2016: опубл. 16.01.2017 / Степанов В. С.; заявители: Степанов В. С. – 5 с.

248. Патент RU 2633955, МПК А 62С 3/00 (2006.01). Устройство автоматической локальной пожарной защиты и способ разрушения оболочки капсулы с нанопорошком: №a2016124892: заявлено 21.06.2016: опубл. 19.10.2017 / Забегаев В.И.; заявитель Всерос. науч.-исслед. ин-т противопож. обор. Мин-ва Российск. Федер. по делам гражд. обороны, чрезвычайн. сит. и ликвид. последств. стих. бедствий. – 6 с.

249. Полезная модель RU 2031672, МПК А 62С 27/00 (2006.01). Установка пожаротушения: №и4733824: заявлено 07.05.1991; опубл. 27.03.1995 / Быстров Ю. В., Смирнов В. И., Ульянов С. Г., Великоредчанин А. Б.; заявители: Быстров Ю. В., Смирнов В. И., Ульянов С. Г., Великоредчанин А. Б. – 5 с.

250. Авторское свидетельство RU 1891801, МПК G 01k. Прибор для определения теплосодержания плазменной струи: №1024425: заявлено 11.08.1965: опубл. 17.11.1966 / Кототоп В. А., Балдин Э. Г.; заявители: Кототоп В. А., Балдин Э. Г. – 5 с.

251. Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: ТКП 474–2013(02300). – Введ. 15.04.13. – Минск : Мин-во по чрезвычай. ситуац. Респ. Беларусь, 2013. – 66 с.

252. Полезная модель ВУ 12716, МПК А 62С 3/00 (2006.01). Устройство пожаротушения для кормоуборочного комбайна: №и20210033: заявлено 28.12.2021: опубл. 30.10.2021 / Мисун Ал-р Л., Агейчик О.Г., Мисун Л. В., Агейчик В. А.; заявители: Мисун Ал-р Л., Агейчик О. Г., Мисун Л. В., Агейчик В. А. – 5 с.

253. Ожиганов, Ю. Г. Комбинированный состав повышенной эффективности со свойствами антипирена и антисептика / Ю. Г. Ожиганов, В. В. Мишин, А. В. Родькина // Лаки, краски, эмали, пигменты и герметики. – 2016. – № 3. – С. 17 – 22.

254. Патент RU 2172242, МПК В 27К 3/02 2006.01). Способ получения антипирена: №а98736528: заявлено 31.05.2000: опубл. 20.08.2001 / Леонович А. А., Шелоумов А. В.; заявитель Санкт-Петерб. гос. лесотехнич. акад. – 6 с.

255. Мисун, Л.В. Техническое решение пожаротушения при возгорании мобильной сельскохозяйственной техники / Л. В. Мисун, В. Л. Мисун, О. Г. Агейчик // Главный агроном. – М, 2022. – № 2. – С. 18–20.

256. Патент KZ патент 31147, МПК В 60Р 1/04 (2006.01). Устройство для блокирования самосвальной платформы транспортного средства: №а92681: заявлено 16.04.2015: опубл. 16.05.2016 / Нукешев С. О., Романюк Н. Н., Агейчик В. А., Мисун А. Л., Мисун Л. В., Романюк В. Н.; заявитель Казахск. агротех. ун-т. – 6 с.

257. Полезная модель ВУ 13482, МПК В 62С 25/16 (2006.01). Грязезащитное устройство колеса трактора: №и20240009: заявлено 16.01.2024: опубл. 20.05.2024 / Мисун А. Л., Агейчик О. Г., Мисун Л. В., Агейчик В. А., Азаренко В. В., Мисун В. Л.; заявители: Мисун А. Л., Агейчик О. Г., Мисун Л. В., Агейчик В. А., Азаренко В. В., Мисун В. Л. – 5 с.

258. Полезная модель ВУ 12965, МПК В 64С 28/14 (2006.01). Респиратор индивидуальный для защиты дыхательных путей работника агропромышленного комплекса от содержащихся в воздухе рабочей зоны ядовитых газов, паров аэрозолей, пыли или вирусов: №и20210334: заявлено 28.12.2021: опубл. 30.08.2022 / Мисун А. Л., Мисун Л. В., Агейчик О. Г., Агейчик В. А.; заявители: Мисун А. Л., Мисун Л. В., Агейчик О. Г., Агейчик В. А. – 5 с.

Научное издание

Мисун Алексей Леонидович,
Мисун Александр Леонидович

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ
ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ АПК

Монография

Ответственный за выпуск *И. С. Крук*
Корректор *Г. В. Анисимова*
Компьютерная верстка *Д. А. Пекарского*
Дизайн обложки *Д. О. Михеевой*

Подписано в печать 26.02.2025. Формат 60×84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 22,55. Уч.-изд. л. 17,63. Тираж 100 экз. Заказ 62.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/359 от 09.06.2014.
№ 2/151 от 11.06.2014.
Пр-т Независимости, 99–1, 220012, Минск.