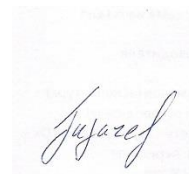


**Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет
имени Н. И. Вавилова»**



На правах рукописи

ГУЗАЧЁВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО
ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ
НА ОСНОВЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СТРАТЕГИИ
(на примере тепличного производства)**

**Специальность 05.20.02 – Электротехнологии
и электрооборудование в сельском хозяйстве**

**Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

**Научный руководитель:
кандидат технических наук,
доцент В. А. Трушкин**

Саратов 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	9
1.1 Уровень электрификации сельскохозяйственных предприятий Саратовской области.....	9
1.2 Характеристика условий эксплуатации парка электрооборудования в сельском хозяйстве.....	13
1.3 Состояние и перспективы развития эксплуатации электрооборудования сельскохозяйственных предприятий.....	17
1.4 Сравнение стратегий технической эксплуатации электрооборудования.....	22
1.5 Постановка задач исследования.....	28
Выводы.....	30
2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СТРАТЕГИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ.....	31
2.1 Обоснование объекта исследования.....	31
2.2 Влияние эксплуатационных факторов на составляющие риска отказа электрооборудования.....	34
2.2.1 Определение экономического ущерба как составляющей риска.....	34
2.2.2 Влияние условий эксплуатации электрооборудования на оценку риска его отказа.....	42
2.3 Обоснование параметров риск-ориентированной стратегии технического обслуживания и ремонта электрооборудования.....	48
2.3.1 Оптимальное распределение ресурсов и эксплуатационных затрат на техническое обслуживание и ремонт электрооборудования.....	48
2.3.2 Корректирование периодичности технического обслуживания и ремонта электрооборудования.....	57
2.4 Реализация риск-ориентированной стратегии технического обслуживания и ремонта электрооборудования в информационной системе класса ЕАМ.....	62

Выводы.....	72
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	74
3.1 Программа экспериментальных исследований.....	74
3.2 Показатели эффективности электрифицированных процессов на предприятии.....	75
3.3 Объект экспериментальных исследований.....	79
3.4 Анализ электрифицированных процессов АО «Совхоз-Весна».....	83
3.4.1 Определение основных электрифицированных процессов производства продукции.....	83
3.4.2 Оценка эффективности электрифицированных процессов.....	87
3.5 Внедрение риск-ориентированной стратегии ТО и Р на базе программного комплекса TRIM.....	92
3.6 Сравнительный анализ эффективности электрифицированных процессов.....	100
Выводы.....	104
4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СТРАТЕГИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ.....	106
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	113
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	116
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	128

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В соответствии с государственной программой развития сельского хозяйства на 2013–2020 гг., в стране осуществляется постепенная модернизация сельскохозяйственного производства, выделяются субсидии на приобретение высокотехнологичного электрооборудования. Однако эксплуатация такого оборудования требует и качественных изменений в подходах к его обслуживанию.

Анализ деятельности сельскохозяйственных предприятий Саратовской области за 2015–2016 гг. показал, что эффективность мероприятий по технической эксплуатации электрооборудования, несмотря на переоснащение производств, находится на низком уровне. Интенсивность его отказов λ на некоторых предприятиях достигает 0,42 о.е., что больше базового значения (0,07). Высокие эксплуатационные затраты от 60 до 70 % обусловлены резервированием электрооборудования. Следовательно, вместо того, чтобы повышать качество его обслуживания, ЭТС компенсирует недостатки технической эксплуатации резервированием.

На большинстве сельскохозяйственных предприятий Саратовской области (65 %) применяются смешанные стратегии обслуживания электрооборудования. Эффективность организации таких систем зависит в основном от профессионализма главного энергетика и инженеров ЭТС. Однако, несмотря на уровень профессионального опыта, без комплексного научного подхода предприятия не смогут добиться надежной эксплуатации электрооборудования.

Таким образом, совершенствование системы технического обслуживания и ремонта электрооборудования в сельском хозяйстве – актуальная научно-техническая задача.

Диссертационная работа входит в перечень приоритетных научных направлений развития Саратовского ГАУ им. Н.И. Вавилова по теме № 2 «Модернизация инженерно-технического обеспечения АПК».

Степень разработанности темы. Исследования в области совершенствования технической эксплуатации в сельском хозяйстве проводили: Ю.С. Борисов, В.А. Буторин, Г.П. Ерошенко, Б.А. Кац, П.Н. Листов, Ю.А. Медведько, Г.Н. Назаров, А.Н. Назарычев, А.И. Некрасов, А.А. Пястолов, Н.Н. Сырых, М.А. Таранов, В.Я. Хорольский.

Применением риск-ориентированной стратегии к организации технического обслуживания и ремонта электрооборудования занимались Г.Д. Кокорев, Л.Ф. Бабицкий, Б.В. Зубков.

Диссертационное исследование направлено на повышение надежности и экономичности эксплуатации электрооборудования путем адаптации риск-ориентированной стратегии технического обслуживания и ремонта к условиям сельскохозяйственного производства.

Цель работы – повышение эффективности электрифицированных процессов сельскохозяйственного производства за счет применения риск-ориентированной стратегии технического обслуживания и ремонта электрооборудования.

Задачи исследования:

1. Выполнить анализ состояния, способов и условий технической эксплуатации электрооборудования в сельскохозяйственном производстве.
2. Теоретически обосновать понятие риска отказа электрооборудования и методику его оценки с учетом отраслевых особенностей сельскохозяйственного производства.
3. Разработать программу планирования работ по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования на основе риск-ориентированной стратегии в информационной системе класса ЕАМ.
4. Провести экспериментальные исследования риск-ориентированной стратегии технического обслуживания и ремонта электрооборудования в условиях сельскохозяйственного производства.
5. Определить экономическую эффективность риск-ориентированной стратегии технического обслуживания и ремонта электрооборудования.

Объект исследования – система технического обслуживания и ремонта электрооборудования в сельскохозяйственном производстве.

Предмет исследования – закономерность изменения показателей эффективности электрифицированных процессов в зависимости от применяемой стратегии ТО и Р.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

- обосновании понятия риска отказа электрооборудования в сельскохозяйственном производстве и методики его оценки;
- оптимальном распределении ресурсов на техническую эксплуатацию электрооборудования на основе риск-ориентированной стратегии;
- определении диапазонов корректирования нормативной периодичности технического обслуживания и текущего ремонта электрооборудования с учетом риска;
- формировании алгоритма риск-ориентированного обслуживания электрооборудования в информационной системе класса ЕАМ.

Теоретическая и практическая значимость работы:

- скорректированы значения допустимой продолжительности простоя технологического процесса при отказе электрооборудования с учетом стадии развития биологического объекта;
- разработана методика оценки риска отказа электрооборудования с учетом условий его эксплуатации и отраслевых особенностей сельскохозяйственного производства;
- определены условия ранжирования электрооборудования на сельскохозяйственном производстве в соответствии с уровнем его критичности для технологических процессов;
- экспериментально подтверждена возможность повышения эффективности электрифицированных процессов за счет применения риск-ориентированной стратегии.

Производственная проверка риск-ориентированной стратегии проведена на тепличном комбинате «АО «Совхоз-Весна».

Данная стратегия может быть применена на сельскохозяйственных предприятиях различной отраслевой направленности.

Методология и методы исследований. В работе использованы аналитические и экспериментальные методы исследования, теория вероятности и теория сравнительных исследований, положения теории эксплуатации электрооборудования и управления риском. Обработка экспериментальных данных осуществлялась в информационной системе класса ЕАМ.

Положения, выносимые на защиту:

- методика оценки риска отказа электрооборудования с учетом условий эксплуатации и отраслевых особенностей сельскохозяйственного производства;
- корректирование периодичности работ по техническому обслуживанию и текущему ремонту на основе зависимости изменения относительного риска от отказа электрооборудования и частоты его обслуживаний;
- расчет оптимального распределения ресурсов и эксплуатационных затрат на техническое обслуживание и ремонт электрооборудования при использовании риск-ориентированной стратегии;
- программа планирования работ по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования на основе риск-ориентированной стратегии в информационной системе класса ЕАМ.

Степень достоверности и апробация результатов подтверждены достаточной сходимостью расчетных и экспериментальных данных, полученных в теоретических исследованиях и производственных условиях.

Содержание работы и основные результаты были обсуждены и получили положительную оценку:

- на научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава Саратовского ГАУ им. Н.И. Вавилова (г. Саратов, 2014–2016 гг.);
- на VI–VIII Международных научно-практических конференциях «Актуальные проблемы энергетики АПК» (г. Саратов, 2014–2016 гг.);
- на VI Всероссийской научно-практической конференции «Специалисты АПК – новому поколению» (г. Саратов, 2012 г.);

– на XIX Международном научно-техническом семинаре им.В.В. Михайлова «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники» (г. Саратов, 2016 г.).

По результатам исследований опубликовано 7 печатных работ, в том числе 4 – в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК. Общий объем публикаций – 2,12 печ. л., из которых 1,34 печ. л. принадлежит лично соискателю.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Она изложена на 126 страницах компьютерного текста, содержит 24 таблицы, 26 рисунков и 7 приложений. Список использованной литературы включает в себя 122 наименования, в том числе 14 – на иностранном языке.

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Уровень электрификации сельскохозяйственных предприятий Саратовской области

Электрическая энергия – первоочередной ресурс при производстве сельскохозяйственной продукции. Чем ближе процесс к выпуску готовой продукции, тем больше на протяжении всех этапов ее изготовления задействовано электроустановок, электрической измерительной техники, средств автоматизации и систем автоматического управления [101].

Основными потребителями электрической энергии в агропромышленном комплексе являются предприятия различных форм собственности и отраслевой направленности (животноводческие, растениеводческие, птицеводческие). Производство продукции на предприятиях проходит этапы от сырья до готового товара, который выводится на массовый рынок.

На каждом этапе определяются индивидуальный диапазон мощностей и соответствующее потребление электрической энергии. Например, при посевных работах потребление электрической энергии рядом предприятий стремится к нулю, а в период переработки зерна на муку является максимальным и зависит от общей электрической мощности цеха переработки.

Качественный уровень электрификации зависит от того, какие операции в комплексе процесса электрифицированы и автоматизированы. В работах И.А. Будзко, Г.П. Ерошенко, А.А. Пястолова, М.А. Таранова и др. [14, 41, 75] приведен показатель уровня электрификации сельского хозяйства

$$\mathcal{E} = \frac{P_3}{\Sigma P}, \quad (1.1)$$

где \mathcal{E} – показатель уровня электрификации;

P_3 – электрическая мощность предприятия, кВт·А;

ΣP – суммарная энергетическая мощность предприятия, кВт·А.

Данный показатель оценивает долю электрической мощности в общей мощности предприятия (механической, тепловой, энергии воды и т.п.), которая потребляется для реализации технологических процессов.

Вследствие того, что сельскохозяйственные предприятия имеют разные масштабы производства – от фермерских хозяйств до крупных сельскохозяйственных корпораций, то необходимо рассмотреть уровень электрификации разнородных по объему и виду производства предприятий Саратовской области (таблица 1.1) [2].

Таблица 1.1 – Уровень электрификации сельскохозяйственных предприятий Саратовской области

Наименование предприятия	Основное направление деятельности	Место расположения	Численность работников, чел.	Годовое потребление электроэнергии, млн кВт·ч	Уровень электрификации \mathcal{E} , о.е.
1	2	3	4	5	6
ООО «Птицефабрика Аткарская»	Производство куриного и перепелиного яйца и мяса	г. Аткарск	82	0,32	0,45
ООО «Дергачи-птица»	Производство куриного яйца и мяса	р.п. Дергачи	320	1,22	0,47

1	2	3	4	5	6
АО «Лысогорская птицефабрика»	Производство куриного яйца и мяса	р.п. Лысье горы	64	0,45	0,49
ОАО «Птицефабрика Михайловская»	Производство и переработка куриного мяса	р.п. Татищево	1198	57,76	0,44
ООО «Покровская птицефабрика»	Производство куриного яйца и мяса	п. Лощинный	71	1,03	0,34
ОАО «Симоновская птицефабрика»	Производство куриного яйца и мяса	с. Симоновка	55	0,47	0,35
ООО «Лето 2002»	Выращивание овощей в защищенном грунте	с. Кувыка	80	0,33	0,19
ЗАО «Племзавод «Мелиоратор»	Производство мясомолочной продукции, выращивание зерновых культур	п. Осиновский	340	2,13	0,21
СПК «Заря»	Выращивание и переработка зерновых, зернобобовых, культур	с. Большая Сакма	107	0,54	0,23

1	2	3	4	5	6
ЗАО ПЗ «Трудовой»	Производство молока, выращивание зерновых культур	с. Павловка	675	3,94	0,25
ООО «Колосок»	Выращивание, переработка зерновых культур	с. Репьевка	85	0,18	0,09
ООО «Свинокомплекс Хвалынский»	Разведение свиней	г. Энгельс	227	4,38	0,51
АО «Агрофирма Волга»	Разведение крупного рогатого скота	с. Звонарёвка	389	1,42	0,11
ООО «РЭХН»	Овощеводство	с. Константиновка	375	18,92	0,50
ООО «МГ-Групп»	Овощеводство	г. Саратов	40	5,93	0,43
ООО «Отдых 2010»	Овощеводство, выращивание и переработка зерновых культур	г. Саратов	45	0,10	0,08
АО «Совхоз-Весна»	Овощеводство	п. Дубки	1830	32,05	0,41

Как видно из анализа таблицы 1.1, уровень электрификации крупных сельскохозяйственных предприятий Саратовской области находится в диапазоне от 0,08 до 0,51 о.е. Это свидетельствует о том, что электрическая энергия – первоочередной ресурс при производстве продукции. В связи с этим на предприятиях задействовано значительное количество осветительных установок, электродвигателей, нагревательных установок, электрических агрегатов по переработке продукции, средств контроля и диагностирования и т.п.

Большинство предприятий имеют на балансе собственные распределительные и трансформаторные подстанции, сеть воздушных и кабельных линий. Их содержание и обслуживание ведется внутрихозяйственными энергетическими службами, деятельность которых направлена на поддержание в работоспособном состоянии подстанций, сети и электрооборудования предприятия. Результаты работы энергетических служб зависят от численности электромонтеров и их загруженности, а также от оснащенности и развитости ремонтно-обслуживающей базы, резервного фонда предприятия.

Таким образом, при оценке электрификации сельскохозяйственных предприятий учитываются не только мощность и количество единиц применяемого электрооборудования, но и уровень его эксплуатации. На развитие электрификации значительно влияет научно-технический прогресс, заключающийся в использовании информационных технологий и средств автоматизации.

1.2 Характеристика условий эксплуатации парка электрооборудования в сельском хозяйстве

Парк электрооборудования представлен: трансформаторными подстанциями, электроприводами, нагревательными и осветительными установками, воздушными и кабельными линиями, электроустановками и др.

Трансформаторные подстанции

Электрическая энергия передается сельскохозяйственным предприятиям от районных электрических сетей (РЭС), которые входят в состав межрегиональной

распределительной сетевой компании (МРСК). Диапазон напряжения – от 0,38 до 10 кВ в зависимости от потребности предприятия.

Трансформаторные подстанции открытого типа, которых около 40–50 %, подвергаются воздействию осадков в виде дождя и снега, солнечного излучения, что негативно влияет на покрытие бака трансформатора и может привести к быстрому выходу его из строя [55]. Однако это не основной показатель условий эксплуатации, поскольку режим загрузки трансформатора определяет срок его службы и нормальной эксплуатации [51, 77].

Трансформаторные подстанции обслуживают в основном по централизованной системе, когда часть работ выполняет внутрихозяйственная служба предприятия (очистка от грязи и пыли, обслуживание отдельных блоков и узлов ТП), а часть – служба РЭС (взятие пробы и диагностирование масла) по договору подряда на коммерческой основе [45, 55, 93].

Внутрихозяйственные распределительные сети

Распределение и передача электрической энергии трансформаторной подстанции к объектам с.-х. производства осуществляется по воздушным и кабельным линиям.

Протяженность воздушных линий зависит от месторасположения предприятия и разбросанности его производственных участков и влияет на потери электрической энергии [14], продолжительность выполнения плановых работ по обслуживанию и количество единиц запасных частей.

Воздушные линии обслуживаются в основном с привлечением сторонних организаций, поскольку хозяйство не все работы может выполнить собственными силами, так как для этого требуется специальная техника [97].

Вводно-распределительные устройства и внутренняя электропроводка

Питание объекта осуществляется через вводно-распределительное устройство (ВРУ), которое обычно выполнено в виде щитовой панели типа ПР, ЩР или ЩО. Функциональность его заключается в равномерном распределении нагрузки между электроприемниками и защите линии от короткого замыкания.

Место установки ВРУ зависит от объекта и выполнения правил при устройстве электроустановок. Как правило, ВРУ размещают в отдельном помещении – электрощитовой.

Например, в коровниках молочного отделения электрощитовая располагается рядом с участком доения коров, так как основными электроприемниками здесь служат электроприводы вакуумных насосов, водонагревательные установки для мойки вымени и другое электрооборудование.

Особенность технической эксплуатации ВРУ заключается в том, что от него зависит надежность работы питаемых электроприемников. Отказ электрооборудования приводит к отключению защиты, которая имеется в этом устройстве. При правильном выборе защиты срабатывание приводит к временному ее отключению. После устранения отказа процесс вновь запускается.

Электроприемники в сельскохозяйственном производстве

Электроприемники подразделяют на простые и сложные [39]. Первые выполняют в простом для использования виде, например, лампа накаливания, электродвигатель. Вторые имеют систему автоматического управления и регулирования, силовую и вторичную цепи питания, основное и вспомогательное оборудование и т.п.

Чтобы оценить эксплуатационную надежность простого электроприемника, например электродвигателя, необходимо знать вероятность его безотказной работы, паспортные значения которой составляют около 0,9. Для повышения надежности работы такой электроустановки выполняют ряд эксплуатационных мероприятий.

Надежность сложной электроустановки, в состав которой входит множество элементов, будет ниже и определяется как произведение вероятностей безотказной работы (далее ВБР) элементов:

$$P(t) = P_{САУ}(t)P_{ц}(t)P_{о.о}(t)P_{д.о}(t), \quad (1.2)$$

где $P(t)$ – вероятность безотказной работы (ВБР) электроприемника;

$P_{САУ}(t)$ – ВБР системы автоматического управления;

$P_{ц}(t)$ – ВБР силовых и вспомогательных цепей;

$P_{о.о}(t)$ – ВБР основного оборудования (в нашем случае электродвигателя);

$P_{д.о}(t)$ – ВБР дополнительного оборудования.

По выражению (1.2) можно определить необходимость технической эксплуатации сложных установок.

Сложные электроприемники имеют надежность, оцениваемую ВБР, ниже, чем отдельные простые виды. Однако электроприемники с автоматическим управлением применяются чаще, так как с помощью них можно легко и быстро управлять технологическими процессами производства.

Основные электроприемники, используемые в сельскохозяйственных производственных процессах, – электродвигатели, которые служат для преобразования электрической энергии в механическую.

Применение электродвигателей различных серий приведено в таблице 1.2 [59].

Таблица 1.2 – Электродвигатели, используемые в сельском хозяйстве

Марка АД с КЗР	Доля от общего числа, %
АО2	18
А4	43
А5	19
А6	7
АИР	8
АД (АИРМ)	5

Как видно из таблицы 1.2, в сельском хозяйстве почти 20 % от общего числа составляют электродвигатели старой серии типа АО2, производство которых закончилось в середине 70-х годов прошлого столетия. По данным заводов изготовителей, они отработали 4–8 сроков службы.

Электродвигатели серии 4 А широко применяются в сельскохозяйственном производстве и являются основными типами из общего числа двигателей. Их

производство началось с 1969 г. и продолжается до настоящего времени. Они отличаются от предыдущих серий качеством изоляционного материала, усовершенствованной системой отведения тепла, разнообразным габаритным исполнением, мощностью от 0,06 до 400 кВт.

На отказы электродвигателей влияют как объективные, так и субъективные факторы. Значительную долю – 50 % в общей интенсивности отказов занимают электродвигатели старых серий. Немаловажный фактор их отказов – условия производственной эксплуатации. Например, в зимний период в птичниках для выгрузки помета используется асинхронный электродвигатель мощностью 3,0 кВт со шнеком, часть которого выходит из помещения птичника через специальное отверстие. Когда привод останавливается, в местах перехода шнека из помещения на открытый воздух образуется лед, который способствует примерзанию шнека. После очередного запуска электродвигателя его мощности не хватает для того, чтобы провернуть шнек. В лучшем случае при правильном срабатывании защиты происходит перегрев, а в худшем – отказ электродвигателя. В вытяжной системе вентиляции также образуется обледенение крыльчаток вентиляторов, что приводит к отказу электродвигателя. Как известно [11], при неправильной работе системы вентиляции птица резко снижает свою продуктивность, что напрямую сказывается на качественном и количественном выходе продукта и соответственно на прибыли предприятия.

Таким образом, одним из способов повышения надежности работы является совершенствование мер технической эксплуатации [32, 41, 106].

1.3 Состояние и перспективы развития эксплуатации электрооборудования сельскохозяйственных предприятий

В работах А.А. Пястолова, Н.Н. Сырых, Г.П. Ерошенко [41, 75, 89, 91] в жизненном цикле электрооборудования (рисунок 1.1) выделена производственная эксплуатация – процесс использования его по своему назначению, когда электрическая энергия преобразуется в другие виды, и техническая – процесс обеспече-

ния и поддержания требуемого состояния электрооборудования, заключающийся в восстановлении его свойств, утрачиваемых при использовании и хранении.



Рисунок 1.1 – Жизненный цикл электрооборудования:
 (П – проектирование; Р – разработка; Э – эксплуатация;
 Т – транспортирование; М – монтаж;
 ТО и ТР – техническое обслуживание и текущий ремонт;
 КР – капитальный ремонт, Х – хранение; У – утилизация

Предприятия, как правило, организуют техническую эксплуатацию электрооборудования либо собственной службой, либо пользуются услугами сторонних организаций на договорной основе. От формы организации эксплуатации зависит качество выполнения ее задач и результаты достижения цели [85].

Зачастую предприятия из-за уникальности отказавшего электрооборудования вынуждены обращаться к заводу-изготовителю для его замены [108], что повышает их эксплуатационные затраты.

Подобные случаи встречаются все чаще, поскольку деятельность заводов-изготовителей направлена на увеличение прибыли. В таких условиях мелкие сельскохозяйственные предприятия вынуждены использовать централизованную форму организации эксплуатации [108], которую еще называют договорной.

Однако крупным сельскохозяйственным предприятиям целесообразно содержать собственную службу [7]. Деятельность таких служб регламентируется нормативными документами. Техническая эксплуатация электроустановок выполняется в соответствии с правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ ЭП) [72]. Если электрооборудование входит в состав сложного агрегата, например котельной установки, то для него существуют пра-

вила технической эксплуатации котлов и котельных установок [73]. Техническая эксплуатация сетей регламентируется правилами технической эксплуатации сетей, станций и подстанций [71, 90].

В вышеуказанных правилах описаны основные положения технической эксплуатации электрооборудования. Приводятся нормативы, устанавливающие периодичность проведения отдельных операций технического обслуживания, текущего и капитального ремонтов, содержание, состав и нормативы параметров по испытаниям электрооборудования.

Однако общих правил для выполнения технической эксплуатации в конкретных условиях производства недостаточно. Поэтому разработаны нормативы отдельно для промышленных и сельскохозяйственных предприятий. Для сельскохозяйственного производства существует нормативный документ – Система планово-предупредительного ремонта электрооборудования в сельском хозяйстве (ППРЭСх) [82, 83], который несколько раз перерабатывался и дополнялся. Последнее его издание в 1987 г. охватывает все вопросы рациональной эксплуатации (структуру ремонтного цикла, периодичность работ, их трудоемкость, условия окружающей среды и др.). Однако приведенные данные справедливы для устаревшего оборудования и не учитывают уровень развития электрификации – появление нового электрооборудования и комплексных систем автоматического управления.

В настоящее время правила технической эксплуатации установлены в действующем Федеральном законе «О техническом регулировании» от 27 декабря 2002 г. с изменениями на 5 апреля 2016 г. Этот закон ссылается на следующие ГОСТы: ГОСТ Р 55607–2013, ГОСТ Р 50571.1–93, ГОСТ 15150–69, ГОСТ Р 50571.24–2000, ГОСТ Р МЭК 62337–2016, ГОСТ Р 50571.28–2006 и т.п. Регламентирует функционирование системы ТО и ТР ГОСТ 18322–78. Наиболее полная терминология в области надежности, а также ТО и ТР приведена в ГОСТ 27.002–89. В ГОСТ Р 27.601–2011 регламентировано проведение ТО и ТР и его обеспечение. В документе даются определения стратегии и концепции ТО, рассматривается организация технического обслуживания электрооборудования, ориентированного на его безотказность, впервые упоминается об использовании технологий автоматизации процессов ТО и ТР.

Действующие нормы и правила определяют правовые формы организации технической эксплуатации с общих технических, социальных и безопасных позиций [33]. Однако в конкретных условиях приводятся только нормативные данные. Более подробная организация технической эксплуатации рассматривается в технической литературе в виде рекомендаций [1, 6, 84, 108].

В работах Г.П. Ерошенко, М.А. Таранова, Ю.А. Медведько [42] приведено подробное описание организации рациональной эксплуатации электрооборудования на сельскохозяйственных предприятиях. Рассмотрены вопросы создания энергетической службы, оптимизации эксплуатационных затрат, технического обслуживания и ремонта в зависимости от загрузки электрооборудования, условий окружающей среды, суточной занятости работников и других факторов производства.

Наряду с рекомендациями устаревшей системы ППРЭСх и разработками ученых-эксплуатационников [57, 59, 69, 86] в сельскохозяйственное производство постепенно внедряются новые способы организации и проведения технической эксплуатации электрооборудования [46, 92, 98].

Так, стали широко использоваться автоматизированные системы управления процессами ТО и Р [3, 43, 46]. В последнее время в России вводятся стандарты по управлению активами [28, 29]. В ГОСТ Р 55.0.03–2014 актив рассматривается как идентифицируемый предмет, объект, имеющий потенциальную и действительную ценность для организации. В нем ТО и ТР берутся в качестве предметной области, относящейся к системе управления активами.

Говоря об АСУ, принято выделять его определённые классы (уровни). Выделяют системы классов ERP, EAM, SCM, CRM, ECM и др.

Так, Enterprise Resource Planning (ERP) – это системы, автоматизирующие такие функции, как управление финансами, эффективностью предприятия, основными средствами, логистикой, производством, сбытом, маркетинговой политикой и др. (в зависимости от функциональных свойств конкретной ERP-системы).

Системы класса Enterprise Asset Management (EAM) автоматизируют управление основными фондами предприятия. В зависимости от производителя,

наименование и комплектность функциональных модулей могут быть различными, но по большей части они автоматизируют процессы технического обслуживания и ремонта, материально-технического снабжения, управления складскими запасами, финансами, персоналом и документами.

Рынок автоматизированных систем управления ТО и Р в России – развивающийся, так как активное внедрение информационных систем началось лишь 25 лет назад. В настоящее время на рынке действуют около 10 крупных компаний-интеграторов систем ЕАМ и ERP, входящих в ТОП 100 IT-компаний по рейтингу CNews, и более 100 мелких. Крупнейшие компании-интеграторы России по количеству внедрения проектов ЕАМ и ERP с модулем ЕАМ представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Компании-интеграторы проектов ЕАМ и ERP на территории РФ за период с 2010 по 2016 г., входящие в ТОП 100 IT-компаний по рейтингу CNews[65]

ЕАМ		ERP с модулем ЕАМ	
Компания-интегратор	Кол-во проектов	Компания-интегратор	Кол-во проектов
НПП «СпецТек»	82	1С:Первый БИТ	473
Деснол Софт	68	Корпорация «Галактика»	469
Корпорация «Галактика»	61	1С:Авиант	316
Datastream Solutions CIS	27	Компас	293
ЕАМ Systems	26	1С:Парус	159
ITM	21	Парус	159
1С:Первый БИТ	19	Epicor Software Corporation	150
ABB Group	18	Columbus	128
1С:Парус	12	Импакт-Софт	129
Гроссмейстер	5		

Большинство из указанных в таблице 1.3 компаний реализуют автоматизированные системы управления ТО и Р зарубежной разработки. Из предприятий, ведущих разработку и внедрение отечественных продуктов, можно выделить: НПП «СпецТек», корпорации «Галактика» и IС.

Анализируя статистические данные, можно сделать вывод, что внедрение систем ЕАМ и ERP в сельскохозяйственное производство осуществляется не так интенсивно. В 2016 г. в нашей стране реализовано более 650 проектов класса ЕАМ и около 8768 проектов ERP, в АПК – соответственно 4 проекта ЕАМ, или 1,6 % от их общего числа, и 79 проектов ERP, или 1,1 % [65].

Такой небольшой показатель применения информационных технологий в сельском хозяйстве объясняется тем, что представленные системы не полностью, а некоторые из них совсем не учитывают особенности производства и условия эксплуатации электрооборудования:

- сезонность использования;
- условия агрессивной среды сельскохозяйственного производства;
- режимы загрузки оборудования в соответствии с требованиями технологических процессов;
- допустимую продолжительность простоя при аварийных и плановых остановках.

Таким образом, совершенствование технической эксплуатации должно сопровождаться ИТ-структурой предприятия. Представленные автоматизированные системы позволяют структурировать управление физическими активами и помогают руководителям предприятий управлять развитием производства в целом. Однако не могут исправить подход к организации технической эксплуатации, которая тесно связана с технологическими процессами производства.

1.4 Сравнение стратегий технической эксплуатации электрооборудования

Техническая эксплуатация электрооборудования основана на правилах проведения технического обслуживания, текущего ремонта, капитального ре-

монта, испытаний и т.п. Существует несколько стратегий эксплуатации [22, 24, 25, 88,92]: планово-предупредительная; послеотказовая; послеосмотровая (диагностическая); риск-ориентированная; смешанная.

Проанализировав зарубежные источники [109, 110, 112, 114, 115, 117], можно выделить следующие стратегии выполнения ТО и ТР электрооборудования (таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Стратегии ТО и ТР зарубежных источников

Русскоязычная версия	Англоязычная версия
Послеотказовое обслуживание	Run-to-Failure (RTF)
Регламентированное обслуживание и ремонт	Time-Based Maintenance
ТО и ТР по состоянию	Condition-Based Maintenance (CBM)
Техническое обслуживание, направленное на надежность	RCM
Проверка и техническое обслуживание на основе оценки риска	Risk Based Inspection and Maintenance (RBIM)

Послеотказовым является обслуживание по необходимости, то есть электрооборудование ремонтируют в момент отказа или заменяют новым. Планово-предупредительное – это регламентированное обслуживание, которое осуществляется по плану, как указано в нормативных документах, независимо от фактического состояния электрооборудования [31], что обеспечивает высокий уровень надежности, повышает эксплуатационные затраты.

Послеотказовая стратегия заключается в том, что профилактические мероприятия выполняют после отказа, в оперативном порядке. Данная стратегия распространена в связи с тем, что при нулевых эксплуатационных затратах оборудование надежно работает в течение небольшого промежутка времени. После одного отказа цепочкой появляются другие, даже при оперативном устранении перво-

го. В результате предприятию наносится значительный ущерб. Поэтому данная стратегия не обеспечивает надежную работу электрооборудования при наименьших эксплуатационных затратах.

На практике стратегию эксплуатации выбирают произвольно. Однако в работах Г.П. Ерошенко, С.М. Бакирова [34] приведено обоснование выбора стратегии технического обслуживания и ремонта.

Условие для выбора послеотказовой или планово-предупредительной стратегии [7]:

$$\lambda_0(1+u)\rho \leq Z^* , \quad (1.3)$$

где λ_0 – интенсивность аварийных ситуаций

при послеотказовом способе эксплуатации, год⁻¹;

u – относительная величина технологического ущерба

от отказа электрооборудования;

ρ – доля эффективности планово-предупредительных работ, $\rho = 0,5-0,8$;

Z^* – относительные затраты на ТО и ТР.

В выражении (1.3) интенсивность аварийных ситуаций оценивает уровень надежности работы электрооборудования, обеспечивающего реализацию технологического процесса [7]. Ключевым параметром при выборе способа является u , поскольку от эксплуатационной ответственности электрооборудования зависит экономическая целесообразность выполнения ТО и ТР:

$$u = \frac{Y_T}{Y_P} , \quad (1.4)$$

где Y_T – суммарный технологический ущерб

в результате отказа электрооборудования, руб.;

Y_P – сумма затрат на капитальный ремонт (замену)

отказавшего электрооборудования, руб.

Аналогично производится выбор между планово-предупредительной или послеосмотровой стратегией [34]:

$$\frac{C_d}{c_p} < \frac{\lambda_1 \rho (1 + u)}{E}, \quad (1.5)$$

где C_d – стоимость диагностических средств

для однотипного электрооборудования, руб.;

λ_1 – интенсивность отказов при планово-предупредительном способе, год⁻¹;

ρ – доля эффективности послеосмотрового способа, $\rho = 0,90 \dots 0,95$;

c_p – среднегодовая стоимость ремонта однотипного электрооборудования, руб.;

E – коэффициент годовых реновационных отчислений, $E = 0,15$.

Самая эффективная – послеосмотровая стратегия. Обслуживание проводится по результатам диагностики, которую выполняют заранее или вместе с техническим обслуживанием. При сопоставлении эксплуатационных затрат с уровнем надежности электрооборудования данная стратегия более рациональна, поскольку фактическое состояние оборудования можно оценить в соответствии с условиями использования в конкретном технологическом процессе. Особенностью стратегии является содержание диагностической базы, что требует значительных затрат. Обеспечивая высокую надежность электрооборудования, она не исключает возможности его отказов, а так же дорогостоящих средств диагностики.

Одна из перспективных стратегий ТО и Р – обслуживание электрооборудования на основе оценки риска [15, 118, 121, 122]. Оборудование, имеющее высокий уровень риска, обслуживается в первую очередь, средний – в удобный для службы момент, т.е. в период наименьшей загруженности, низкий – по необходимости или в те моменты, когда произошел отказ [25].

В работах [20, 44, 47, 60,62, 63, 68, 67, 105] приводится описание оценки риска R отказа оборудования в различных отраслях производства:

$$R = QY, \quad (1.6)$$

где Q – вероятность наступления отказа оборудования
в конкретных условиях работы;

Y – последствия отказа данного оборудования.

Показатель риска информативен, но в тоже время процесс его определения более трудоемок [58, 99]. Это связано с необходимостью сбора большого количества данных для анализа вероятности отказа Q и определения величины ущерба Y [111].

Уровень риска может быть определён как количественным, так и качественным методом с построением матрицы риска (рисунок 1.2) [16, 19, 21]. Для принятия решений по воздействию на риск рекомендуется использовать «алгоритм принятия решений», описанный в ГОСТ 55234.3–2013.

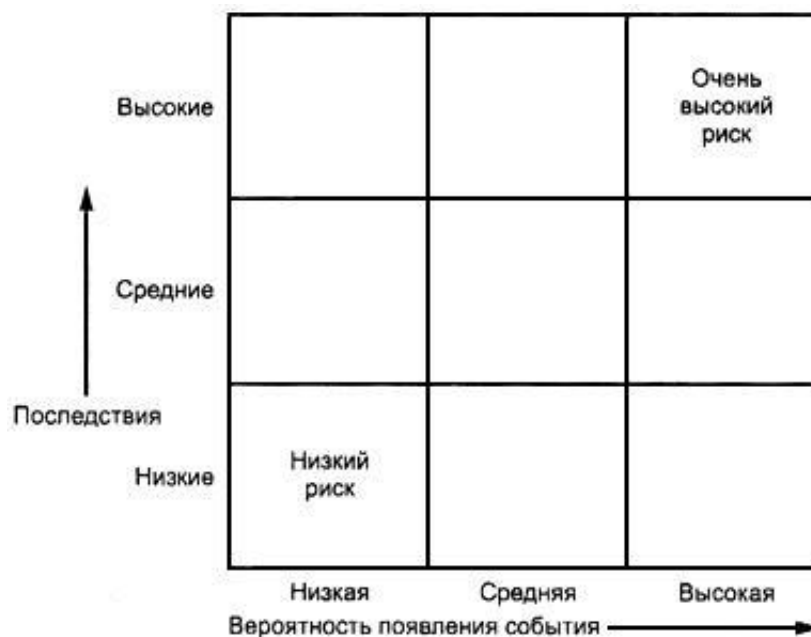


Рисунок 1.2 – Упрощенная матрица риска

Стратегия ТО и Р на основе оценки риска разработана и утверждена для применения в химической, нефтехимической и сталелитейной промышленности [25], однако может быть использована и в других отраслях. Применение данной стратегии позволяет говорить о технико-экономической целесообразности меро-

приятый по техническому обслуживанию и ремонту, так как она характеризует как экономическую составляющую (величина последствий), так и показатели надёжности оборудования (вероятность отказа).

Стратегия не используется в сельскохозяйственном производстве, так как оценка интенсивности отказов электрооборудования затруднена вследствие воздействия различных эксплуатационных факторов. Составляющие ущерба не учитывают особенности технологического процесса [9]. В промышленном производстве рассчитать ущерб из-за остановки технологического процесса проще. Например, если в нормальном режиме на станке производится 500 деталей в час, то при его остановке из-за отказа электродвигателя на 30 мин ущерб составит 250 деталей. В сельскохозяйственном производстве ущерб однозначно оценить невозможно. Например, в птицеводстве при остановке технологического процесса кормления на 30 мин из-за отказа электродвигателя ущерб может иметь различные значения в зависимости от возраста птицы, времени кормления (утреннее, обеденное или вечернее), способов ликвидации отказа и т.п. В некоторых случаях такая остановка процесса может привести к болезни и гибели всей птицы. Тогда последствия становятся катастрофическими, то есть ущерб будет приближен к потерям всего производства [95].

Если отказ электрооборудования может привести к потере всего производства и нарушению его безопасности, применяют стратегию обслуживания, направленную на обеспечение надёжности электрооборудования. Однако при использовании этой стратегии значительно возрастают эксплуатационные затраты, которые складываются из затрат на расширение штата службы, периодическое оснащение ремонтно-обслуживающей базы, содержание диагностических приборов и лабораторий и т.п. Обычно по данной стратегии обслуживают линии электропередач напряжением 110 кВ и выше, поскольку вероятность безотказной работы таких систем должна быть 0,99. Для этого периодически проводят диагностику всех элементов системы, мероприятия по дублированию, резервированию участков, а также применяют различные схемы электроснабжения (кольцевание и т.п.).

Таким образом, сравнивая существующие стратегии технической эксплуатации, можно сделать вывод, что в сельскохозяйственном производстве используются все стратегии, но отсутствуют рекомендации по применению их в конкретных условиях: в отраслях, на производственных участках и др. Не ясно, как оценивать результаты обслуживания каждой из указанных стратегий. Для достижения цели эксплуатации важным является определение закономерностей изменения таких параметров, как эксплуатационные затраты, уровень надежности работы электрооборудования, суммарный ущерб от его отказов.

1.5 Постановка задач исследования

Электрификация сельскохозяйственного производства, оцениваемая отношением электровооруженности к общей вооруженности труда, находится на высоком уровне, который составляет 20–40 %. В последнее время в сельском хозяйстве наметился рост валового продукта, что повлекло за собой повышение уровня электрификации и внедрения новых автоматизированных процессов, а также передовых технологий [48]. Однако в электрификации сельского хозяйства наблюдается проблемная ситуация, которая характеризуется несоответствием между результирующими и фактическими показателями работы электрооборудования. Не уменьшается интенсивность и общее число отказов электроустановок, увеличивается ущерб, наносимый этими отказами, сокращается выпуск продукции и т.п. Однако это не связано с эксплуатационными свойствами электрооборудования и качеством электроснабжения.

Проблема электрификации сельского хозяйства заключается в низком уровне эксплуатации электроустановок. Так, эксплуатационные службы до сих пор не полностью укомплектованы высококвалифицированными кадрами, широко не используются диагностические и другие приборы, разукомплектована ремонтная база и диспетчерская служба. Отсутствует и единое мнение об оптимальной организации службы эксплуатации. Положительные перемены, связанные с внедрением сельскохозяйственных машинно-технологических станций, не затронули электрификацию, поскольку электротехнические работы не были включены в программу работ названных станций.

На основе научных исследований предложен ряд направлений улучшения эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве. Так, А.А. Некрасов [59] теоретически обосновал организацию послеосмотровой эксплуатации и представил широкую номенклатуру средств для диагностирования электроустановок. В работах С.М. Бакирова [7] для повышения эффективности электрификации сельского хозяйства предложена адаптация эксплуатации электрооборудования к особенностям сельскохозяйственного производства. На этой основе проведена классификация сельскохозяйственных объектов, предложена дифференцированная периодичность ТО и ТР и методика построения графика работ по ТО и ТР с круглогодичной равномерной занятостью электромонтеров.

Следующим шагом в этом направлении, по нашему мнению, должен стать переход к организации обслуживания электрооборудования на основе оценки риска. Использование понятия риска позволяет комплексно учесть эксплуатационную надежность электрооборудования и ущерб, наносимый предприятию при его нестабильной работе.

Достигнуть цели эксплуатации возможно путем точной оценки ущерба в конкретном производстве, чтобы применить такие профилактические мероприятия, которые снизят риск отказа электрооборудования. В связи с этим риск-ориентированный подход к обслуживанию электрооборудования приобретает важное значение в условиях сельскохозяйственного производства.

Цель данного исследования – повышение эффективности электрифицированных процессов сельскохозяйственного производства за счет применения риск-ориентированной стратегии технического обслуживания и ремонта электрооборудования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

1. Выполнить анализ состояния, способов и условий технической эксплуатации электрооборудования в сельскохозяйственном производстве.
2. Теоретически обосновать понятие риска отказа электрооборудования и методику его оценки с учетом отраслевых особенностей сельскохозяйственного производства.

3. Разработать программу планирования работ по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования на основе риск-ориентированной стратегии в информационной системе класса ЕАМ.

4. Провести экспериментальные исследования риск-ориентированной стратегии технического обслуживания и ремонта электрооборудования в условиях сельскохозяйственного производства.

5. Определить экономическую эффективность риск-ориентированной стратегии технического обслуживания и ремонта электрооборудования.

Выводы

1. Как показал анализ, электрификация сельскохозяйственных предприятий Саратовской области находится на высоком уровне, который составляет в среднем от 20 до 40 %. В структуре ремонтируемого электрооборудования преобладают электроприводы – 32,4 %, электронагревательные установки – 20,3 %, силовые трансформаторы – 18,9 %. На 65 % предприятий используется смешанная стратегия технического обслуживания и ремонта, которая опирается на устаревшую нормативную базу системы ППРЭСх, корректируемую по личному усмотрению специалистов ЭТС. В результате средняя интенсивность отказов λ в ряде случаев достигает 0,42 о.е., что больше базового значения (0,07).

2. В настоящее время в сельском хозяйстве используются послеотказовая, планово-предупредительная и смешанная стратегии технического обслуживания и ремонта электрооборудования. Применение информационных технологий находится на низком уровне. В 2015 г. на долю АПК приходилось лишь 2,6 % из 650 информационных проектов, используемых в различных отраслях промышленности.

3. Применение риск-ориентированной стратегии в комплексе с информационной системой – одно из перспективных направлений организации оптимального обслуживания электрооборудования, однако требует адаптации ее к отраслевым особенностям сельскохозяйственного производства.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СТРАТЕГИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

2.1 Обоснование объекта исследования

Эффективность эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве зависит от многих факторов, главные из которых:

- 1 – стратегия или способ технической эксплуатации;
- 2 – периодичность и состав работ по обслуживанию и ремонту;
- 3 – объем выделенных ресурсов на эксплуатационные нужды.

Известны различные способы технической эксплуатации [4, 23, 26, 92]. В исторической последовательности они развивались таким образом: послеотказовое, профилактическое, послеосмотровое, надежно-ориентированное и риск-ориентированное обслуживание.

Первые три способа учитывают особенности электрооборудования и условия его эксплуатации. При этом совершенно не принимаются во внимание производственные участки, рабочие машины и особенности технологических процессов. Основная цель данных способов – обеспечение надежности электроустановок без учета ущерба от отказа электрооборудования. Для устранения этого недостатка предложены новые способы. В надежно-ориентированном способе учтены состав и частота повторения операций по обслуживанию на основе вероятности и последствий отказа. Согласно этому способу, электрооборудование ранжируется по степени критичности для реализации технологических процессов. Поэтому тратить ресурсы надо на предупреждение не всех отказов, а только тех, которые могут вызвать значимые последствия. По этому принципу при адаптивной эксплуатации вводится понятие категории эксплуатационной ответственности электрооборудования, которая определяет особенности системы его эксплуатации [38].

Риск-ориентированный способ технического обслуживания развивает предыдущий подход и направлен на оптимизацию процессов технической эксплуатации на основе оценки риска [120].

Оценка риска конкретизирует понятие категории эксплуатационной ответственности и позволяет комплексно рассмотреть эксплуатационные факторы, влияющие на электрооборудование.

Среди различных подходов заслуживает внимания оценка риска вероятного ущерба, которая рассчитывается по выражению 1.6.

Полагают, что значение U определяет особенности технологического процесса, в котором используется электрооборудование. Вероятность отказа Q – это параметр, который полностью зависит от эффективности эксплуатации. Такое сочетание составляющих риска позволяет интегрировать весь комплекс факторов, отражающих успешность функционирования предприятия.

Рассмотрим объект исследования – систему И-Э-Т-С, представленную на рисунке 2.1 [40].

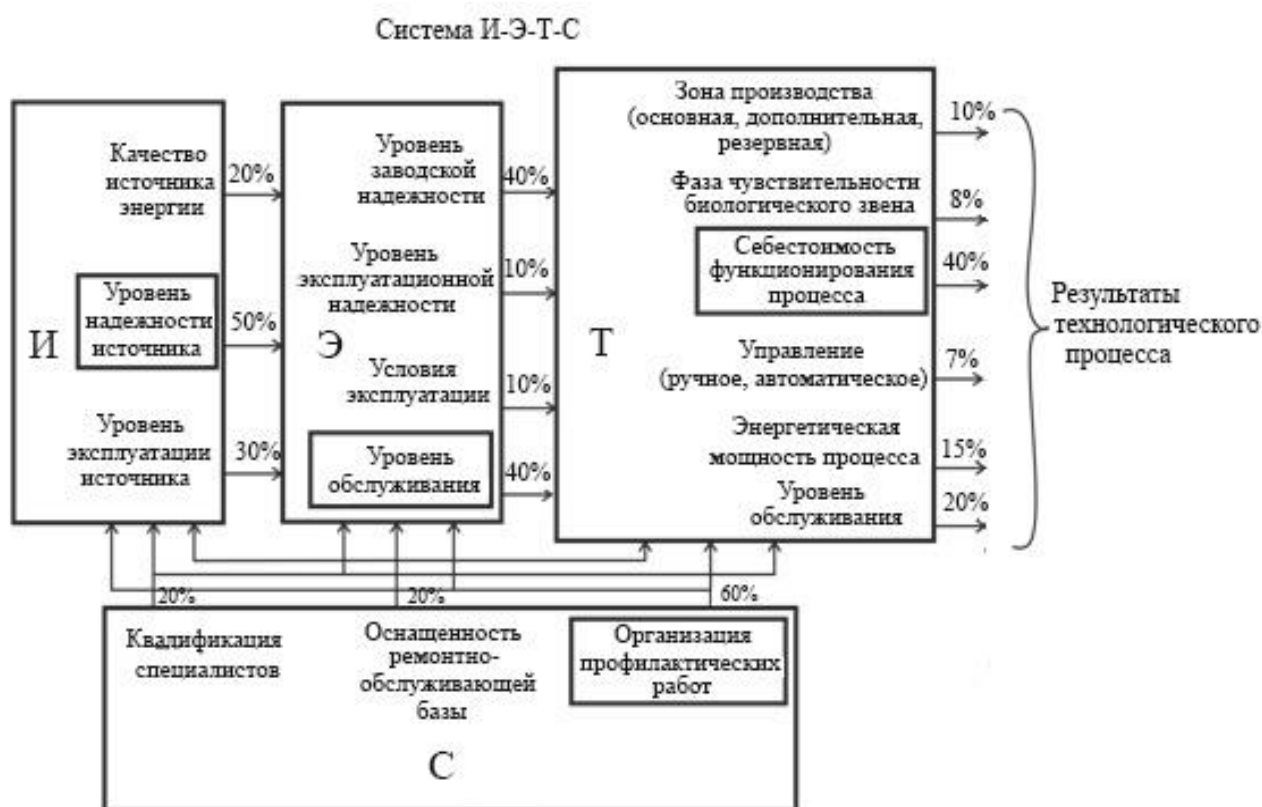


Рисунок 2.1 – Система И-Э-Т-С как объект исследования:

И – источник энергии; Э – энергетическое оборудование;

Т – технологический процесс; С – служба эксплуатации

Анализ системы И-Э-Т-С позволяет оценить состав, размер и влияние факторов на ее элементы. Результатом функционирования системы является готовый продукт или отдельная стадия его изготовления. Качество и количество готового продукта зависят от множества факторов, которые определяются характеристиками технологического процесса. Как видно из рисунка 2.1, на его результаты влияет зона производства (основная, дополнительная, резервная), которая определяется ответственностью электрооборудования. На результаты процесса влияет также тип биологического звена и особенности его чувствительности к внешним воздействиям. Технологический процесс характеризуется уровнем автоматизации управления, от которого зависит его реакция на отказы электрооборудования. Высокая автоматизация управления позволяет своевременно устранять неисправности, реагировать на мелкие неполадки и предотвращать простои технологического процесса. Уровень электрификации технологического процесса влияет на количество и качество производимой продукции. Чем он выше, тем больше требований предъявляется к организации электротехнической службы.

На результаты работы системы И-Э-Т-С также влияют характеристики электрооборудования. Особое значение имеет его заводская (конструкционная) надежность, которая определяется качеством материалов и сборки оборудования, совершенством конструкции и т.п. Показателем конструкционной надежности может быть базовая интенсивность отказов λ_b . Значение ее принимается как номинальное, на которое затем ориентируются при выполнении профилактических мероприятий. Суть их заключается в повышении эксплуатационной надежности до уровня конструкционной (базовой).

Деятельность электротехнической службы зависит от ее организационной структуры, квалификации персонала, оснащенности ремонтно-обслуживающей базы [78]. На результаты технологического процесса системы существенно влияет организация профилактических работ (выделена на рисунке 2.1). Индивидуальный подход, планирование работ в соответствии с ответственностью (приорите-

том) оборудования, условиями его эксплуатации и учетом других факторов позволяют обеспечить бесперебойность технологического процесса и всей системы. Более четкого и точного планирования работ можно добиться путем оценки риска R отказа электрооборудования.

В качестве источника энергии можно рассматривать несколько видов электрооборудования: вводной кабель в здании или помещении, трансформаторную и распределительную подстанции или генератор. Как правило, обслуживанием источника энергии занимается снабжающая организация, а не служба предприятия. Однако от уровня обслуживания источника энергии зависит дальнейшая работа всей системы.

Таким образом, в качестве объекта исследования принята система И-Э-Т-С. На результаты её работы влияют три характеристики: себестоимость функционирования технологического процесса как показатель трудовых и материальных ресурсов, влияющих на размер возможного технологического ущерба U_T от отказа электрооборудования; уровень обслуживания, то есть состав и вид профилактических мероприятий, определяющих показатель эксплуатационной надежности электрооборудования – вероятность отказов Q ; организация деятельности электротехнической службы, в задачи которой входит планирование работ на основе оценки риска отказа электрооборудования. Понятие риска позволяет комплексно оценить данные характеристики. Рассмотрим подробнее составляющие риска на примере тепличного производства

2.2 Влияние эксплуатационных факторов на составляющие риска отказа электрооборудования

2.2.1 Определение экономического ущерба как составляющей риска

Последствия отказа электрооборудования характеризует размер возможного экономического ущерба [66, 113]. Поэтому от величины ущерба и учета факторов, влияющих на него, в конечном итоге зависит точность оценки риска.

В теории эксплуатации можно выделить прямой (инженерный) и косвенный методы расчета экономического ущерба [10, 40]. Он определяется как суммарный, состоящий из технологического ущерба U_T и ущерба, обусловленного заменой (ремонт) электрооборудования U_p , вышедшего из строя:

$$U_{\Sigma} = U_T + U_p. \quad (2.1)$$

Прямой метод расчета экономического ущерба позволяет детально рассмотреть его составляющие и оценить влияние на них отраслевой специфики производства. Например, в растениеводстве размер ущерба связан с качеством (I, II сорта, брак) и количеством получаемой продукции, кг/м²; в мясном животноводстве – с привесом живой массы, г/сут., объемом выбракованных и преждевременно погибших животных; в молочном – с количеством и качеством полученного молока, л [9, 12, 13].

Технологический ущерб U_T , на который приходится до 80 % от общего экономического ущерба, определяют по формуле:

$$U_T = \pi_{\text{п}} \frac{\pi_0}{100\%} \gamma (t_{\text{ф}} - t_{\text{д}}) S \text{Ц}, \quad (2.2)$$

где $\pi_{\text{п}}$ – плановый выход продукции, кг/м²;

π_0 – удельный объём недополученной продукции с 1 м²

в зависимости от стадии развития растений;

γ – удельный недовыпуск основной продукции (в случае, если отказ происходит

в период созревания) в зависимости от планового в результате простоя

электрооборудования сверхдопустимой длительности, ч⁻¹;

$t_{\text{ф}}$ – фактическая продолжительность простоя, ч;

$t_{\text{д}}$ – допустимая продолжительность простоя, ч;

S – площадь, м²;

Ц – цена единицы основной продукции, руб./ кг.

Плановый выход продукции $\pi_{\text{п}}$ в тепличном производстве во многом зависит от сорта растений и организации технологических процессов. Величина его значительно изменилась за последние 30 лет [11]. В связи с этим был проведен анализ производительности современных тепличных комбинатов и скорректированы значения планового выхода продукции, в частности огурцов и томатов. В среднем выход томатов составил $45\text{кг}/\text{м}^2$; огурцов – $55\text{кг}/\text{м}^2$.

Значения удельного объема недополученной продукции π_0 в результате гибели растений разной стадии развития были получены ВИЭСХ в работе [12].

Величина удельного недовыпуска основной продукции в результате часового простоя электрооборудования α была скорректирована с учетом современных актуальных данных по среднесуточным объёмам производства (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Удельный недовыпуск продукции в технологических процессах тепличного производства

Культура	Удельный недовыпуск основной продукции в технологических процессах		
	освещение	водоснабжение и под- кормка растений	обеспечение микро- климата
Томаты	0,04	0,03	0,04
Огурцы	0,02	0,03	0,03

Расчет экономического ущерба в сельском хозяйстве во многом осложнен применением величины фактической продолжительности простоя $t_{\text{ф}}$, числовые значения которой берутся из регистрационных зоотехнических и эксплуатационных журналов предприятия. При отсутствии таких данных предлагается воспользоваться значениями расчетной фактической продолжительности простоя $t_{\text{ф.р}}$ (таблица 2.2), которую принимают как усредненное значение фактической продолжительности простоя с корректированием на случайную погрешность. Для получения $t_{\text{ф.р}}$ был проведен анализ значений фактической продолжительности простоя $t_{\text{ф.изм}}$ на современных тепличных производствах. С определенной долей вероятности можно

утверждать, что в полученных интервалах $t_{ф.изм}$ содержится значение расчетной фактической продолжительности простоя $t_{ф.р}$. Данное условие имеет вид:

$$t_{ф.изм} - \Delta x \leq t_{ф.р} \leq t_{ф.изм} + \Delta x, \quad (2.3)$$

где Δx – абсолютная погрешность измерений.

Таблица 2.2 – Усредненные значения фактической продолжительности простоя $t_{ф.р}$ на тепличных производствах с корректированием на случайную погрешность

Технологические процессы	Значение расчетной фактической продолжительности простоя $t_{ф.р}$, ч
Контроль микроклимата в тепличных комплексах	10
Водоснабжение и подкормка	13
Контроль освещенности	15

Учитывая проведенный анализ величины $t_{ф.изм}$, за исходную $t_{ф}$ приняли ее среднее арифметическое значение

$$t_{ф} = \bar{x}.$$

Для оценки случайной погрешности определили среднеквадратичное отклонение от среднего арифметического

$$S_{\Pi} = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n(n-1)}}, \quad (2.4)$$

где $x_{1,2,\dots,n}$ – результаты измерений, ч;

\bar{x} – среднее арифметическое значение $t_{ф}$;

n – количество проведенных измерений.

Предлагая доверительную погрешность с вероятностью $\rho = 0,9$, определили коэффициент Стьюдента α_n для заданного ρ и число проведенных измерений фактической продолжительности простоя n . Зная коэффициент Стьюдента, вычислили доверительный интервал погрешности измерений:

$$\Delta x = \alpha_n S_n. \quad (2.5)$$

Окончательная величина расчетной фактической продолжительности простоя $t_{ф.р}$ следующая:

$$t_{ф.р} = \bar{x} \pm \Delta x. \quad (2.6)$$

Таким образом, используя значение расчетной фактической продолжительности простоя $t_{ф.р}$, можно значительно повысить точность оценки технологического ущерба U_T . Закономерно, что чем больше проведено измерений $t_{ф.изм}$, тем выше точность оценки технологического ущерба U_T .

Допустимую продолжительность простоя t_d характеризует период времени, при котором благодаря естественной устойчивости технологического процесса ущерб мал и в расчётах им можно пренебречь. В теории эксплуатации данная величина определена для многих технологических процессов, однако она не учитывает возраст биологического объекта, а также ряд других факторов (тип выращиваемой культуры). Так, рассада огурцов (1–2 мес.) в тепличном производстве более восприимчива к колебаниям температуры воздуха, чем те же растения в период плодоношения.

Кроме того, допустимую продолжительность простоя определяют опытным путем при использовании новых видов технологий выращивания растений. Например, если корневая система располагается в минераловатных матах, то чувствительность к поливу будет в несколько раз выше. У томатов она составляет 1 ч.

Поэтому отказ электрооборудования в технологических процессах с разной степенью критичности воздействует на биологический объект в зависимости от стадии его развития.

Результаты перерасчета значений допустимой продолжительности простоя некоторых технологических процессов тепличного производства с учетом стадии развития биологического объекта (томаты; огурцы) приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Допустимая продолжительность простоя электрооборудования в технологических процессах тепличного производства

Культура	Стадия развития	Допустимая продолжительность простоя технологических процессов в тепличном производстве, ч		
		освещение	водоснабжение и подкормка растений	обеспечение микроклимата
1	2	3	4	5
Томаты*	Всходы	$\frac{10}{7}$	$\frac{24}{20}$	$\frac{1}{4}$
	Рассада	$\frac{8}{9}$	$\frac{24}{19}$	$\frac{2}{5}$
	До плодоношения	$\frac{48}{72}$	$\frac{16}{18}$	$\frac{12}{3}$
	В период плодоношения	$\frac{168}{14}$	$\frac{12}{14}$	$\frac{16}{2}$
Огурцы*	Всходы	$\frac{9}{7}$	$\frac{24}{20}$	$\frac{2}{5}$
	Рассада	$\frac{12}{11}$	$\frac{24}{30}$	$\frac{3}{7}$
	До плодоношения	$\frac{48}{72}$	$\frac{13}{16}$	$\frac{14}{5}$

	В период плодоношения	$\frac{168}{12}$	$\frac{8}{10}$	$\frac{18}{3}$
--	-----------------------	------------------	----------------	----------------

* В числителе указана весенняя культура, в знаменателе – осенняя.

Таким образом, можно сделать вывод, что период допустимой продолжительности простоя электрооборудования в технологических процессах тепличного производства непостоянен и варьирует в зависимости от стадии развития растений, типа культур и технологии выращивания. Особенно чувствительны к нарушениям в реализации технологических процессов растения в стадии всходов и рассады. В весенний период длительный отказ систем микроклимата и как следствие – воздействие отрицательных температур может загубить всходы и рассаду. Продолжительный период простоя электрооборудования, обеспечивающего освещение, снижает продуктивность растений на 20–40 %. Водоснабжение играет наибольшую роль в технологиях выращивания растений в минераловатных матах. С ростом весенних культур и в период плодоношения происходит переход к естественному освещению, и допустимая продолжительность простоя электрооборудования в технологическом процессе освещения повышается. Температура окружающей среды становится приемлемой для растения, поэтому отказ электрооборудования в системе обеспечения микроклимата не так критичен. Однако растения потребляют большее количество влаги и нуждаются в подкормке для нормальной продуктивности, а значит, продолжительность простоя оборудования, обеспечивающего водоснабжение, уменьшается.

Несмотря на большие значения допустимой продолжительности простоя ряда технологических процессов (до 168 ч), замену или ремонт отказавшего электрооборудования рекомендуется производить в течение рабочего дня смены (в среднем 8 ч). Данная рекомендация связана с тем, что помимо ущерба от недовыпуска продукции тепличное производство может получить ущерб от производства продукции сниженного качества, реализация которой осуществляется по низкой цене [9]. Определение этой составляющей еще более ослож-

нено, так как зависит от особенностей культуры и локальных параметров технологического процесса.

При расчете экономического ущерба учитывается цена Ц на продукцию, производимую на предприятии. В условиях существующей экономической ситуации следует учитывать не только закупочную, но и рыночную цену. Усредненные закупочные и рыночные цены реализации основной сельскохозяйственной продукции установлены Федеральной службой государственной статистики за I квартал 2016 г. (таблица 2.4) [96].

Таблица 2.4 – Средние закупочные и рыночные цены на основную сельскохозяйственную продукцию растениеводства по Российской Федерации за 2016 г.

Наименование продукции	Средняя закупочная цена Ц _з , тыс. руб./т	Средняя рыночная цена Ц _р , руб./кг
Зернобобовые культуры	13,06	38,80
Семена подсолнечника	20,28	45,60
Картофель	13,19	35,70
Томаты	63,16	109,20
Огурцы	50,89	80,45
Репчатый лук	13,98	37,40
Капуста	15,17	35,43
Столовая морковь	14,47	60,70
Столовая свекла	13,28	18,50

Учитывая предложенные поправки, определили возможный технологический ущерб от отказа электрооборудования (например, электродвигателя насоса системы теплоснабжения). В теплице выращивается томат (осенняя культура) на площади 1,5 тыс. м². Возраст растений – 4 месяца (период до плодоношения). В этом случае с учетом формулы (2.2) удельный объем недополученной продукции π_0 составит около 60 %, удельный недовыпуск ее $\alpha = 0,04$, допустимая продолжи-

тельность простоя $t_d = 5$ ч, расчетная фактическая продолжительность простоя $t_{ф.р} = 10$ ч [95]. Таким образом, продолжительность простоя $t_{п} = 5$ ч.

Объем недополученной продукции с 1500 м^2 составит 3960 кг, технологический ущерб U_T при ее продаже по закупочной цене – 297634 руб., при продаже по рыночной цене через точки сбыта – 432432руб.

Указанные факторы (естественная устойчивость технологических процессов, относительная погрешность при определении фактической продолжительности простоя, корректирование рыночных цен и производительности, воздействие производственной среды) оказывают значительное влияние на ущерб, а значит и на риск отказа электрооборудования. Их учет позволит повысить точность технико-экономических расчетов, связанных с оценкой риска.

2.2.2 Влияние условий эксплуатации электрооборудования на оценку риска его отказа

Риск, как указано в выражении (1.6), определяется двумя составляющими: экономическим ущербом U при отказе электрооборудования и вероятностью его отказа Q .

Первая составляющая риска зависит от рассматриваемой технологии и техники, применяемой на конкретном сельскохозяйственном предприятии. При низком уровне электрификации ущерб предприятия при отказе электрооборудования может быть незначительным, и технологический объект продолжит функционирование за счет использования ручного труда. По мере улучшения электрификации и привлечения средств автоматизации технология существенно меняется, растет производительность труда.

Электротехническая служба предприятия, осуществляющая эксплуатацию электрооборудования, не может существенно снизить риск, воздействуя на ущерб. Риск в большей степени зависит от особенностей технологического процесса и уровня его электрификации и автоматизации [52].

Вторая составляющая риска характеризует эксплуатационные свойства электрооборудования.

В общем случае вероятность появления отказа примет вид:

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}, \quad (2.7)$$

где $P(t)$ – вероятность безотказной работы.

Из большого числа существующих законов распределения случайных величин необходимо использовать те, которые наиболее полно описывают распределение времени безотказной работы. Основным критерием для этого должна быть связь между механизмом отказов, учитывающим физику процессов при эксплуатации, и функцией интенсивности отказов [49].

Многочисленные наблюдения подтверждают, что существует устойчивый закон изменения интенсивности отказов в зависимости от времени. В нем четко выделяются три периода: 1 – приработка; 2 – нормальная работа; 3 – старение, износ. В первом периоде интенсивность убывает, во втором является постоянной величиной, а в третьем – возрастает. Электрооборудование в первый период работает недостаточно по времени, а до третьего периода не успевает доработать, так как рабочие машины, на которых оно используется, имеют меньшую долговечность и снимаются с эксплуатации быстрее, чем изнашиваются электроустановки.

Таким образом, электрооборудование используется в период нормальной работы, когда интенсивность отказов – постоянная и не зависит от времени эксплуатации.

Сказанное позволяет перейти от общего распределения, согласно исследованию [37], к экспоненциальному

$$\left. \begin{aligned} P(t) &= e^{-\frac{\lambda}{T_0} t} = e^{-\lambda t}; \\ Q(t) &= 1 - e^{-\lambda t}; \\ \lambda(t) &= \frac{1}{T_0} = \lambda = \text{const}; \\ T_0 &= \frac{1}{\lambda}, \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

где T_0 – наработка на отказ, ч.

Если воспользоваться свойством экспоненциального закона, которое заключается в том, что $\lambda t < 0,1$, то разложение

$$e^{-\lambda t} = 1 - \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2} + \dots + \frac{(\lambda t)^n}{n} \quad (2.9)$$

позволяет записать простое уравнение вероятности отказа

$$Q(t) = \lambda t. \quad (2.10)$$

Вероятность отказа, как и надежность в целом, подразделяют на конструкционную (базовую)

$$Q_6(t) = \lambda_6 t. \quad (2.11)$$

и эксплуатационную

$$Q_3(t) = \lambda_3 t. \quad (2.12)$$

Первая закладывается при создании изделия, а вторая проявляется при эксплуатации.

Эксплуатационную интенсивность отказов рассчитывают по зависимости:

$$\lambda_3 = \lambda_6 K_{\text{вЛ}_1} K_{\text{вЛ}_2} \dots K_{\text{вЛ}_i}, \quad (2.13)$$

где λ_3 – эксплуатационная интенсивность отказов;

λ_6 – базовая интенсивность отказов;

$K_{вл_1} K_{вл_2} \dots K_{вл_i}$ – коэффициенты влияния факторов эксплуатации.

Для учёта коэффициентов влияния используют общую формулу:

$$K_{вл_i} = \beta_i^{\rho_i}, \quad (2.14)$$

где β_i – эксплуатационное значение учитываемого фактора в долях от базового;

ρ_i – коэффициент чувствительности отказов к изменению факторов.

Числовые значения параметров β и ρ , принятые в соответствии с исследованием [39], приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Справочные данные для оценки влияния эксплуатационных факторов

Воздействие	Относительное значение фактора	Коэффициент чувствительности
Дестабилизирующие факторы		
Качество напряжения d_1	$\beta_1 = \frac{U}{U_H}$	$\rho_1 = -2,0$
Окружающая среда d_2 :	нормальная	$\rho_2 = 1,0$
	тяжелая	$\rho_2 = 1,0$
Суточная занятость d_3	$\beta_3 = \frac{T}{T_H} = 0,3$	$\rho_3 = 0,5$
Компенсирующие факторы		
Качество технической эксплуатации	$\beta_4 = \frac{N_\Phi}{N_H}$	$\rho_4 = 1,0$

Защита от аварийных режимов		
ТРН	$\beta_5 = 0,5$	$\rho_5 = 1,0$
УВТЗ-1	$\beta_5 = 0,25$	$\rho_5 = 1,0$
УВТЗ-5	$\beta_5 = 0,1$	$\rho_5 = 1,0$
Загрузка	$\beta_6 = \frac{g_{\Phi}}{g_H}$	$\rho_6 = 2,0 \dots 3,0$

Эксплуатационные факторы, которые ухудшают надежность, то есть увеличивают интенсивность отказов, являются дестабилизирующими. Те из них, которые улучшают надежность, то есть уменьшают интенсивность отказов, называют компенсирующими.

К группе дестабилизирующих факторов относят: влияние источника питания, влияние окружающей среды, суточную занятость электрооборудования и др.

Компенсирующие факторы включают в себя: влияние качества технической эксплуатации, применение устройств защиты от аварийных режимов, оптимизацию нагрузки.

Эксплуатационная интенсивность отказов по сравнению с базовой значительно влияет на оценку риска.

Например, при оценке риска отказа электродвигателя серии 5А, используемого в электроприводе насосной установки в тепличном комплексе, установлено, что технологический ущерб V_T составил 432432 руб.; напряжение – номинальное; окружающая среда – тяжелая; защита от аварийных режимов – ТРН; суточная занятость $T_c = 8$ ч; $\alpha = 1,0$; конструкционная (базовая) интенсивность отказов $\lambda_6 = 10^{-5} \text{ ч}^{-1} = 10^{-5} \text{ год}^{-1} \approx 0,1 \text{ год}^{-1}$.

По данным таблицы 2.5 и выражениям (1.6), (2.11) и (2.12), риск с учетом базовой интенсивности отказов составит

$$R = \lambda_6 V = 10^{-5} \cdot 432432 = 43243,2 \text{ руб.}$$

эксплуатационной интенсивности отказов

$$R = \lambda_6 \beta_1^{\rho_1} \beta_2^{\rho_2} \beta_5^{\rho_5} = 10^{-5} \cdot 1^1 \cdot 3^1 \cdot 0,5^1 \cdot 432432 = 64864,8 \text{ руб.}$$

Таким образом, риск, учитывающий эксплуатационную интенсивность отказов, в 1,5 раза выше риска, учитывающего базовую интенсивностью отказов.

Фактор «качество технической эксплуатации β_4 » не позволяет наиболее полно рассмотреть ее компенсирующее воздействие, так как учитывает лишь фактическое количество специалистов ЭТС. Для того чтобы наиболее полно оценить влияние данного фактора, введен количественный коэффициент e , характеризующий положительный эффект от снижения доли отказов за счет применения стратегии технического обслуживания и ремонта:

$$e = 1 - \varphi. \quad (2.15)$$

где φ – достигаемая доля снижения отказов, %.

Доля снижения отказов при использовании планово-предупредительной, послеотказовой и послеосмотровой стратегий определена в исследованиях [59].

Доказать влияние стратегии ТО и Р на интенсивность отказов можно на следующем примере. В тепличном производстве функционируют два блока теплиц. В каждом из них установлен электродвигатель серии 5 А, используемый в электроприводе насосной установки. Исследованием установлено, что условия эксплуатации электродвигателей в обоих блоках теплиц одинаковы: напряжение – номинальное; окружающая среда – тяжелая; защита от аварийных режимов – ТРН; суточная занятость $T_c = 8$ ч; $\beta = 1,0$; конструкционная (базовая) интенсивность отказов $\lambda_6 = 10^{-5} \text{ ч}^{-1} \approx 0,1 \text{ год}^{-1}$. Однако в первом блоке используется планово-предупредительная, а во втором – послеосмотровая стратегия. Применение планово-предупредительной стратегии снижает отказы на 25 % ($\rho = 0,25$), послеосмотровой – на 50 % ($\rho = 0,5$).

По данным таблицы 2.5 выполнен расчет интенсивности отказов электрооборудования в первом и втором блоках:

$$\lambda_{\varepsilon_1} = \lambda_6 \beta_1^{\rho_1} \beta_2^{\rho_2} \beta_3^{\rho_3} = 10^{-5} \cdot 1^1 \cdot 3^1 \cdot 1^{0,5} \cdot 0,75 = 0,22 \text{ год}^{-1};$$

$$\lambda_{\varepsilon_2} = \lambda_6 \beta_1^{\rho_1} \beta_2^{\rho_2} \beta_3^{\rho_3} = 10^{-5} \cdot 1^1 \cdot 3^1 \cdot 1^{0,5} \cdot 0,5 = 0,15 \text{ год}^{-1}.$$

При равнозначных условиях эксплуатации использование послеосмотровой стратегии обслуживания электрооборудования позволяет снизить интенсивность его отказов в 1,5 раза по сравнению с планово-предупредительной. Таким образом, послеосмотровая стратегия ТО и Р оказывает компенсирующее воздействие на электрооборудование, уменьшая влияние дестабилизирующих факторов и повышая надежность работы электрооборудования.

Отсюда следует, что эксплуатационные факторы позволяют более полно учесть условия эксплуатации электрооборудования, а значит повысить достоверность расчетов.

2.3 Обоснование параметров риск-ориентированной стратегии технического обслуживания и ремонта электрооборудования

2.3.1 Оптимальное распределение ресурсов и эксплуатационных затрат на техническое обслуживание и ремонт электрооборудования

Оптимизация затрат на техническую эксплуатацию электрооборудования приобретает важное значение при формировании цен на продукцию. Для этого рассматриваются альтернативные стратегии технического обслуживания и ремонта. Сущность риск-ориентированной стратегии заключается в оценке последствий отказов установленного электрооборудования.

Риск – это ожидаемые последствия при отказе электрооборудования. Для оценки риска R используют ущерб U от отказа и вероятность его наступления Q .

Для оценки риска рассмотрены два объекта. Интенсивности отказов на объектах одинаковы:

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda.$$

Объекты имеют различные значения ущербов U_1 и U_2 .

Поставлена задача такой организации обслуживания электрооборудования, при которой риск для предприятия будет наименьшим:

$$R_1 + R_2 = \lambda_1 U_1 + \lambda_2 U_2 \rightarrow \min. \quad (2.16)$$

В известных способах организации эксплуатации трудовые и материальные ресурсы распределяют по индивидуальным принципам. При послеотказовом способе их используют только после отказа электрооборудования, планово-предупредительном – распределяют заранее в соответствии с нормируемой периодичностью работ. При послеосмотровом способе проводят планирование диагностирования, по результатам которого распределяют ресурсы. При риск-ориентированном способе распределение ресурсов осуществляется сразу в целевом порядке для сокращения отказов [50, 76, 79].

В изучаемой задаче на эксплуатацию выделяют Z ресурсов, которые распределяют на первый Z_1 и второй Z_2 объекты, то есть

$$Z = Z_1 + Z_2. \quad (2.17)$$

Отсюда

$$\frac{Z_1}{Z_2} = K, \quad (2.18)$$

где K – кратность распределения ресурсов на изучаемые объекты.

Тогда

$$\left. \begin{aligned} z_1 &= \frac{K}{1+K} z, \\ z_2 &= \frac{1}{1+K} z. \end{aligned} \right\} \quad (2.19)$$

Увеличение ресурсов позволяет чаще и качественнее проводить техническое обслуживание и текущий ремонт. Это приводит к снижению интенсивности отказов:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{\lambda}{z_1^\alpha}; \\ \lambda_2 &= \frac{\lambda}{z_2^\alpha}, \end{aligned} \right\} \quad (2.20)$$

где α – чувствительность изменения интенсивности отказов к увеличению ресурсов.

С учетом выражений (2.17), (2.18), (2.19), (2.20) уравнение изменения суммарного риска от распределения ресурсов примет вид:

$$R_\Sigma = \frac{\lambda Y_1}{z_1^\alpha} + \frac{\lambda Y_2}{z_2^\alpha} = \frac{\lambda Y_1}{\left(\frac{K}{1+K} z\right)^\alpha} + \frac{\lambda Y_2}{\left(\frac{1}{1+K} z\right)^\alpha}, \quad (2.21)$$

где α – чувствительность изменения интенсивности отказов к увеличению ресурсов;

K – кратность распределения ресурсов на объекты;

z – ресурсы, выделяемые на эксплуатацию объектов, руб.

Зависимость (2.21) свидетельствует о том, что суммарный риск отрицательно влияет на кратность распределения ресурсов по объектам. При значении $K = 1,0$ риск становится наименьшим.

Условно примем, что два объекта имеют исходные ущербы $Y_1 = 1000$ и $Y_2 = 1500$. На рисунке 2.2 показано изменение суммарного риска в зависимости от распределения ресурсов: $K = 0,05–10$ при $\alpha = 0,3–1,5$.

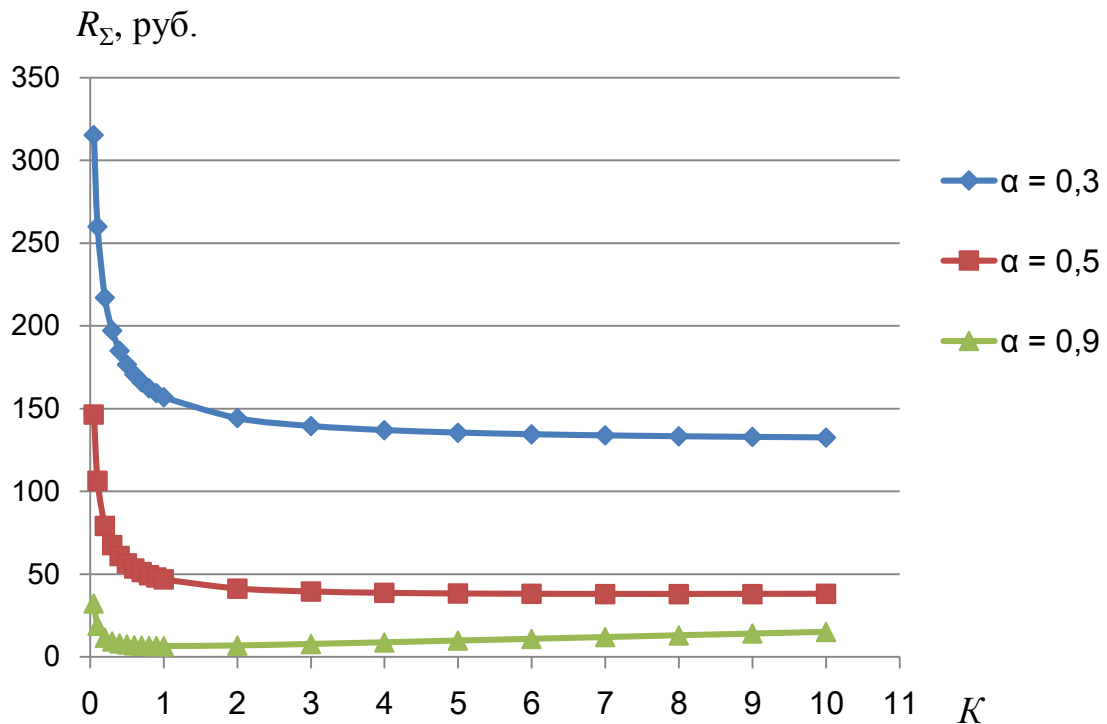


Рисунок 2.2 – Зависимость суммарного риска R_Σ

от кратности распределения ресурсов K на обслуживание электрооборудования

Как видно, суммарный риск имеет резко выраженный минимум. Он наблюдается в области равномерного распределения ресурсов при $K = 1,0$. Снижение доли ресурсов на обслуживание объекта, имеющего значительный ущерб от отказа, резко увеличивает суммарный риск. Поэтому ориентация на равномерное распределение ресурсов должна быть основным правилом при отсутствии полных сведений об эксплуатационной надежности электрооборудования.

На основании решения уравнения

$$\frac{\partial R_\Sigma}{\partial K} = 0 \quad (2.22)$$

можно найти оптимальное значение коэффициента распределения ресурсов K .
При $\alpha = 1,0$

$$K = \sqrt{\frac{Y_1}{Y_2}}. \quad (2.23)$$

Из выражения (2.23) следует, что наименьший суммарный риск будет достигнут при распределении ресурсов на эксплуатацию объектов пропорционально квадратному корню из отношения ущербов.

Для определения качества эксплуатации электрооборудования применяют разные подходы. В официальных документах используют нормативный способ, который состоит в том, что эксплуатация признается успешной, когда соблюдаются нормативные значения периодичности обслуживания, состава работ, сопротивления изоляции, вибрации, интенсивности отказов и других параметров.

Оценить качество эксплуатации можно по критерию суммарных затрат, включающих в себя затраты на обслуживание электрооборудования и технологический ущерб. Обычно расчет затрат Z_0 производят на одну условную единицу электрооборудования N , а затем пересчитывают на весь парк электроустановок предприятия:

$$Z_0 = Z_y NK_c, \quad (2.24)$$

где Z_0 – годовые затраты на обслуживание электрооборудования, руб.;

Z_y – затраты на 1 усл. ед. электрооборудования, руб.;

K_c – коэффициент, учитывающий влияние окружающей среды на изменение эксплуатационных затрат.

Суммарный экономический ущерб рассчитан по формуле (2.1). При оценке эксплуатации учитывают годовые затраты и риск отказа электрооборудования.

Таким образом, имеются две составляющие: первая Z_0 – оценивает годовые затраты на обслуживание электрооборудования; вторая R – результат в виде годового технологического ущерба предприятия при достигнутом уровне надежности. Сумма этих составляющих является критерием эффективной эксплуатации

$$Z_9 = Z_0 + R. \quad (2.25)$$

Экономия за счет снижения затрат на обслуживание вплоть до $Z_0 \rightarrow 0$ неизбежно увеличивает число и риск отказов электрооборудования. В результате суммарные затраты возрастают. Экономия от снижения ущерба до $R \rightarrow 0$ потребует огромных затрат на обслуживание электрооборудования, вследствие чего суммарные затраты также возрастают. Следовательно, существует некоторый баланс между Z_0 и R , при котором суммарные затраты будут наименьшими. Такие затраты и эксплуатация в целом считаются оптимальными.

Оптимизация суммарных эксплуатационных затрат связана с трудностью отыскания количественной связи между Z_0 и R . За основу приняты результаты исследования [34]. Обобщающим показателем уровня технической эксплуатации являются годовые эксплуатационные затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт.

Статистическая связь между интенсивностью отказов и уровнем обслуживания представлена на рисунке 2.3 [36]. За основу приняты относительные значения интенсивности отказов

$$\lambda^* = \frac{\lambda}{\lambda_6}, \quad (2.26)$$

где λ – текущая интенсивность отказов, год⁻¹;

λ_6 – базовая интенсивность отказов асинхронного электродвигателя серии 5А,
 $\lambda_6 = 0,95$ год⁻¹.

Тогда относительный уровень обслуживания можно вычислить по выражению

$$\gamma^* = \frac{Z_0}{Z_6}, \quad (2.27)$$

где Z_0 – годовые затраты на обслуживание электрооборудования, руб.;

Z_6 – базовые затраты, определяемые по нормативам системы технического обслуживания и ремонта, принятым в сельском хозяйстве, руб. [52].

По рисунку 2.3 рассчитали зависимость:

$$\frac{\lambda}{\lambda_0} = \frac{3_0}{3_0}. \quad (2.28)$$

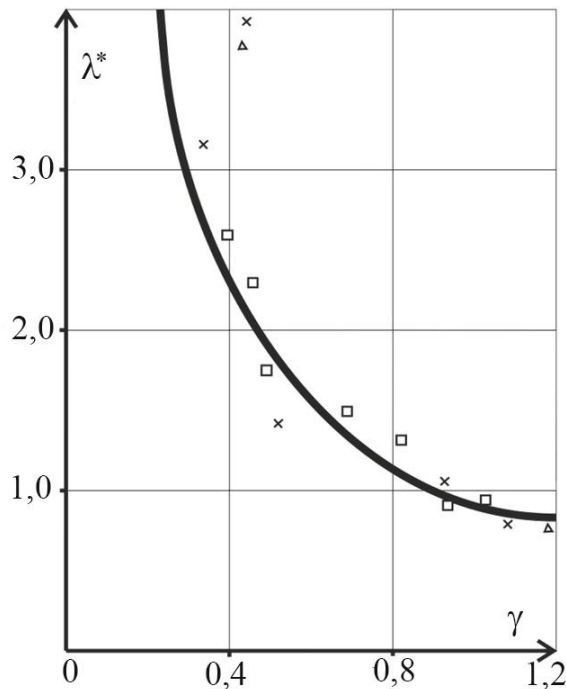


Рисунок 2.3 – Статистическая зависимость относительной интенсивности отказов λ^* от уровня обслуживания γ^*

Для случая экспоненциального закона распределения отказов в простейшем виде:

$$P(t) = 1 - \lambda t. \quad (2.29)$$

Тогда уравнение (1.6) приводят к виду

$$R = \lambda Y. \quad (2.30)$$

С учетом уравнений (2.25), (2.28) и (2.30) получим следующий вид зависимости суммарных затрат от главных факторов эксплуатации

$$3_c = 3_0 + \frac{\lambda_0 3_0 Y}{3_0}. \quad (2.31)$$

Отсюда видно, что суммарные затраты увеличиваются за счет роста затрат на обслуживание, но уменьшаются при снижении риска. Такая зависимость показана на

рисунке 2.4. Примем следующие исходные данные $\lambda_6 = 0,95 \text{ год}^{-1}$, $Z_6 = 10 \text{ тыс. руб.}$, $Y_1 = 1,0 \text{ тыс. руб.}$, $Y_2 = 10,0 \text{ тыс. руб.}$

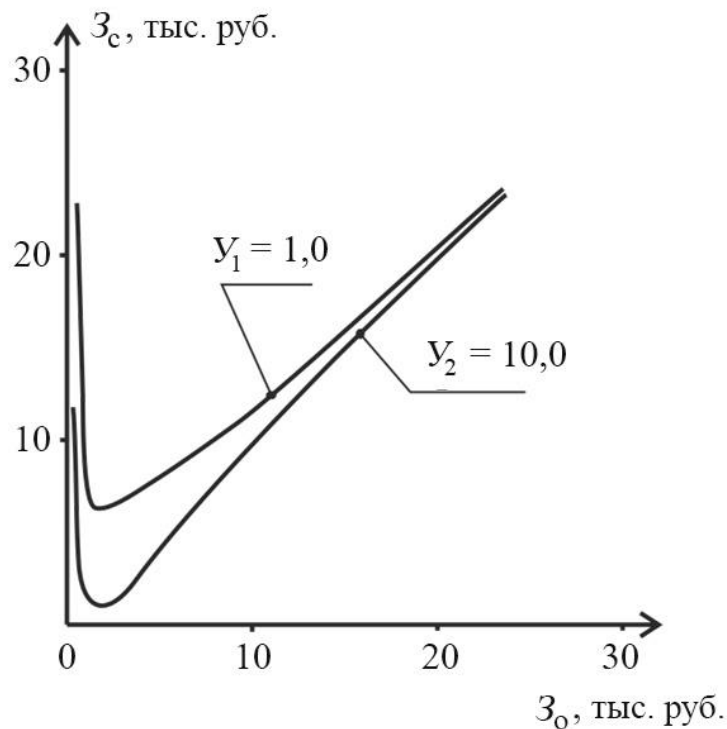


Рисунок 2.4 – Зависимость ущерба от величины суммарных затрат на обслуживание

Снижение затрат на обслуживание приводит к резкому увеличению суммарных затрат. Это свидетельствует о необходимости перехода к оптимальной эксплуатации.

Производная исходного выражения (2.31) примет вид:

$$\frac{dZ_c}{dZ_o} = 1 - Z_o^{-2} \lambda_6 Z_6 Y = 0. \quad (2.32)$$

Отсюда можно определить оптимальные эксплуатационные затраты, которые зависят от величины ущерба и базовых параметров эксплуатации:

$$Z_{\text{опт}} = \sqrt{\lambda_6 Z_6 Y}. \quad (2.33)$$

Чтобы обобщить анализ полученных результатов, надо ввести относительные величины ущерба и эксплуатационных затрат:

$$\left. \begin{aligned} Y^* &= \frac{Y}{Z_0}; \\ Z_0^* &= \frac{Z_0}{Z_0}. \end{aligned} \right\} \quad (2.34)$$

Совместное решение уравнений (2.33) и (2.34) дает

$$Z_0^* = \sqrt{\lambda_6 Z_0 Y}. \quad (2.35)$$

По данному уравнению построены кривые на рисунке 2.5

Оптимальное значение относительных эксплуатационных затрат зависит от размера технологического ущерба и базовой интенсивности отказов. Увеличение ущерба от 1 до 5, то есть в 5 раз, повышает эксплуатационные затраты в 3 раза. При росте базовой интенсивности отказов λ_6 с 0,07 до 0,12, то есть в 1,7 раза, затраты возрастают в 2 раза (при $Y^* = 1,0$). При несоблюдении этих условий суммарные затраты резко увеличиваются.

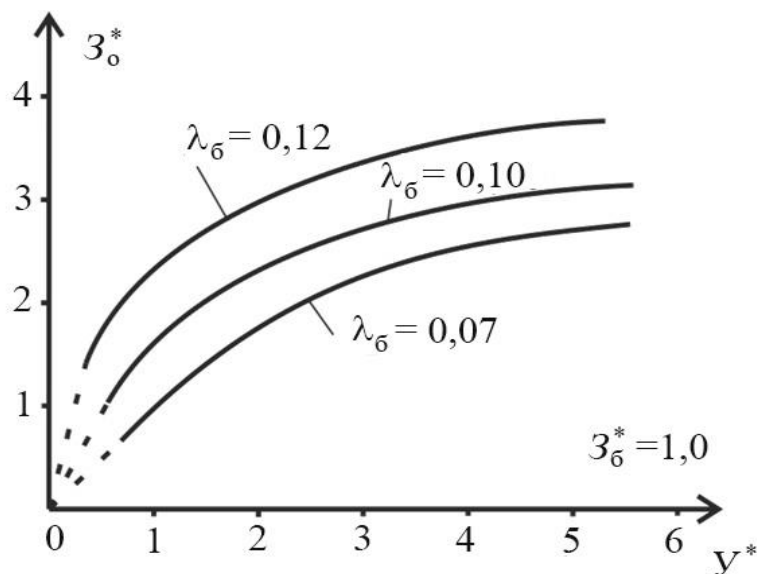


Рисунок 2.5 – Зависимость относительных эксплуатационных затрат Z_0^* от технологического ущерба Y^*

Таким образом, для оптимальной эксплуатации электрооборудования необходимо согласовывать эксплуатационные затраты с базовой интенсивностью его отказов и размером технологического ущерба, то есть с риском.

2.3.2 Корректирование периодичности технического обслуживания и ремонта электрооборудования

Периодичность профилактических мероприятий при риск-ориентированном обслуживании электрооборудования требует корректирования. При этом следует учитывать, что электрооборудование с высокой степенью риска логично обслуживать чаще, чем со средней или низкой.

Например, два одинаковых электродвигателя задействованы в различных технологических процессах. Годовые эксплуатационные затраты на обслуживание первого Z_1 и второго Z_2 электродвигателей, включая их стоимость и оснащенность ремонтно-обслуживающей базой, одинаковые. Ущерб предлагается учитывать с вероятностью отказа электрооборудования R . Получим выражение:

$$Z_1 = Z_{TO_1} + Z_{TP_1} + R_1, \quad (2.36)$$

$$Z_2 = Z_{TO_2} + Z_{TP_2} + R_2, \quad (2.37)$$

где Z_{TO_1} и Z_{TO_2} – годовые затраты на техническое обслуживание электродвигателей, руб.;

Z_{TP_1} и Z_{TP_2} – годовые затраты на их текущий ремонт, руб.;

R_1 и R_2 – риски отказа электродвигателей в сравниваемых вариантах, руб./год.

Допустим, что второй электродвигатель с низким риском отказа при эксплуатации обслуживается с нормативной периодичностью t_{TO_n} и t_{TP_n} , тогда риск $R_1 \gg R_2$.

Если представить годовые затраты на ТО и ТР в виде

$$Z_{\text{ТО}_1} = C_{\text{ТО}} n_1, \quad (2.38)$$

$$Z_{\text{ТО}_2} = C_{\text{ТО}} n_2, \quad (2.39)$$

$$Z_{\text{ТР}_1} = C_{\text{ТР}} \lambda_1, \quad (2.40)$$

$$Z_{\text{ТР}_2} = C_{\text{ТР}} \lambda_2, \quad (2.41)$$

где $C_{\text{ТО}}$ – стоимость одного ТО, руб.;

n, n_2 – количество работ, определенных по периодичности ТО первого и второго электродвигателей соответственно,

$$n_1 = \frac{12}{t_1}, \quad (2.42)$$

$$n_2 = \frac{12}{t_2}, \quad (2.43)$$

12 – число месяцев в году;

t_1 и t_2 – периодичность ТО первого и второго электродвигателей, мес., $t_2 = t_{\text{ТО}_H}$;

$C_{\text{ТР}}$ – среднегодовая стоимость одного ремонта, руб./год;

λ_1 и λ_2 – интенсивность отказов соответственно первого и второго электродвигателей, год⁻¹.

Интенсивность отказов второго электродвигателя

$$\lambda_2 = \lambda_6,$$

где λ_6 – базовая (конструкционная) интенсивность отказов при нормативной периодичности ТР, год⁻¹.

Условием для выбора оптимальной периодичности обслуживания первого электродвигателя будет

$$Z_1 < Z_2. \quad (2.44)$$

Подставив в условие (2.44) выражения (2.36) и (2.37) и преобразовав их с учетом выражений (2.38)–(2.41), определили стоимость одного ТО:

$$C_{\text{ТО}} \left(\frac{12}{t_{\text{ТОн}}} - \frac{12}{t_1} \right) < C_{\text{ТР}} (\lambda_1 - \lambda_6) + R_1 - R_2. \quad (2.45)$$

Выразим периодичность ТО через частоту обслуживаний, а также интенсивность отказов [36]:

$$v^{-x} = \frac{t_{\text{ТОф}}}{t_{\text{ТОн}}} \approx \frac{\lambda_{\text{ф}}}{\lambda_6} \approx \frac{n_{\text{ф}}}{n_{\text{пл}}}, \quad (2.46)$$

где x – степень наступления отказов, $x = 0,7-1,2$;

$t_{\text{ТОф}}$ и $t_{\text{ТОн}}$ – соответственно фактическая и нормативная периодичности ТО, мес.;

$\lambda_{\text{ф}}$ – фактическая интенсивность отказов, год⁻¹.

$n_{\text{ф}}$ и $n_{\text{пл}}$ – соответственно количество фактических и плановых обслуживаний, год⁻¹.

Таким образом, с учетом оценки частоты обслуживаний относительные эксплуатационные затраты Z^* примут вид:

$$Z^* = \frac{a + bv^2 + rv}{v}, \quad (2.47)$$

где a и b – коэффициенты изменения затрат на ТО и ТР;

v – частота технических обслуживаний, учитывающая уровень эксплуатации,

$$v = \frac{t_1}{t_{\text{ТОн}}}; \quad (2.48)$$

r – относительный риск отказов рассматриваемых электродвигателей,

$$r = \frac{R_1}{R_2}. \quad (2.49)$$

Зависимость (2.49) можно представить графически (рисунок 2.6).

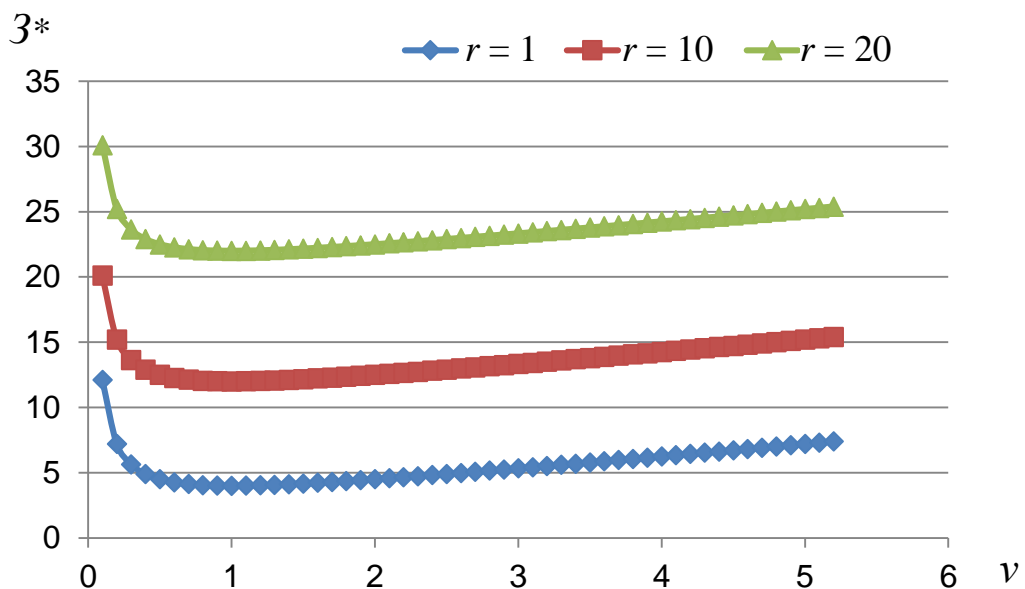


Рисунок 2.6 – Зависимость относительных затрат Z^* от частоты обслуживания v электродвигателя

Из рисунка 2.6 следует, что при увеличении относительного риска частота обслуживания возрастает. Зависимость риска от частоты обслуживания примет вид:

$$r = \left| \frac{3^* v - a - b v^2}{v} \right|. \quad (2.50)$$

Графически данная зависимость приведена на рисунке 2.7.

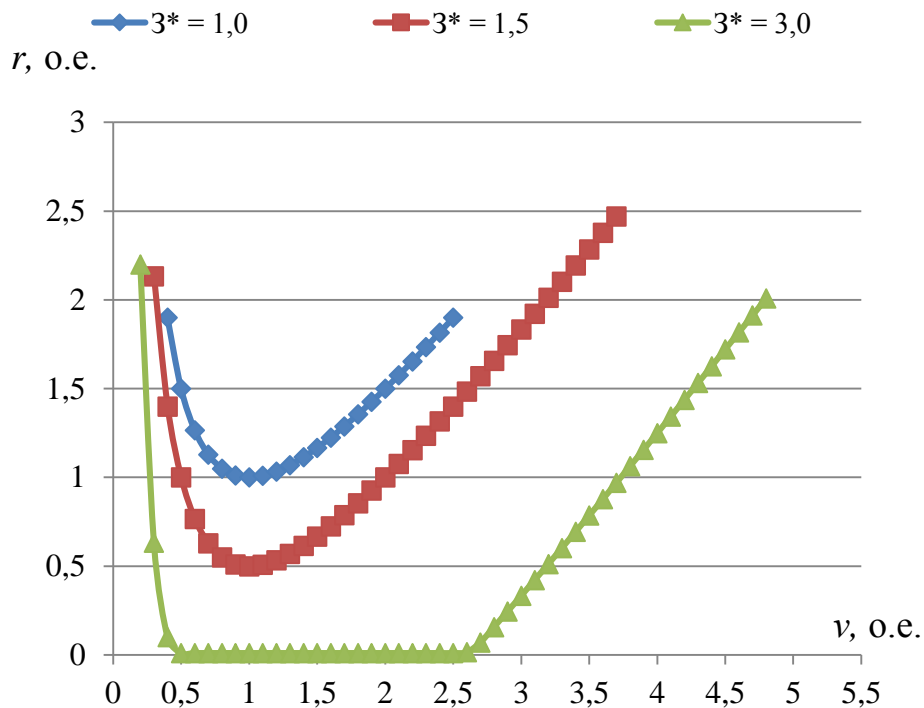


Рисунок 2.7 – Зависимость относительного риска r от частоты обслуживания v электродвигателя

В экстремуме параболы указан минимальный относительный риск. Если электрооборудование имеет высокую надёжность при относительных затратах $3^* = 1-1,5$, то ТО и ТР выполняют с нормативной периодичностью $v = 1$. В этом случае относительный риск r – минимальный. При увеличении относительных затрат 3^* в 3 раза и более наименьший риск ($r = 0$) составит от 0,5 до 2,5 о.е. Поэтому в выражении (2.50) относительный риск определяется по модулю. Однако он зависит от эксплуатационных затрат и пропорционален частоте обслуживания.

Итак, корректирование периодичности профилактических мероприятий необходимо производить с учетом относительных эксплуатационных затрат и риска отказа электрооборудования. Например, при повышении затрат на обслуживание электродвигателя с относительным риском $r = 2,0$ не более чем на 5 % нормативную периодичность корректируют в диапазоне $-36...+55\%$.

2.4 Реализация риск-ориентированной стратегии технического обслуживания и ремонта электрооборудования в информационной системе класса ЕАМ

Темпы интенсификации сельскохозяйственного производства усложняют и без того трудоемкую задачу управления ТО и Р. Ведение документации по эксплуатации электрооборудования (журналов ТО и Р, графиков ППР, технической документации, журналов по дефектам) в бумажной форме либо в виде электронных таблиц Excel теряет свою актуальность, так как не позволяет организовать единую многопользовательскую базу данных с оперативным доступом к ней [46]. На основе отчетов, подготовленных вручную, нет возможности получить сводную информацию о надежности работы электрооборудования, затратах на ТО и Р, а формирование плана-графика ТО и Р и его корректирование – задача, требующая высокого уровня профессионализма и опыта исполнителей [5].

Реализация риск-ориентированной стратегии в «бумажном» формате существенно снижает ее эффективность и значительно замедляет сроки внедрения на сельскохозяйственном предприятии.

Для использования риск-ориентированной стратегии требуется, во-первых, информационная среда – база данных (БД), позволяющая управлять ТО и Р, и во-вторых, программное обеспечение (ПО), дающее возможность пользователю работать с базой данных, проводить расчеты, управлять процессами ТО и Р.

В главе 1 рассмотрены АСУ, выполняющие данные задачи. Определена наиболее подходящая из них для применения риск-ориентированной стратегии ТО и Р электрооборудования в сельскохозяйственном производстве.

Сопоставление процессов риск-ориентированной стратегии ТО и Р с функциями программного комплекса TRIM (Targets Related Infrastructure Management – управление инфраструктурой, ориентированное на достижение стратегических целей) отечественной системы ЕАМ приведено в приложении 1. На основании сопоставления можно сделать вывод, что система ЕАМ позволяет автоматизировать все перечисленные в приложении 1 процессы и их взаимосвязи.

Для реализации риск-ориентированной стратегии сформирован алгоритм планирования работ по ТО и ТР в программном комплексе TRIM на базе типового сельскохозяйственного производства (приложение 2).

1. Выделение производственных участков [5].

Под производственным участком понимается отдельное здание (помещение), в котором проходит определенная стадия технологического процесса [5]. В программном комплексе TRIM данный процесс может быть реализован посредством функции управления структурой технологических мест. Древоподобная структура производственных участков сформирована в базе данных (рисунок 2.8).

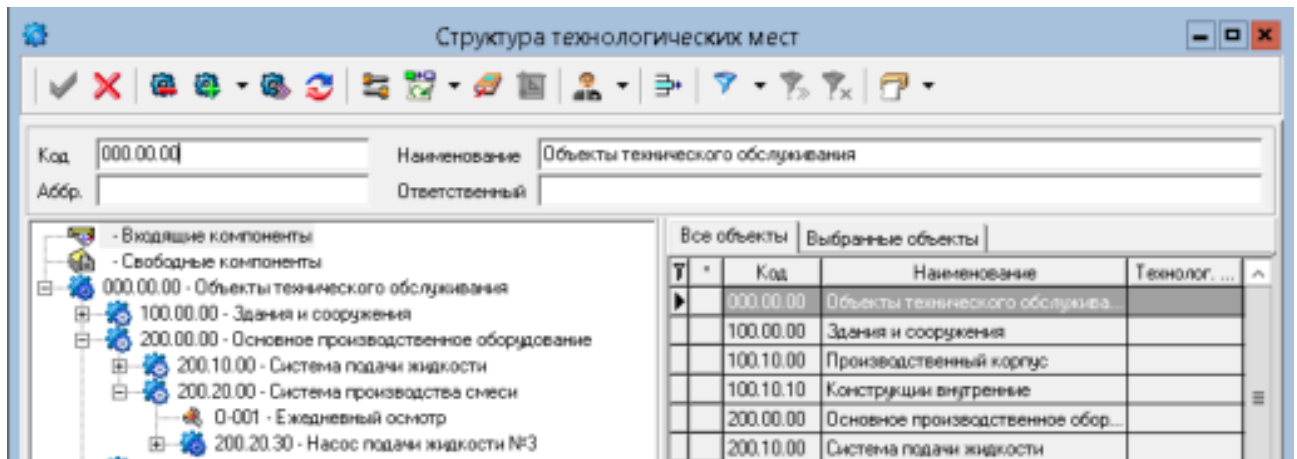


Рисунок 2.8 – Выделение производственных участков в производственном комплексе TRIM

В структуре производственного участка указано электрооборудование, обеспечивающее реализацию технологических процессов. Учтены технико-экономические показатели каждой единицы электрооборудования: тип; наименование; единица измерения; количество; переводной коэффициент в у.е.э.; количество у.е.э.; шифр окружающей среды; базовая и фактическая интенсивность отказов λ_b и λ_f ; трудоемкость технического обслуживания $T_{ТО}$; коэффициент готовности электрооборудования K_r ; трудоемкость ремонта $T_{тр}$; затраты на ТО и Р; периодичность технического обслуживания и ремонта (рисунок 2.9).

TRIM-M/SMS: Firm / 01 - [Свойства технологического места [100.000.000.000.000.000.000.000. - Кабельные линии до 10 кВ (три фазы)]]

Данные Редактирование Планирование МТС Журналы Справочники Подсистемы Настройки Окна Приложения ?

Технолог. места Компоненты Планграфик Журналы Журнал наработки Журнал параметров Отчеты

Технологическое место	Компонента	Наименование	Кабельные линии
Код	100.000.000.000.000.000.000.000.	Экспл. состояние	Не определено
Аббревиатура	КЛ	Подр.-владелец	-
Технологическая система	Энергоснабжение	Ответственный	-
Тип	-	Персонал	-
Изображение	-	Владелец	Склад ТОиР
Регистрация	-	Монтажная организация	-
Регистр. №	23456789		
Правила регистр.	-		
Приоритет	-		
Разрешение	Не требует разрешения		
		<input type="checkbox"/> ТМ/компонент	
		<input checked="" type="checkbox"/> Использование	
		<input type="checkbox"/> Центр затрат	
Местоположение	Биокомплекс		
Доп.данные 1			
Доп.данные 2			
Дата редактирования	06.10.2017 00:32	Редактировал	Администратор узла <Firm>
Структура	Присоединенные работы	Счетчики	Параметры Типовые МТР Параметры объекта Документы Значения характеристик Значения показателей Помещения
Группы параметров	Наименование	Значение	
(All Groups)	Базовая интенсивность отказов	0,95	
Параметры электрооборудова...	Всего у.в.э.	0	
	Затраты на ТО и Р	980	
	Количество	1,5 км	
	Коэффициент готовности	10	
	Переходной коэффициент	1	
	Периодичность Р		
	Периодичность ТО		
	Трудозатраты на Р	25,65	
	Трудозатраты на ТО	17,1	
	Фактическая интенсивность отказов	0,90	
Ширр окружающей среды			

Рисунок 2.9 – Техничко-экономические показатели электрооборудования на каждом производственном участке

Чтобы определить $\lambda_{\text{ф}}$, следует провести статистическое наблюдение за отказами электрооборудования. Если статистических данных не хватает, то используют только базовую интенсивность отказов $\lambda_{\text{б}}$.

2. Определение технологических параметров производственных участков.

Для организации профилактических мероприятий необходимо учитывать параметры электрооборудования, чтобы обеспечить его своевременное обслуживание. Как известно [87], техническое обслуживание проводят во время технологического процесса на производственном участке, поскольку в задачи его входит поддержание электрооборудования в работоспособном состоянии без срыва технологического процесса. А текущий ремонт выполняется в технологические простои. В этот период электрооборудование восстанавливают до исправного состояния. Данные сведения, а также информацию о зоне производства и степени риска заносят в программный комплекс TRIM (рисунок 2.10).

ID	4						
Наименование	Параметры производственного участка						
Параметры							
У	*	Наименование	Тип	Мин. значение	Макс. значение	Из таблицы	Из запроса
▶		Занятость в году	Дата/Время	0		0	
		Зона производст...	Строка с выб...	0		0	
		Технологически...	Дата/Время	0		0	
		Уровень риска	Строка	0		0	

Рисунок 2.10 – Учет параметров производственных участков в TRIM

3. Оценка риска.

Оценка риска – это процесс, охватывающий его идентификацию, анализ и сравнительную оценку [17, 18]. Сочетание тяжести последствий от его отказа (ущерба) и вероятности возникновения (интенсивность отказа) характеризует уровень риска.

Уровень риска отказа электрооборудования в работе предлагается рассчитывать по следующей формуле:

$$R = U\lambda, \quad (2.51)$$

Определив уровень риска, проводят его сравнение с критериями риска. Результат сравнительной оценки – ранжирование электрооборудования по степени критичности для производственных процессов. Распределение электрооборудования по степени критичности предлагается производить следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} R^B \rightarrow R_{\max} \rightarrow N_{R^B} &= N(f(0,5\dots 1,0R_{\max})); \\ R^C \rightarrow N_{R^C} &= N - N_{R^B} - N_{R^H}; \\ R^H \rightarrow R_{\min} \rightarrow N_{R^H} &= N(f(1,0\dots 2,0R_{\min})), \end{aligned} \right\} \quad (2.52)$$

где R^B , R^C , R^H – высокая, средняя и низкая степень критичности риска, руб./год;

R_{\max}, R_{\min} – максимальный и минимальный риски, руб./год;

$N_{R^B}, N_{R^C}, N_{R^H}$ – количество электрооборудования с высокой, средней и низкой степенью критичности риска, у.е.э.

Таким образом, на каждом производственном участке сформирована индивидуальная шкала риска отказа электрооборудования при эксплуатации. Обслуживание на участках следует начинать с электрооборудования, имеющего высокую степень критичности риска. Полученную информацию об уровне риска и степени его критичности вносят в TRIM.

Электрооборудование на производственном участке сортируют по уровню риска и степени критичности его отказа в технологическом процессе.

4. Корректирование периодичности технического обслуживания и ремонта электрооборудования с высокой степенью риска его отказа.

Корректирование периодичности обслуживания производят для электрооборудования с высокой степенью риска, так как его отказ со значительной долей вероятности может привести к большому ущербу.

Для корректирования периодичности рассчитывают относительный риск:

$$r = \frac{R_{\max}}{R_{\min}}, \quad (2.53)$$

где R_{\max} – максимальный фактический риск отказа конкретного электрооборудования при эксплуатации, руб./год;

R_{\min} – минимальный базовый риск, при котором отказ электрооборудования незначительно влияет на технологический ущерб, руб./год.

Корректирование нормативной периодичности технического обслуживания и текущего ремонта электрооборудования с высокой степенью риска отказа приведено в таблицах 2.6 и 2.7.

Таблица 2.6 – Корректирование нормативной периодичности технического обслуживания

Относительный риск r	Диапазон корректирования, % $t_{\min} < t_{\text{ТО}_H} < t_{\max}$
0...3,0	-35% < $t_{\text{ТО}_H}$ < +51%
3,0...20,0	-55% < $t_{\text{ТО}_H}$ < +94%
Выше 20,0	-71% < $t_{\text{ТО}_H}$ < +180%

Таблица 2.7 – Корректирование нормативной периодичности текущего ремонта

Относительный риск r	Диапазон корректирования, % $t_{\min} < t_{\text{ТР}_H} < t_{\max}$
0...3,0	-25% < $t_{\text{ТР}_H}$ < +39%
3,0...20,0	-42% < $t_{\text{ТР}_H}$ < +84%
Выше 20,0	-67% < $t_{\text{ТР}_H}$ < +128%

В зависимости от степени критичности электрооборудования принимается решение по воздействию на риск. Для этого руководствуются отраслевыми рекомендациями или требованиями стандартов. Так, в соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010–2011, для электрооборудования, ранжированного по высшей категории, согласно которой риск его отказа недопустим, на риск воздействуют независимо от эксплуатационных затрат, по средней категории – учитывают затраты и эффект от воздействия на риск, по низкой категории – удерживают риск на данном уровне.

Полученную периодичность вводят в программный комплекс TRIM с указанием подразделения исполнителя и ответственного за выполнение работ (рисунок 2.11).

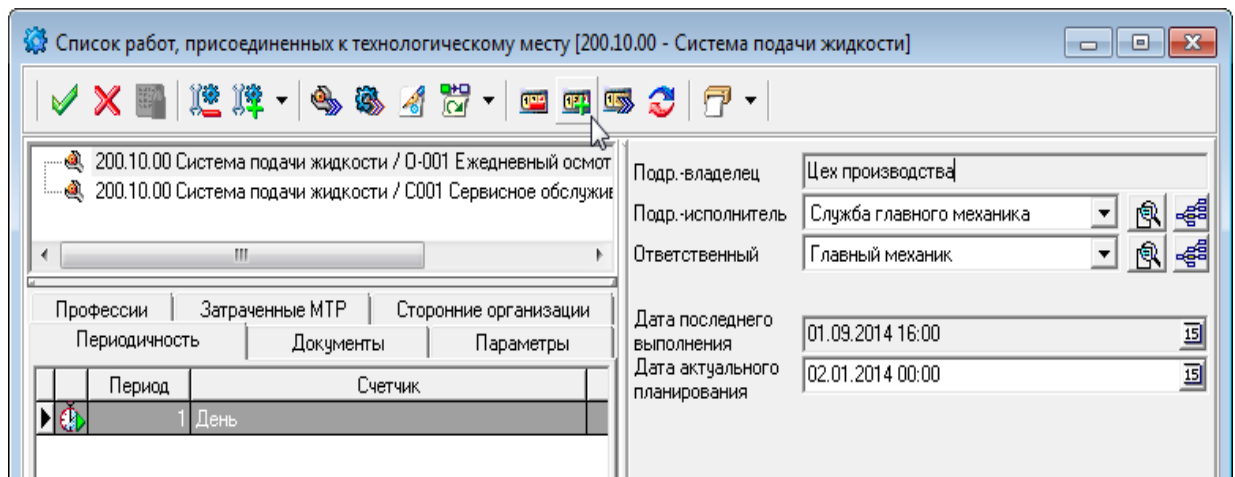


Рисунок 2.11 – Введение полученной периодичности обслуживания электрооборудования в программный комплекс TRIM

5. Условия построения графика плановых работ.

В нормативных документах [36] приведены правила проведения технической эксплуатации, где роль графика остается главной. При использовании риск-ориентированной стратегии в плановые работы включают такие, которые выполняются для обслуживания электрооборудования с высоким риском. Остальное обслуживают в оперативном порядке или в соответствии с послеотказовой стратегией.

А. Ранжирование производственных участков по уровню риска отказа и зонам производства (таблица 2.8)

Таблица 2.8 – Ранжирование производственных участков по уровню риска и зонам производства

Наименование ПУ	Зона производства	Уровень риска	План-график
1	2	3	4

Б. Распределение ресурсов в соответствии с ранжированием производственных участков по коэффициенту, рассчитанному в выражении (2.23), и затратам на техническую эксплуатацию i -го производственного участка выполняют по формуле:

$$T_{\text{пу}_i} = K_{\text{пу}_i} Z_c, \quad (2.54)$$

где $K_{\text{пу}_i}$ – коэффициент распределения ресурсов на i -м производственном участке,

$$K_{\text{пу}_i} = \sqrt{\frac{R_{\text{пу}_i}}{R_\Sigma}}; \quad (2.55)$$

$R_{\text{пу}_i}$ – уровень риска i -го ПУ, руб./год;

R_Σ – суммарный уровень риска всего производства, руб./год;

Z_c – суммарные (выделенные) эксплуатационные затраты, руб.

В. Количество плановых работ по техническому обслуживанию и текущему ремонту для составления годового графика рассчитывают в соответствии с количеством разовых обслуживаний. Годовое число работ по ТО и ТР электрооборудования с высоким риском определяют по уравнению:

$$\left. \begin{aligned} N_{\text{ТО}} &= \frac{ГЗ}{t_{\text{ТО}_k}}; \\ N_{\text{ТР}} &= \frac{12}{t_{\text{ТР}_k}}, \end{aligned} \right\} \quad (2.56)$$

где $ГЗ$ – годовая занятость электрооборудования на производственном участке, мес.;

12 – количество месяцев в году (текущий ремонт выполняют в период технологического простоя ПУ);

$t_{\text{ТО}_k}$, $t_{\text{ТР}_k}$ – скорректированные периодичности ТО и ТР, мес.

Г. Годовую трудоемкость технического обслуживания электрооборудования с высоким риском отказа определяют из произведения разовой трудоемкости $T_{\text{ТО}_p}$ на количество обслуживаний $N_{\text{ТО}}$, текущего ремонта – аналогично:

$$\left. \begin{aligned} T_{\text{ТО}} &= T_{\text{ТО}_p} N_{\text{ТО}}; \\ T_{\text{ТР}} &= T_{\text{ТР}_p} N_{\text{ТР}}. \end{aligned} \right\} \quad (2.57)$$

Суммарная трудоемкость плановых работ на каждом производственном участке необходима для определения численности ремонтного персонала электротехнической службы.

Д. Расчет численности персонала электротехнической службы.

Известный принцип построения графика – равномерная загрузка электромонтеров в течение года (рисунок 2.12) [37]. Поскольку электрооборудование со средним и низким риском обслуживается в оперативном порядке или по необходимости, то общее количество монтеров N определяют по формуле:

$$N = \frac{\Sigma T_{\text{пл}} + \Sigma T_{\text{о.о.}}}{\Phi}, \quad (2.58)$$

где $\Sigma T_{\text{пл}}$, $\Sigma T_{\text{о.о.}}$ – суммарные трудоемкости плановых работ по ТО и ТР

электрооборудования с высоким риском и разовых оперативных обслуживаний электрооборудования со средним и низким риском, чел.·ч;

Φ – годовой фонд рабочего времени, ч [35].

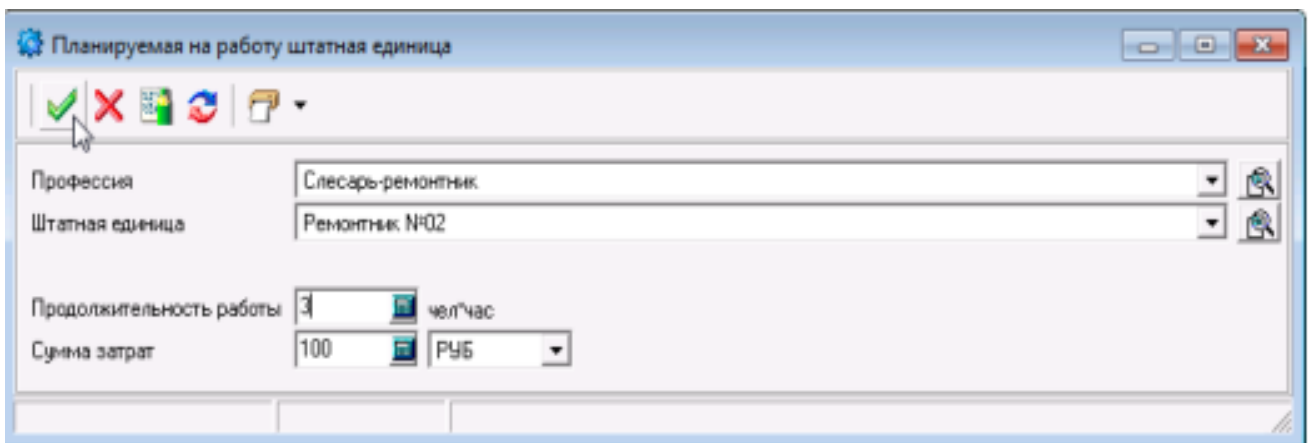


Рисунок 2.12–Определение численности персонала вTRIM

Планирование работ по ТО и ТР на основе риск-ориентированной стратегии можно представить в виде алгоритма [30], приведенного на рисунке 2.13.

Указанный алгоритм позволяет пошагово внедрять риск-ориентированную стратегию по ТО и Р на любом сельскохозяйственном предприятии, а также может быть использован компаниями-интеграторами информационных систем.

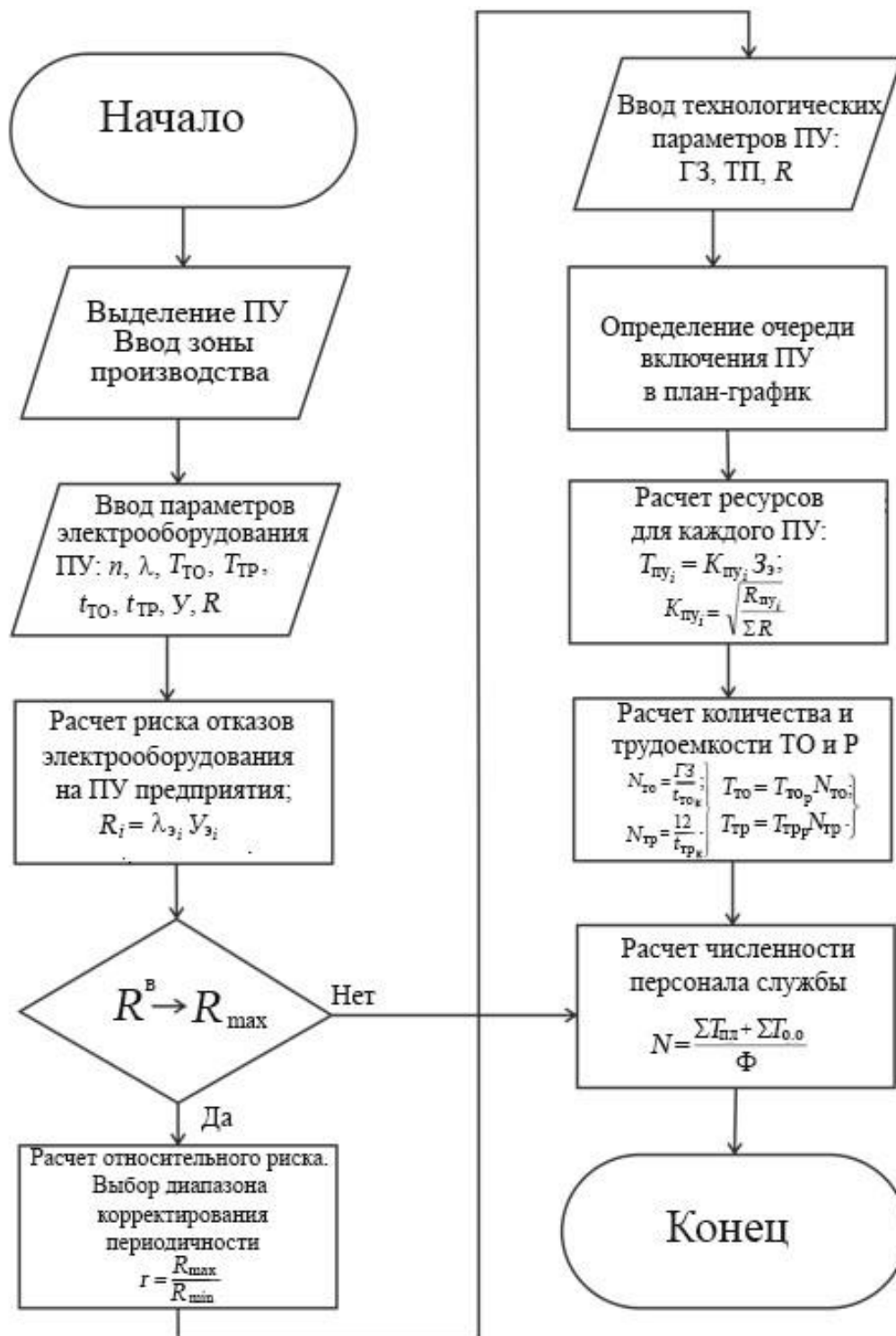


Рисунок 2.13 –Алгоритм формирования плана-графика работ по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования на основе риск-ориентированной стратегии

Выводы

1. Исследованиями обоснованы понятие риска отказа электрооборудования и методика его оценки в зависимости от условий его эксплуатации и особенностей сельскохозяйственного производства. При расчете риска учтены размер экономического ущерба U и величина эксплуатационной интенсивности отказов. Для повышения точности оценки экономического ущерба скорректированы значения фактической и допустимой продолжительности простоя технологического процесса, удельного недовыпуска продукции в соответствии с рыночными и закупочными ценами. Для расчета эксплуатационной интенсивности отказов введен количественный коэффициент e , характеризующий положительный эффект от снижения доли отказов за счет применяемой стратегии технического обслуживания и ремонта. Определены условия ранжирования электрооборудования в соответствии со степенью его критичности для производственного участка.

2. Установлено, что при отсутствии сведений о надежности объектов, ресурсы на эксплуатацию необходимо соотносить с размером ущерба от их отказа. Снижение доли ресурсов на обслуживание объекта, отказ которого приводит к наибольшему ущербу, приводит к росту суммарного риска. Наименьший суммарный риск будет достигнут при равномерном распределении ресурсов на эксплуатацию объектов пропорционально квадратному корню из отношения их ущербов.

3. Определена зависимость оптимального значения относительных эксплуатационных затрат от размера ущерба и базовой интенсивности отказов. Таким образом для организации оптимальной эксплуатации электрооборудования необходимо согласовывать эксплуатационные затраты с риском отказа объектов.

4. Проведено ранжирование электрооборудования на сельскохозяйственном производстве в соответствии со степенью его критичности. Установлена взаимосвязь между изменением относительного риска и частотой обслуживаний. Это позволило определить диапазоны корректирования периодичности работ по ТО и

ТР электрооборудования, ранжированного по высокой степени критичности для электрифицированных процессов. Периодичность работ по ТО и ТР электрооборудования уменьшена при $r = 0-3,0$ на 35 и 25 %, при $r = 3,0-20,0$ – на 55 и 42 %, при $r > 0$ – на 71 и 67 %.

5. Разработана программа планирования работ по техническому обслуживанию и ремонту в информационной системе класса ЕАМ на основе риск-ориентированной стратегии. Программа включает в себя алгоритм формирования плана-графика работ по ТО и Р, который позволяет внедрять риск-ориентированную стратегию на любом сельскохозяйственном предприятии.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Программа экспериментальных исследований

Совершенствование организации ремонтно-обслуживающих работ за счет внедрения риск-ориентированной стратегии ТО и Р на сельскохозяйственном предприятии снизило количество отказов электрооборудования и повысило надежность и экономичность электрифицированных технологических процессов.

Для экспериментальной проверки эффективности предлагаемой стратегии обслуживания электрооборудования составлена программа исследований, в которой определены объект, цели и задачи.

На основе указанной программы был составлен план экспериментальных исследований.

Объектом являются электрифицированные процессы сельскохозяйственного предприятия.

Цель экспериментальных исследований – в определение показателей эффективности электрифицированных технологических процессов за счет предлагаемой риск-ориентированной стратегии ТО и Р электрооборудования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить технико-экономические показатели, характеризующие эффективность электрифицированных производственных процессов в тепличном комплексе.

2. Внедрить информационную систему на предприятии, провести анализ исследуемого производства, электрифицированных процессов и дать оценку их эффективности.

3. Внедрить риск-ориентированную стратегию ТО и Р электрооборудования на сельскохозяйственном предприятии на базе программного комплекса TRIM

4. Провести сравнительный анализ технико-экономических показателей базовой системы ТО и Р и риск-ориентированной стратегии.

3.2 Показатели эффективности электрифицированных процессов на предприятии

Электрифицированный процесс – это совокупность электрооборудования и технологического процесса для получения продукции. Создание любой продукции связано с потреблением трудовых, материальных и энергетических ресурсов. Для обобщенного представления представим электрифицированный процесс в виде упрощенной структурной схемы, приведенной на рисунке 3.1 [41].

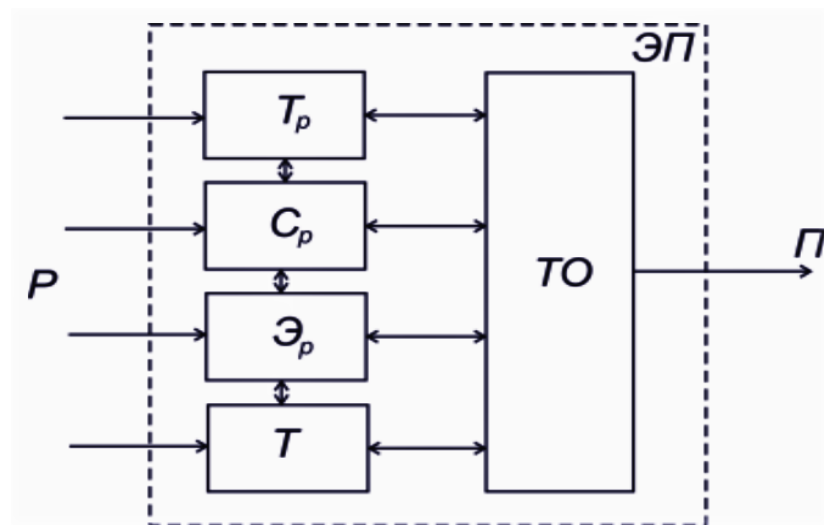


Рисунок 3.1 – Упрощенная схема
электрифицированного технологического процесса

Система электрифицированного процесса включает в себя следующие подсистемы:

ТО – технологический объект, осуществляющий преобразование исходных ресурсов (Р) в конечную продукцию (П);

T_p – трудовые ресурсы, управляющие электрифицированным процессом;

C_p – сырьевые ресурсы, обеспечивающие производство продукции П;

\mathcal{E}_p – энергетические ресурсы, обеспечивающие функционирование технологического объекта ТО за счет применения электрооборудования;

Т – технические ресурсы, которые представляют собой вспомогательные предметы труда, участвующие в производстве продукции.

В исследованиях [8, 35, 80] рассмотрены основные проблемы электрифицированных процессов сельскохозяйственных предприятий: надежность, «живучесть», производительность и др. В контексте применения риск-ориентированной стратегии ставится задача экспериментально обосновать ее влияние на эффективность электрифицированных процессов.

К электрифицированному процессу применима методология процессного подхода. В соответствии с государственным стандартом ISO 9001, «процесс – это совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих видов деятельности, которые преобразуют входы в выходы». Упрощенная схема типового процесса приведена на рисунке 3.2.

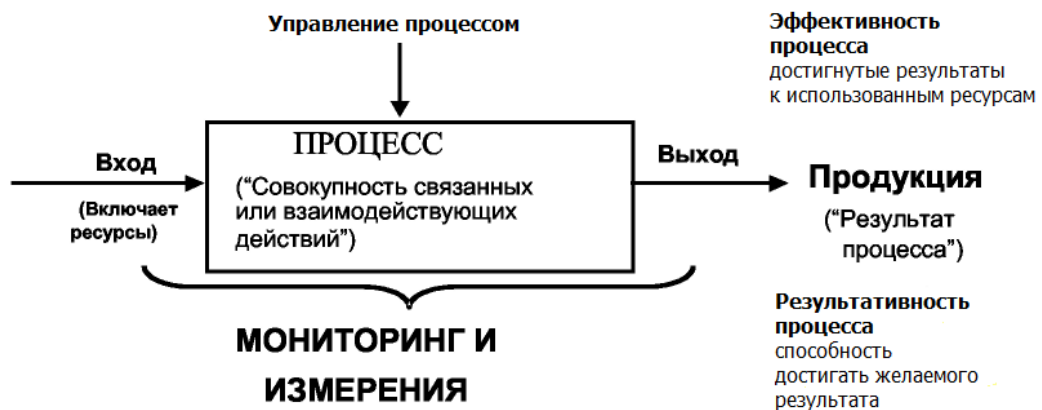


Рисунок 3.2 – Упрощенная схема типового процесса

Эффективность процесса – это связь между достигнутым результатом и использованными ресурсами. Таким образом, подсистемы электрифицированного технологического процесса оказывают на него совокупное влияние и характеризуют его эффективность.

Подсистема трудовых ресурсов T_p характеризует безопасность труда и его эргономичность. Безопасность – это состояние условий труда, при котором исключено воздействие на работников опасных техногенных факторов. Эргономичность – удобство условий труда (оптимизация процессов).

Подсистема сырьевых ресурсов C_p определяет экологичность и экономичность. Экологичность – это свойство процесса оказывать воздействие на окружающую среду.

щую среду, не подвергая ее риску. Экономичность – это условия процесса, предполагающее, что затраты на ресурсы не должны превышать получаемый эффект.

Подсистемы энергетических \mathcal{E}_p и технических T_p ресурсов описывают надежность используемого электрооборудования и энергоэффективность процесса. Надежность – свойство процесса выполнять заданные функции с требуемым качеством [28, 104]. Энергоэффективность – свойство процесса рационально использовать энергетические ресурсы.

Рассмотренные показатели эффективности приведены на рисунке 3.3.

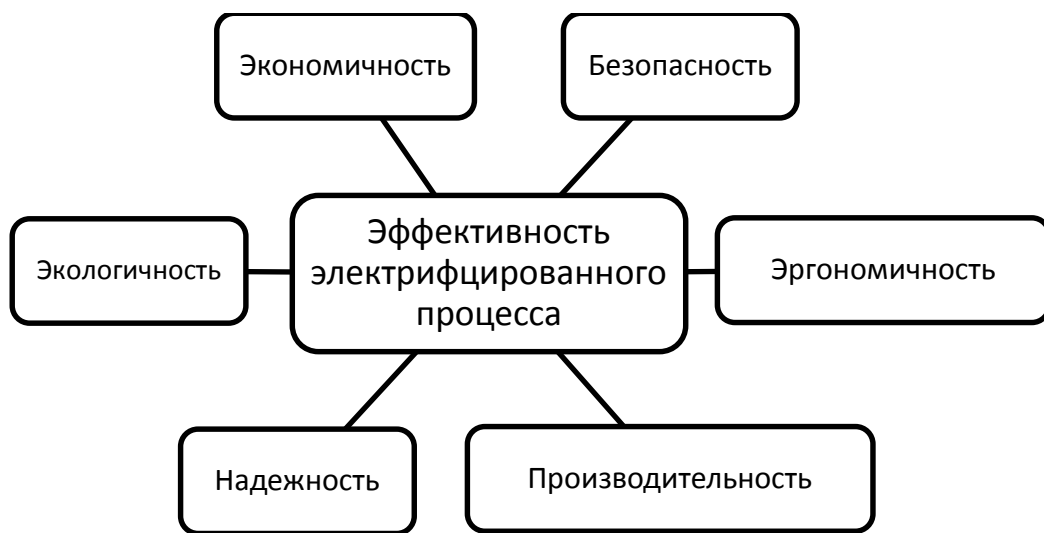


Рисунок 3.3 – Показатели эффективности электрифицированного процесса

Так как применение риск-ориентированной стратегии в данном исследовании рассматривается с точки зрения технической эксплуатации, то рассмотрены показатели эффективности, характеризующие результат использования сырьевых C_p и энергетических ресурсов \mathcal{E}_p , а именно надежность и экономичность.

Важнейшее условие эффективного функционирования любого электрифицированного процесса – безотказность работы электрооборудования, которая определяется надлежащей организацией технической эксплуатации, а именно работой электротехнической службы предприятия. Главная цель ЭТС состоит в обеспечении роста производства сельскохозяйственной продукции и повышении экономической эффективности хозяйства [94]. Таким образом, работа ЭТС

позволяет сохранить эффективность электрифицированного процесса, а именно его надежность и экономичность.

Технико-экономические показатели, используемые для оценки работы ЭТС приведены в таблице 3.1 [40].

Таблица 3.1 – Технико-экономические показатели работы ЭТС на предприятии

Показатель	Условные обозначения и расчетные формулы
Входные показатели, характеризующие ресурсы и условия работы	
Количество работающих, чел.	N
Основные фонды ЭТС, руб.	Φ_0
Мощность обслуживаемого электрооборудования, кВт	P
Стоимость выделенных ресурсов, руб.	–
Выходные показатели, характеризующие результаты работы	
Количество обслуживаемого электрооборудования, у.е.э.	Q
Интенсивность отказов, о.е.	$\lambda = \frac{\Delta n}{n}$
Суммарная продолжительность простоев техники по вине ЭТС, ч	τ_n
Количество потребляемой в хозяйстве электроэнергии, кВт·ч	W
Эффект (ущерб), руб.	Y
Показатели эффективности работы	
Коэффициент технического состояния электрооборудования	k_T
Производительность работников ЭТС, у.е.э./чел.	$Q_N = \frac{Q}{N}$
Количество часов использования установленной мощности электрооборудования, ч	$T_H = \frac{W}{P}$
Себестоимость наработки электрооборудования, руб./кВт·ч	$S = \frac{P}{W}$
Обобщенный показатель эффективности	–

Следовательно, для анализа эффективности электрифицированного процесса, использованы два показателя. Интенсивность отказов λ объектов, потеря работоспособности которых влечет большой ущерб, позволяет оценить техническое состояние электрооборудования и уровень достигнутой надежности. Ущерб U – характеризует достигнутый эффект технической эксплуатации, выраженный в измеряемых экономических показателях (руб.).

Для электрифицированных процессов наибольшую опасность представляет не отказ электрооборудования, а продолжительность восстановления его работоспособности. В связи с этим особую значимость приобретает величина допустимой продолжительности простоев t_d . Чем она меньше, тем больше вероятность того, что ЭТС не успеет среагировать на отказ электрооборудования и это приведет к недовыпуску продукции и технологическому ущербу U_T . Таким образом исследованы электрифицированные процессы, величина допустимой продолжительности t_d которых имеет наименьшее значение. В соответствии с расчетами [95] данное значение составит ≈ 8 ч, $t_d \leq 8$ ч.

Комплексным критерием, объединяющим указанные показатели эффективности электрифицированных процессов, является риск R , который характеризует результат в виде годового ущерба предприятия при достигнутом уровне надежности.

3.3 Объект экспериментальных исследований

Объектом экспериментального исследования является электрооборудование электрифицированных процессов тепличного комплекса АО «Совхоз-Весна» (рисунок 3.1). Производство находится по адресу: пос. Дубки Саратовского района Саратовской области. Общая площадь предприятия составляет 86,08 га, зимних остекленных теплиц – 24 га. Основное направление производственной деятельности – выращивание овощей в защищенном грунте.



Рисунок 3.4 – Спутниковый снимок сельскохозяйственного предприятия
АО «Совхоз-Весна»

В теплицах выращивают: огурцы, томаты, листовой салат, лук, а также цветы разных сортов на площади 0,8 га. Производство является круглогодичным, на территории предприятия имеются 4 блока теплиц, каждый – площадью 6 га.

Средний урожай огурцов составляет 6200 т, томатов – 3530 т, листового салата – 650 тыс. шт., зеленого лука – 32 т (таблица 3.2).

АО «Совхоз-Весна» является крупнейшим тепличным производством Саратовской области. Предприятие организовано 1 марта 1982 г. на базе совхоза-комбината «Весна», который в свою очередь был создан по инициативе Министерства плодово-овощного хозяйства РСФСР. За последние 30 лет в нем произошли огромные изменения. В новых современных теплицах собраны все элементы передовых технологий: капельный полив, автоматическое регулирование микроклимата, дополнительное освещение, системы зашторивания, подкормка растений углекислым газом. Данные технологии связаны с работой электрооборудования, которое обеспечивает реализацию всех технологических процессов в тепличном производстве.

Таблица 3.2 – Основные показатели предприятия

Наименование показателя	Результаты, полученные в 2015 г.
Число среднегодовых работников, чел.	705
Площадь, га земельных угодий	86,08
теплиц	24
Основные оборотные средства, тыс. руб.	430770
Производительность предприятия, т/год	11426
Себестоимость производства, тыс. руб.	42440
Выручка от реализации сельскохозяйственной продукции, тыс. руб.	570422
Чистая прибыль предприятия, тыс. руб.	150160

Доля энергетических мощностей на предприятии распределена следующим образом: котлы – 76,4 %, механические мощности – 10,7 %, мощности электродвигателей – 5,9 %, трансформаторов – 5,2 % и электроустановок – 1,8 %. По степени обеспечения надежности электроснабжения к потребителям 2-й категории в тепличном комплексе относятся: индивидуальные котельные, насосные группы тепловых пунктов тепличных блоков, насосные системы водоснабжения и канализации, центральные тепловые пункты, насосные группы для подачи питательного раствора в гидропонные теплицы. Остальные электропотребители относятся к 3-й категории. Поэтому предприятие питается от двух независимых источников. Перерывом в электроснабжении в этом случае является время включения резервного питания [37]. Распределительный пункт РП–10 «Весна» имеет 4 фидерных ввода 10кВ, 2 из которых рабочие и 2 – аварийные. Рабочие и аварийные вводы связаны между собой системой АВР. Питание осуществляется воздушными линиями 10кВ от подстанций «Зоринский» и «ПТФ». Вводы в РП выполнены кабельными вставками АСБУ 3х240.

На территории находится 8 закрытых трансформаторных подстанций и одна комплектная. Питание подстанций осуществляется по воздушным линиям 10кВ. Сети 0,38 кВ выполнены кабельными линиями.

Каждый блок теплиц обогревается 3 котлами марки VITOMAX 200 WS мощностью 11,63 МВт. Снабжение технической водой, которую используют на полив и технические нужды, производится по водопроводу диаметром 219 мм и длиной 3 км от насосной станции пос. Расково. Питьевую воду подает водоочистная мини-установка «Экотехника 300–У», расположенная на территории предприятия. Газоснабжение осуществляется по газопроводу диаметром 200 мм и длиной 1 км. На территории предприятия находятся ГРП и ГРУ.

Обслуживание электрооборудования осуществляется электротехнической службой (ЭТС) предприятия. Управляет ЭТС главный энергетик, в подчинении которого находятся: главный электрик, инженер по контрольно-измерительным приборам (КИП), инженер оперативного персонала, инженер обслуживающего персонала. Руководители технических служб персонально отвечают за организацию и проведение ТО и Р электрооборудования.

В хозяйстве размещена мастерская по ремонту электрооборудования, в которой имеются электрический и слесарный цеха. Для реализации ТО и Р электротехническая служба оснащена полным набором материально-технических средств. Это – измерительные приборы, обмоточное оборудование, средства диагностики, слесарное оборудование и др.

Основным документом, которым руководствуются при техническом обслуживании и ремонте электрооборудования, является годовой план-график работ. На его основе определяется потребность в ремонтном персонале, материалах, запасных частях, покупных комплектующих изделиях. Основой для составления годового плана-графика служат приведенные в справочнике нормативы периодичности ремонта электрооборудования [83].

Ремонтный цикл включает в себя мероприятия по техническому и оперативному обслуживанию и текущему ремонту. Текущий ремонт производят в период простоя электрооборудования (при подготовке теплиц к высадке рассады), техническое

обслуживание – по индивидуально разработанной стратегии, техническое обслуживание и ремонт трансформаторной подстанции – по планово-предупредительной стратегии с четко регламентированными сроками.

3.4 Анализ электрифицированных процессов АО «Совхоз-Весна»

3.4.1 Определение основных электрифицированных процессов производства продукции

Предприятие АО «Совхоз-Весна» по номенклатуре (РД-АПК 1.10.09.01-14) относится к рассадно-овощным тепличным комбинатам, предназначенным для выращивания рассады, высадки ее в открытый грунт с последующим производством овощей, а по типу – к комбинатам круглогодичного выращивания. Указанные особенности влияют на состав зданий и сооружений тепличного комбината, а значит и на уровень электрификации технологических процессов. Перечень электрифицированных объектов предприятия с указанием количества электрооборудования приведен в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Электрифицированные объекты АО «Совхоз-Весна»

Наименование объекта	Количество объектов, шт.	Количество электрооборудования, шт.
1	2	3
Биокомплекс	1	195
Сотохранилище	1	10
Зимовник на 500 пчелосемей	1	4
Биолаборатория	1	100
Отделения зимних теплиц	4	3100
Склад удобрений	1	18
Центральный склад	1	47
Отдел реализации	1	40
Весовая	1	7
АЗС + АГЗС	1	70

Продолжение таблицы 3.3

1	2	3
Оптовый склад	1	17
Строительный цех + мойка тары	1	35
Столовая	1	130
Электроцех	1	84
Слесарный цех	1	23
Насосная станция промышленной воды	1	85
Медпрофилакторий	1	45
Мини-котельные	2	48
Административное здание	1	113
Тепловая насосная станция	1	470
РП-10 кВ «Весна»	1	88
Блок вспомогательных служб	1	38
Котельная	4	834

На предприятии все объекты подразделяются на основные (теплицы и котельные), благодаря которым реализуется процесс выращивания овощей и цветов, и вспомогательные, обеспечивающие работу технологического оборудования. Основные объекты тепличного комбината отнесены ко 2-й категории электропитания. Это означает, что при внезапном отключении электроэнергии может возникнуть массовый брак или недовыпуск продукции [74], и как следствие – экономический ущерб $У$. По имеющимся данным, ущерб при нарушении технологических процессов на таких объектах может составлять до 80 % от общей выручки предприятия [12].

Таким образом, внедрять риск-ориентированную стратегию необходимо на основных производственных объектах, отнесенных ко 2-й категории надежности электропитания, так как они несут наибольший риск R для предприятия. В АО «Совхоз-Весна» – это блоки теплиц, на которых установлено около 65 % исполь-

зуемого электрооборудования, отвечающего за реализацию основных технологических процессов обеспечения жизнедеятельности растений (приложение 3).

Процесс электродосвечивания в АО «Совхоз-Весна» поддерживает требуемый растениям уровень освещенности. Включение ламп и равномерное освещение обеспечивают светильники с натриевыми REFLAX 600 и люминесцентными лампами. Автоматизация технологического процесса осуществляется щитами управления досвечиванием ЩУД.

Сложный электрифицированный процесс создания микроклимата включает в себя подпроцессы: обогрева и отопления, рециркуляции и вентиляции воздуха, зашторивания теплиц.

Для обогрева помещений используется теплоноситель (вода), который нагревается в котельных (котлы VITOMAX 200 WS) и с помощью циркуляционных насосов (CLB 200-200, CL 125A-250, CL 80-160) прокачивается по системе трубопроводов через трубные радиаторы. Для создания однородного температурного поля циркуляционные насосы установлены в каждом контуре обогрева теплицы.

Рециркуляция воздуха осуществляется вентиляторами и позволяет равномерно распределить температурные поля в теплице, снизить перегрев растений и ликвидировать зоны с повышенной влажностью.

Вентиляцию обеспечивают электроприводы форточных механизмов за счет подъема и опускания форточек. Угол подъема форточек регулируется в зависимости от температуры воздуха, скорости ветра и осадков.

Мотор-редукторы системы зашторивания соединены с тросовой системой подвески ткани шторного экрана, который открывается и закрывается по необходимости.

Управление электрифицированным процессом создания микроклимата осуществляется микропроцессорным контроллером (ФИТО), который соединен с подсистемой измерительных датчиков: температуры (ТК-6), относительной влажности (ВДК), температуры теплоносителя, скорости и направления ветра, солнечной радиации, концентрации углекислого газа. Процесс управления автоматизирован, характеристики, получаемые с измерительных датчиков, выводятся на

пульт оператора и персональный компьютер. Блок контроллера соединен с исполнительными устройствами: фрамугами, вентиляторами, приводами экрана, приводами регулятора подачи углекислого газа и узлы контура обогрева.

Подкормка растений осуществляется как воздушным путем (подача CO_2), так и капельным (система капельного полива). Вентиляторы подачи газа нагнетают углекислый газ в распределительную магистраль, по трубопроводам которой через регулировочный газовый клапан с сервоприводом (серии VR400) он подается в теплицу под каждый ряд растений по перфорированным полиэтиленовым рукавам. Давление в системе трубопроводов углекислого газа измеряется датчиком давления, от величины выходного сигнала которого изменяется частота вращения вентилятора. При достижении требуемого установочного значения концентрации углекислого газа в теплице происходит закрытие клапана на входе в теплицу.

Капельное орошение – сложный технологический процесс, включающий в себя комплекс инженерных систем и сетей, осуществляющих в автоматическом режиме подкормку растений минеральными веществами. Вода насосами подается в емкости и проходит в них подготовку (фильтрация, подкисление, подогрев), откуда перекачивается в растворный узел. В эжекционных смесителях вода смешивается с маточными растворами и кислотой. Питательный раствор из растворного узла поступает в магистральный трубопровод и далее через регулировочные вентили и электромагнитные клапаны, управляемые компьютером, в раздаточный трубопровод, проложенный по краям теплицы. Магистральный трубопровод соединен с полиэтиленовыми грядковыми рукавами. На них смонтированы материнские капельницы с полиэтиленовыми микротрубами, которые соединены с кольшком для установки у корня растения.

На основании полученных сведений сделан вывод, что основными электрифицированными процессами обеспечения жизнедеятельности растений являются: электродосвечивание, подкормка и создания микроклимата. Беспере-

бойность данных процессов зависит от большого количества электрооборудования (65 %).

3.4.2 Оценка эффективности электрифицированных процессов

При экспериментальных исследованиях определены показатели эффективности электрооборудования.

Оценку надежности электрооборудования проводили экспериментальным методом в соответствии с Условиями проведения испытаний на безотказность и статистическими методами оценки их результатов [21]. Испытаниями устанавливают надежность, которой обладают изделия в условиях, предписываемых методикой испытаний.

Основным показателем надежности электрооборудования служит относительное число отказов q . Для определения надежности могут быть использованы как статистические параметры – для оценки состояния объектов, так и вероятностные – для прогнозирования. Статистические параметры выражаются в дискретных числах. В теории вероятностей и математической теории надежности их называют оценками. При определённом количестве испытаний данные оценки могут быть приняты за истинные характеристики надёжности [104]. Для оценки интенсивности отказов проведены испытания на надежность, в которых из значительного числа N объектов в течение времени Δt отказало n объектов. Тогда относительное число отказов [104] примет вид:

$$q(t) = \frac{n}{N\Delta t}.$$

Таким образом, если испытания выборочные, то $q(t)$ можно рассматривать как статистическую оценку интенсивности отказов λ .

Исходными данными для определения интенсивности отказов служит информация из журналов дефектов и неполадок на производстве по эксплуатации электрооборудования, журналов обслуживания за период с 2015 по 2016 г. По

результатам наработок электрооборудования рассчитано относительное число отказов q .

Признаком отказа электрооборудования и попадания в выборку эксперимента является его переход из рабочего в нерабочее состояние. Нерабочее состояние – это отклонение показателей качества (брак) или недовыпуск производимой продукции. Отказавшее электрооборудование восстанавливают проведением ремонтов.

Работоспособность электрооборудования контролируют с интервалом от недели до месяца. На время проведения эксперимента технологические процессы предприятия функционировали в нормальном режиме и не останавливались.

В соответствии с ГОСТ Р 27.607-2013 выбран план испытаний на надёжность NMT, согласно которому испытывают N объектов (генеральная совокупность). Отказавшие во время испытаний объекты M восстанавливают, испытания прекращают по истечении времени испытаний T . Электрооборудование, участвующее в испытаниях, имеет различные наработки и проверяется в конкретном интервале времени. Методика эксперимента при решении научно-квалификационных задач позволяет проводить испытания ограниченной выборки объектов [56]. Результаты испытаний можно экстраполировать на всю генеральную совокупность объектов.

Для определения объема выборки электрооборудования использовали выражение:

$$n = \frac{Z_{\beta}^2 \rho(1-\rho)}{\delta^2 + \frac{Z_{\beta}^2 \rho(1-\rho)}{N}},$$

где Z_{β} – желаемый уровень доверительности, $Z_{\beta} = 1,95$;

β – доверительная вероятность, $\beta = 0,95$;

δ – относительная ошибка измерений, $\delta = 0,05$;

ρ – степень вероятности положительного эффекта, $\rho = 0,5$;

N – генеральная совокупность электрооборудования.

Результаты расчета объема выборки электрооборудования приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Объем выборки электрооборудования ПУ «Отделения теплиц»

Наименование	Электрооборудование					
	электродвигатели		элементы автоматики		осветительные установки	
	всего	выборка	всего	выборка	всего	выборка
Электрифицированные процессы обеспечения жизнедеятельности растений	296	248	140	98	4900	3136

Кроме показателя надежности определяли экономичность электрооборудования. Экономический ущерб U рассчитывали по формуле (2.1). Вследствие влияния на его величину вероятностной составляющей – допустимой продолжительности простоя t_d , необходимо использовать принцип гарантированного результата, а именно применять наименьшие значения t_d для зимнего периода. Простой технологических процессов в зимний период с наибольшей степенью критичности воздействует на растения [53]. Данный подход продиктован существующими особенностями сельскохозяйственного производства.

Полученные показатели эффективности электрифицированных процессов сведены в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – Показатели эффективности электрифицированных процессов АО «Совхоз-Весна»

Наименование электрооборудования	Кол-во, шт.	Показатели эффективности	
		q	U , руб.
1	2	3	4
Электродосвечивание			
Осветительные устройства			
Досветка REFLUX 600	2890	0,12	98250

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4
Светильники GreenPower 600W/400V	246	0,11	15690
Элементы автоматики			
Датчики освещенности	6	0,01	0
ЩУД	2	0,01	0
Значения по процессу		0,06	113940
Подкормка			
Электродвигатели			
АИР 0,75 кВт, 3000 об/мин	2	0,01	0
АИР 112М2 7,5 кВт, 3000 об/мин	6	0,50	125530
АИР 0,55 кВт, 3000 об/мин	2	0,01	0
АИР 5,5 кВт, 3000 об/мин	6	0,5	210236
АИР 4 кВт, 3000 об/мин	28	0,29	22630
АИР 15 кВт, 3000 об/мин	10	0,40	156230
Элементы автоматики			
Газовый клапан с сервоприводом (серии VR400)	2	0,01	0
Электромагнитный клапан SMART SG5532 18 ВТ	20	0,6	21630
Датчики рН	2	0,5	2900
Датчики уровня воды	2	0,01	0
Контроллер управления поливом	2	0,01	0
Датчики давления CO ₂	6	0,33	3950
Обобщенные показатели		0,26	543106
Обеспечение микроклимата			
Электродвигатели			
АИР РЗК 1,5 кВт, 1500 об/мин	10	0,7	18960
АИР 5,5 кВт, 3000 об/мин	7	0,57	178560
АИР 7,5 кВт, 3000 об/мин	6	0,67	126850

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4
АИР 0,55 кВт, 1500 об/мин	2	0,5	3560
АИР 1,1 кВт, 1500 об/мин	36	0,2	0
АИР 4 кВт, 3000 об/мин	6	0,3	90000
АИР 1,5 кВт, 3000 об/мин	120	0,01	0
АИР100L6 2,2 кВт, 1000 об/мин	7	0,01	0
Элементы автоматики			
Датчики температуры	8	0,5	3650
Датчики влажности	6	0,01	0
Датчики температуры теплоносителя	6	0,5	1680
Датчик давления теплоносителя	6	0,01	0
Электропривод клапана 18 Вт	22	0,36	6 930
Датчики скорости и направления ветра	6	0,01	0
Контроллер управления микроклиматом	2	0,5	110100
Обобщенные показатели		0,33	540290

В строке таблицы 3.5 «Обобщенные показатели» приведены средние значения относительного числа отказов q за период эксперимента и суммарный ущерб $У$. При отсутствии отказов в течение исследуемого периода $У = 0$, а $q = 0,01$.

Полученные значения показателей эффективности электрифицированных процессов обобщены и представлены в таблице 3.6.

Указанные показатели эффективности электрифицированных процессов были достигнуты ЭТС предприятия при использовании планово-предупредительной стратегии ТО и Р. Периодичность технических обслуживаний и текущих ремонтов установлена по расписанию, в соответствии с которым проводилось принудительное обслуживание электрооборудования, несмотря на его техническое состояние. Однако показатель относительного числа отказов некоторого электрооборудования превышает 0,7 о.е. (таблица 3.5). Вследствие этого пред-

приятие недо выпускает продукцию из-за нарушения работы технологических процессов и получает ущерб U . Это говорит о том, что установленные периодичности обслуживания данного электрооборудования не позволяют достигнуть необходимого компенсирующего эффекта.

Таблица 3.6 – Показатели эффективности электрифицированных процессов АО «Совхоз-Весна»

Наименование электрифицированного процесса	Технико-экономические показатели эффективности электрифицированных процессов	
	относительное число отказов q	суммарный ущерб U , руб.
Электродосвечивание	0,06	113940
Подкормка	0,26	543106
Обеспечение микроклимата	0,33	540290
Обобщенные показатели	0,22	1 197 336

Между тем периодичность обслуживания электродвигателя АИР 112М2 7,5 кВт (химический насос), задействованного в технологическом процессе подкормки, АИР100L6 2,2 кВт (вентиляционная установка) одинакова, несмотря на то, что ущерб U от возможного отказа первого электродвигателя выше в 3 раза, чем второго. Таким образом, предприятие непропорционально расходует ресурсы на эксплуатацию электрооборудования, не учитывая его «ответственность» в технологических процессах.

3.5 Внедрение риск-ориентированной стратегии технического обслуживания и ремонта на базе программного комплекса TRIM

Согласно программе экспериментальных исследований, на персональные компьютеры специалистов электротехнической службы АО «Совхоз-Весна» был установлен программный комплекс TRIM.

Внедрение программного комплекса TRIM производилось в несколько этапов:

1. Подготовка автоматизированного рабочего места (АРМ) и загрузка на персональные компьютеры специалистов ЭТС необходимого программного обеспечения.

Компьютеры, на которые устанавливается программный комплекс, должны иметь операционную систему Windows и процессоры IntelCore 2 (или аналогичные) с частотой от 2 ГГц и объемом оперативной памяти от 2 Гб. Необходимое свободное место на диске для работы TRIM должно быть не менее 8 Гб.

Использование программного комплекса подразумевает выделение ролей для управления доступа к системе.

Управление на основе ролей (англ. Role Based Access Control (RBAC)) означает, что права доступа субъектов системы на объекты группируются с учётом специфики их применения, образуя роли. Такое управление определяет чёткие и понятные для пользователей компьютерной системы правила разграничения доступа.

В программном комплексе TRIM для управления техническим обслуживанием и ремонтом электрооборудования на предприятии АО «Совхоз-Весна» среди специалистов ЭТС были распределены следующие роли (таблица 3.7).

Старший инженер ЭТС планирует периодическое обслуживание и принимает заявки на устранение отказов и повреждений. Он же контролирует выполнение плана-графика работ и распределяет ресурсы.


Специалист оперативного персонала, обнаружив повреждение или отказ, подает заявку на его устранение, оформляет отчеты об осмотрах электрооборудования.

Инженер-электрик получает задание на работу и получение запасных частей со склада, выполняет ее, оформляет отчеты о проделанной работе и расходах материальных ресурсов.

Специалист по запасным частям и материалам составляет номенклатурные перечни, принимает заявки на их закупку, заведует складским хозяйством, выдает запасные части со склада.

Главный энергетик анализирует эффективность стратегии технического обслуживания и ремонта, действующей на предприятии.

Таблица 3.7 – Распределение ролей в производственном комплексе TRIM среди специалистов ЭТС АО «Совхоз-Весна»

Процессы	Старший инженер ЭТС	Оперативный персонал	Инженер-электрик	Инженер ЭТС	Главный энергетик
Паспортизация оборудования и каталоги запасных частей					
Регламенты обслуживания и нормативы по ресурсам					
Регистрация отказов, повреждений, аварий					
Планирование сроков выполнения работ					
Планирование затрат на проведение работ					
Обеспечение запасными частями и материалами					
Оформление задания на выполнение работы					
Оформление отчета о выполненной работе					
Оценка системы ТО и Р (планирование, надежность, затраты)					

2. Обучение работников ЭТС правилам пользования программным комплексом TRIM.

Для обучения специалистов электротехнической службы правилам пользования программным комплексом TRIM на предприятии АО «Совхоз-Весна» были проведены семинары по следующим темам:

- ознакомление с типовым регламентом использования TRIM;
- описание структуры электрооборудования, работ, штатного расписания ремонтных служб, функций пользователей информационной системы, структуры каталогов запасных частей;
- сбор информации для ввода в базу данных;
- сбор данных для адаптации форм отчетности;
- формирование структуры базы данных.

3. Наполнение базы данных программного комплекса TRIM и определение технологических параметров производства.

Наполнение базы данных осуществляется посредством интерфейса заполнения справочников. Справочники в TRIM служат вспомогательным инструментом, облегчающим работу в информационной системе. Напрямую со справочниками пользователи работают только на этапе их заполнения, а в дальнейшем они пользуются данными, введенными посредством модулей «Техобслуживание» и «Склад».

Для работы с комплексом TRIM были заполнены следующие справочники: «Единицы учета»; «Группы МТР»; «Номенклатура оборудования»; «Структура технологических процессов».

Для заполнения справочников используют всю совокупную документацию ЭТС предприятия (журналы наработки, журналы отказов, статьи бюджета на ТО и Р, планы-графики ТО и Р, журналы осмотра, паспорта электрооборудования и др.) и руководство пользователя программным комплексом TRIM.

В программный комплекс TRIM была занесена информация о производственных участках предприятия. Скриншот справочника со списком производственных участков и указанием зон основного и вспомогательного производства приведен на рисунке 3.5.

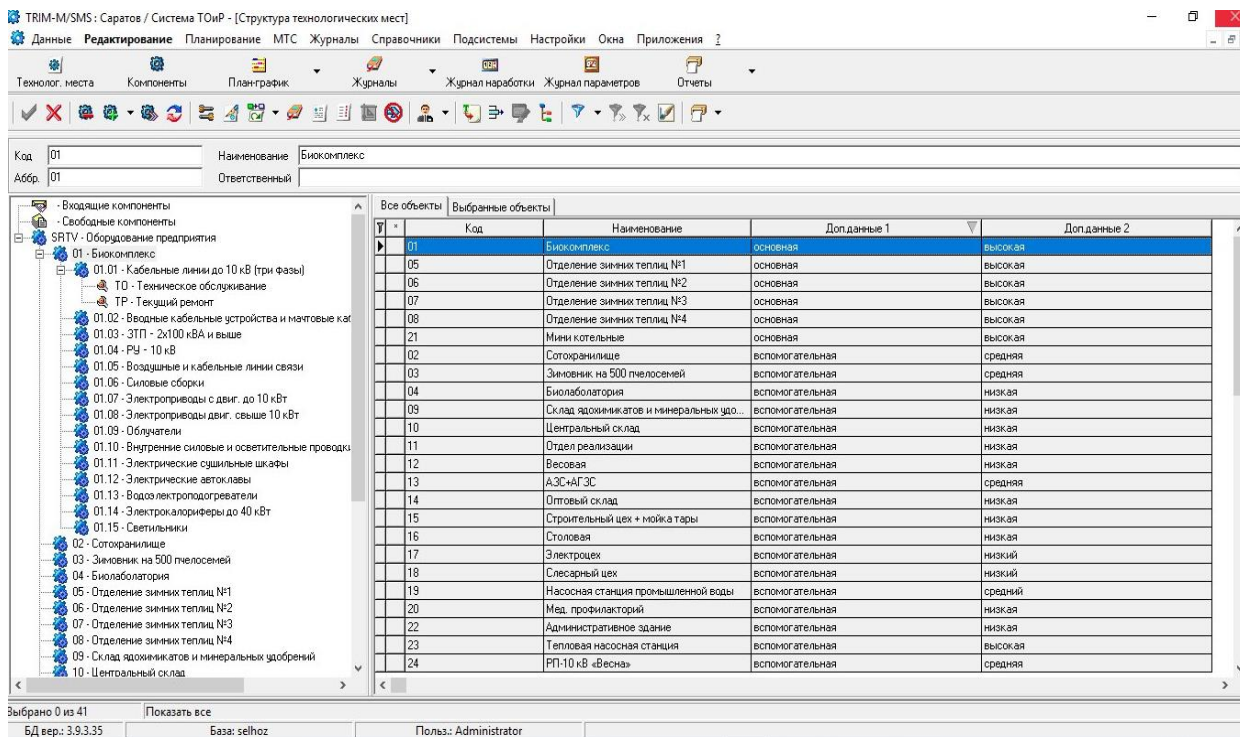


Рисунок 3.5 – Скриншот справочника со списком производственных участков в АО «Совхоз-Весна»

Так как экспериментальные исследования проводили на производственном участке «Отделения теплиц», то использовали информацию по эксплуатации электрооборудования только по данному участку. Технологические параметры ПУ «Отделения теплиц» были занесены в программный комплекс (рисунок 3.6).

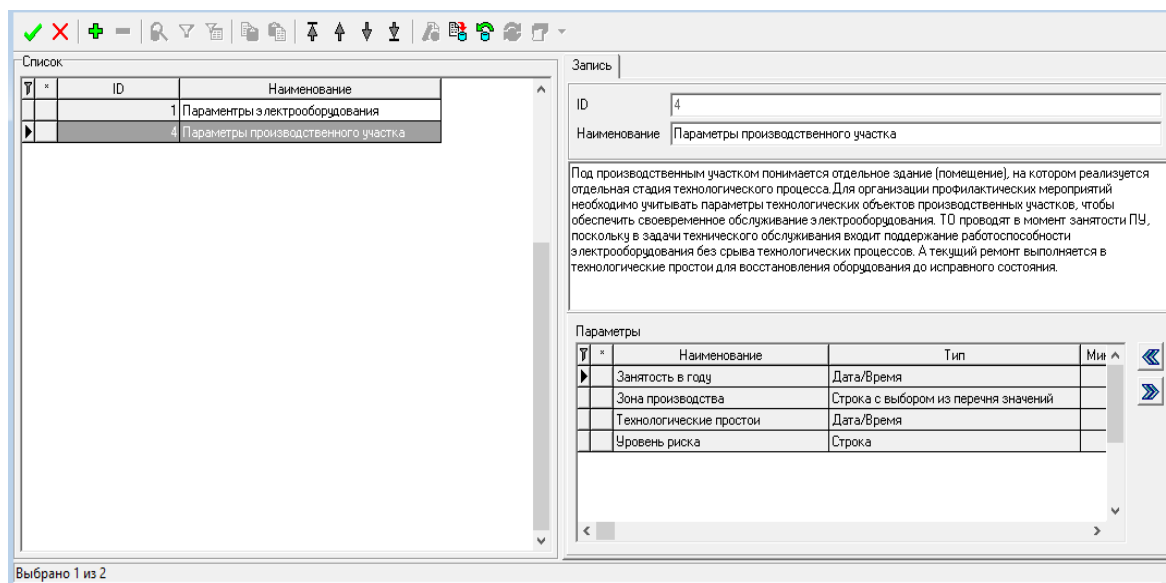


Рисунок 3.6 – Скриншот справочника «Параметры ПУ» в АО «Совхоз-Весна»

В программном комплексе TRIM указаны основные электрифицированные процессы обеспечения жизнедеятельности растений и электрооборудование, ответственное за их реализацию (рисунок 3.7).

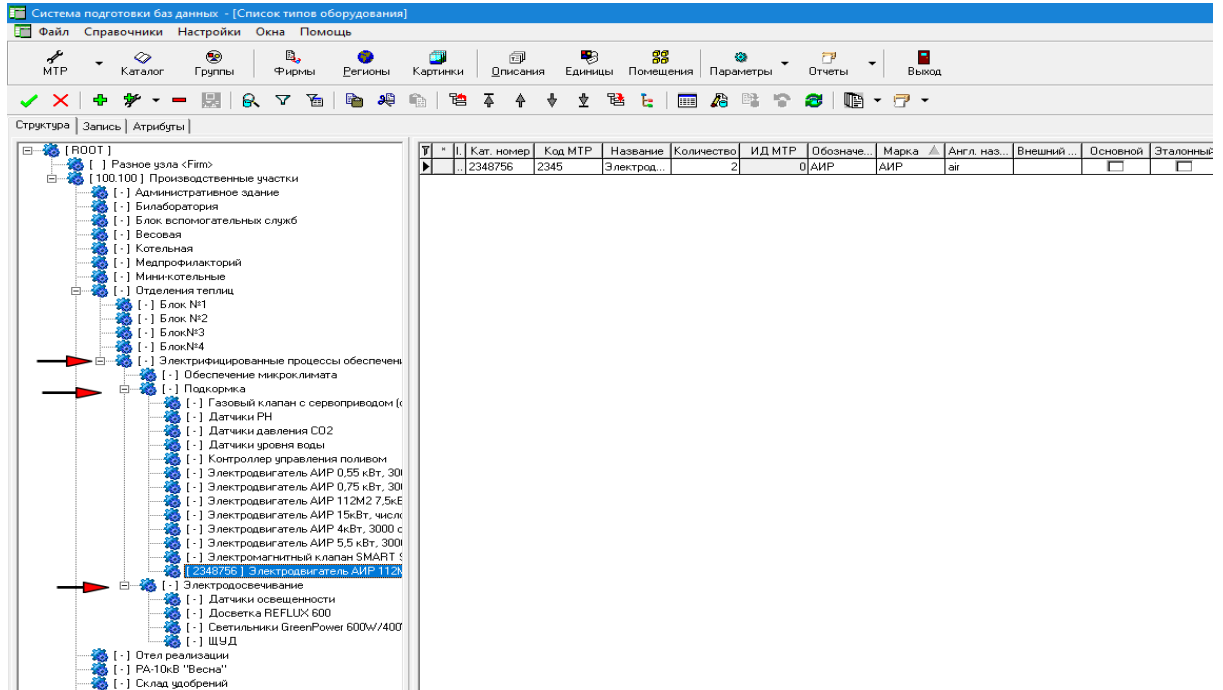


Рисунок 3.7 – Скриншот справочника со списком электрифицированных процессов

Показатели эффективности, приведенные в таблице 3.5, внесены в справочник «Параметры электрооборудования» (рисунок 3.8).

Группы параметров	Наименование	Значение
{All Groups}	Базовая интенсивность отказов	0,95
Параметры электрооборудова...	Величина риска	1,0
	Всего ч.е.з.	0
	Затраты на ТО и Р	980
	Количество	1,5 км
	Коэффициент готовности	10
	Переводной коэффициент	1
	Периодичность Р	
	Периодичность ТО	
	Степень критичности отказа электрооб...	Высокий
	Трудозатраты на Р	25,65
	Трудозатраты на ТО	17,1
	Фактическая интенсивность отказов	0,90
	Шифр окружающей среды	

Рисунок 3.8 – Введение величин «уровень риска» и «степень критичности» в TRIM

Справочники «Структура штатного расписания», «Профессии», «Классификация работ», «Работы», «Трудоемкость работ» заполнены в соответствии с должностными и производственными инструкциями АО «Совхоз-Весна».

4. Оценка риска

После заполнения основных справочников и внесения данных о производстве в программный комплекс TRIM было определено значение риска в соответствии с программой планирования работ по ТО и Р при использовании риск-ориентированной стратегии (приложение 4, графа 10). Для оценки риска использованы данные анализа электрифицированных процессов на предприятии (таблица 3.5). Полученные результаты также введены в справочник «Параметры электрооборудования».

В соответствии с формулой (2.52) определён уровень риска и проведено ранжирование электрооборудования по степени критичности (приложение 4, графа 11).

5. Корректирование периодичности технического обслуживания и ремонта электрооборудования, ранжированного по высокой степени критичности (таблица 3.8).

По результатам анализа было принято решение электрооборудование, ранжированное по низкой степени критичности R^H , обслуживать по послеотказовой стратегии, по средней R^C – с нормативной периодичностью; по высокой R^B – корректировать нормативную периодичность в соответствии с разработанными положениями риск-ориентированной стратегии. Для этого по выражению (2.53) рассчитан относительный риск (таблица 3.8) и в соответствии с таблицей 2.6 изменена периодичность ТО и ТР. Скорректированные периодичности обслуживания электрооборудования приведены в приложении 5 (графы 6–7).

Обобщенные данные о корректировании периодичности ТО и ТР электрооборудования, ранжированного по высокой степени критичности R^B для электрифицированных процессов, представлены в таблице 3.8.

Экспериментальные исследования проводились с января 2016 по декабрь 2017 г. Отказы и ущерб фиксировали в программном комплексе TRIM.

Таблица 3.8 – Корректирование периодичности обслуживания электрооборудования, ранжированного по высокой степени критичности R^B для электрифицированных процессов

Наименование электрооборудования	Величина риска	Относительный риск	Периодичность			
			ТО		ТР	
			нормативная	корректированная	нормативная	корректированная
Подкормка						
Электродвигатель АИР 112М2 7,5 кВт, 3000 об/мин	62765	2,57	1,5	1	14	10,5
Электродвигатель АИР 5,5 кВт, 3000 об/мин	105118	17,34	1,5	0,7	14	8
Электродвигатель АИР 15 кВт, 3000 об/мин	62492	2,54	1,5	1	14	10,5
Обеспечение микроклимата						
Электродвигатель АИР 5,5 кВт, 3000 об/мин	102034	16,98	1,5	0,7	14	8
Электродвигатель АИР 7,5 кВт, 3000 об/мин	84567	2,98	1,5	1	14	10,5
Контроллер управления микроклиматом	55050	2,16	6	3	24	10

Количество плановых работ по техническому обслуживанию и текущему ремонту электрооборудования для годового плана-графика, их трудоемкость, численность персонала электротехнической службы определены по формулам (2.57)–(2.58). План работ по ТО и Р электрооборудования приведен в приложении 6.

3.6 Сравнительный анализ эффективности электрифицированных процессов при использовании риск-ориентированной стратегии

В соответствии с условиями испытаний на надежность за электрооборудованием, включенным в выборку, было установлено периодическое наблюдение. Регистрацию его отказов и полученного ущерба фиксировали в программном комплексе TRIM (рисунок 3.9). Цель наблюдений – определить влияние изменения периодичности обслуживания наиболее критичного электрооборудования на эффективность электрифицированных процессов.

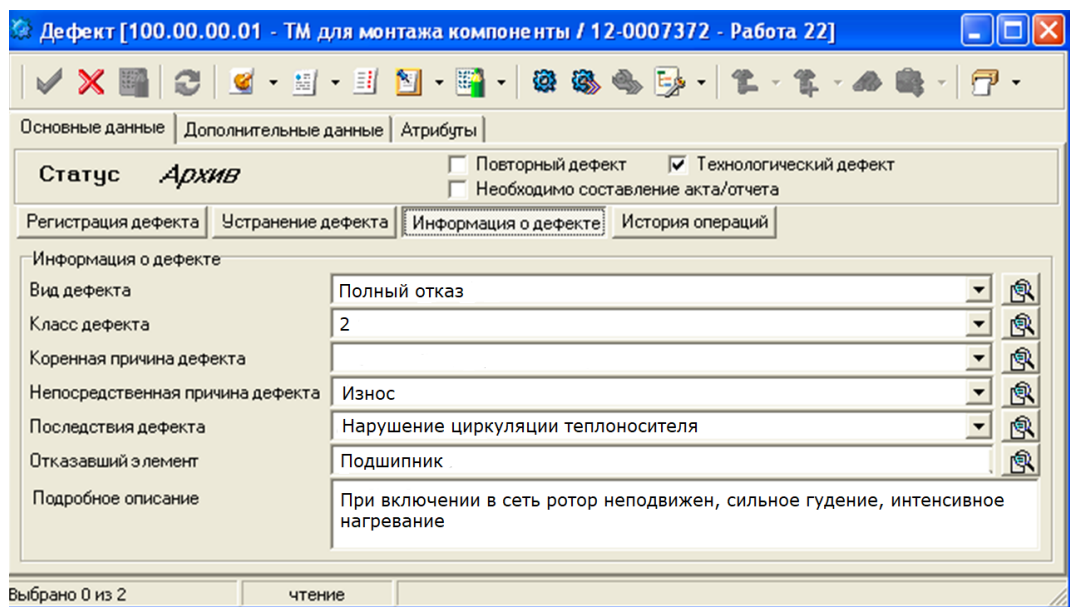


Рисунок 3.9 – Регистрация отказов в программном комплексе TRIM

Обобщив полученную информацию по наработкам на отказ, рассчитали относительное число отказов q электрооборудования, которое можно рассматривать как статистическую оценку интенсивности отказов λ [104]. Ущерб, полученный от отказов, оценивали с привлечением главного агронома предприятия при нарушении реализации технологических процессов. Результаты наблюдений сведены в приложение 5.

По завершению эксперимента проведен сравнительный анализ эффективности электрифицированных процессов обеспечения жизнедеятельности растений

при использовании базовой стратегии технического обслуживания и ремонта, существующей на предприятии, и усовершенствованной – риск-ориентированной.

Сравнимаемыми показателями являются относительное число отказов электрооборудования q , ущерб U и риск R как комплексный критерий эффективности. Указанные показатели обобщены для оценки рассматриваемых электрифицированных процессов. Полученные результаты сведены в таблицу 3.9.

Таблица 3.9 – Сравнительный анализ эффективности электрифицированных процессов при использовании базовой стратегии технического обслуживания и ремонта электрооборудования и усовершенствованной

Показатель	Обозначение	Значения по стратегиям		Изменение показателя, %
		базовой	усовершенствованной	
Относительное число отказов	λ_0	0,22	0,20	–9
Суммарный ущерб, руб.	U_{Σ}	1197336	1082387	–10
Суммарный риск, руб.	R_{Σ}	558158	481024,99	–13

При внедрении риск-ориентированной стратегии технического обслуживания и ремонта электрооборудования в АО «Совхоз-Весна» относительное число отказов q электрооборудования снизилось на 9 % (приложение 7). Его можно рассматривать, как показатель безотказности исследуемых объектов, а именно как интенсивность отказов λ [104]. Сокращение количества отказов, снизило суммарный ущерб U_{Σ} на 10 %.

Таким образом, несмотря на то, что одну часть электрооборудования обслуживали по фактическому состоянию, а другую по нормативной периодичности, эффективность электрифицированных процессов возросла.

Результаты экспериментальных исследований подтверждают предположение о том, что установленное электрооборудование воздействует на эффективность электрифицированных процессов с разной степенью критичности.

Распределение электрооборудования по степени критичности для выполнения технологических процессов представлено на рисунке 3.10. Доля электрооборудования, имеющего наибольшую степень критичности, составляет от 15 до 20 %. Отказ электродвигателя АИР 15 кВт насоса капельного полива при выполнении процесса подкормки растений приведет к нарушению всего электрифицированного процесса – питательный раствор перестанет поступать к растениям.

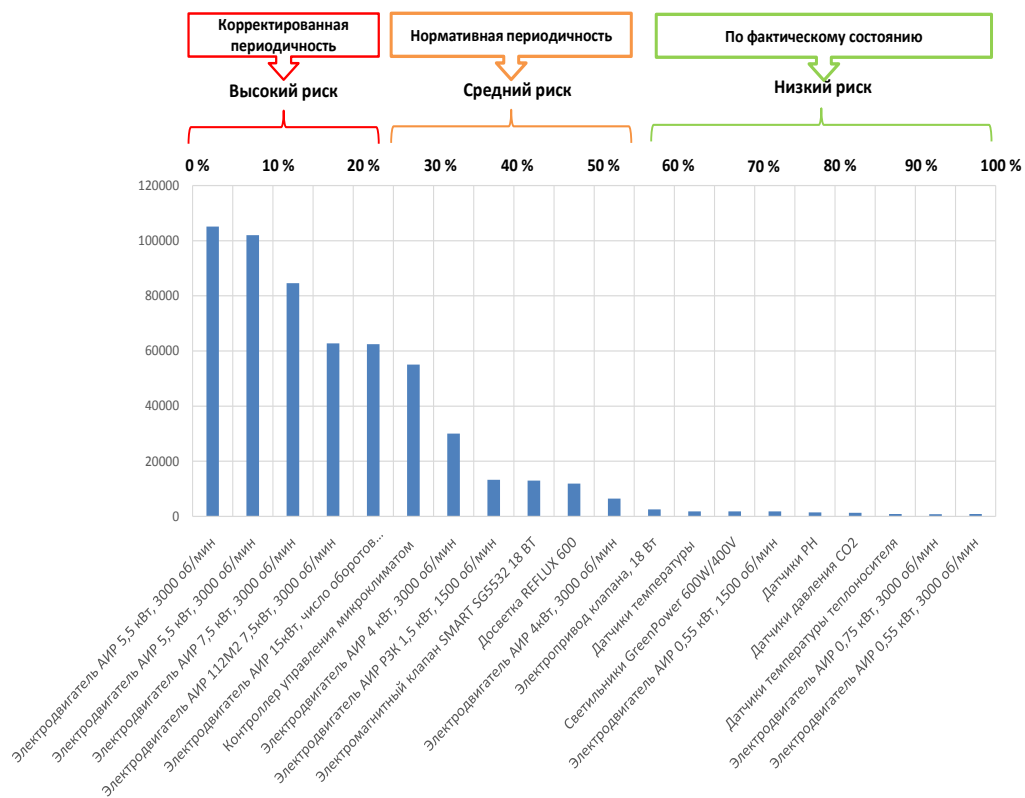


Рисунок 3.10 – Распределение электрооборудования на производственных процессах по степени критичности

При отказе одного из электромагнитных клапанов на 18 Вт системы капельного полива раствор будет подаваться лишь к части растений.

Отказ электродвигателя на 7,5 кВт химического насоса, задействованного в процессе приготовления питательного раствора (перемешивания), нарушит цикл питания растений. Особенно критичен для растений в первые 3 месяца развития отказ электрооборудования, задействованного в системах полива, так как в этот период они наиболее чувствительны к влиянию дестабилизирующих факторов.

Отказы электродвигателей и 7,5 кВт, задействованных в передаче теплоносителя в основной трубопровод, также приведут к полному нарушению теплообмена в теплице. При отказе же одного из циркуляционных насосов 1,5 кВт нарушится работа одного из контуров подогрева растений. Наиболее критичным является отказ электрооборудования системы обеспечения микроклимата в зимний период. Например, для гибели почти 80 % от выращиваемого объема томатов достаточно 2 ч простоя при температуре $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, для повышения эффективности электрифицированных процессов необязательно оказывать компенсирующие воздействия на весь объем электрооборудования, задействованного в их реализации. Достаточно провести обслуживание электрооборудования, которое несет высокий риск. Уменьшение периодичности обслуживания электрооборудования с высоким риском позволило снизить число его отказов (рисунок 3.11).

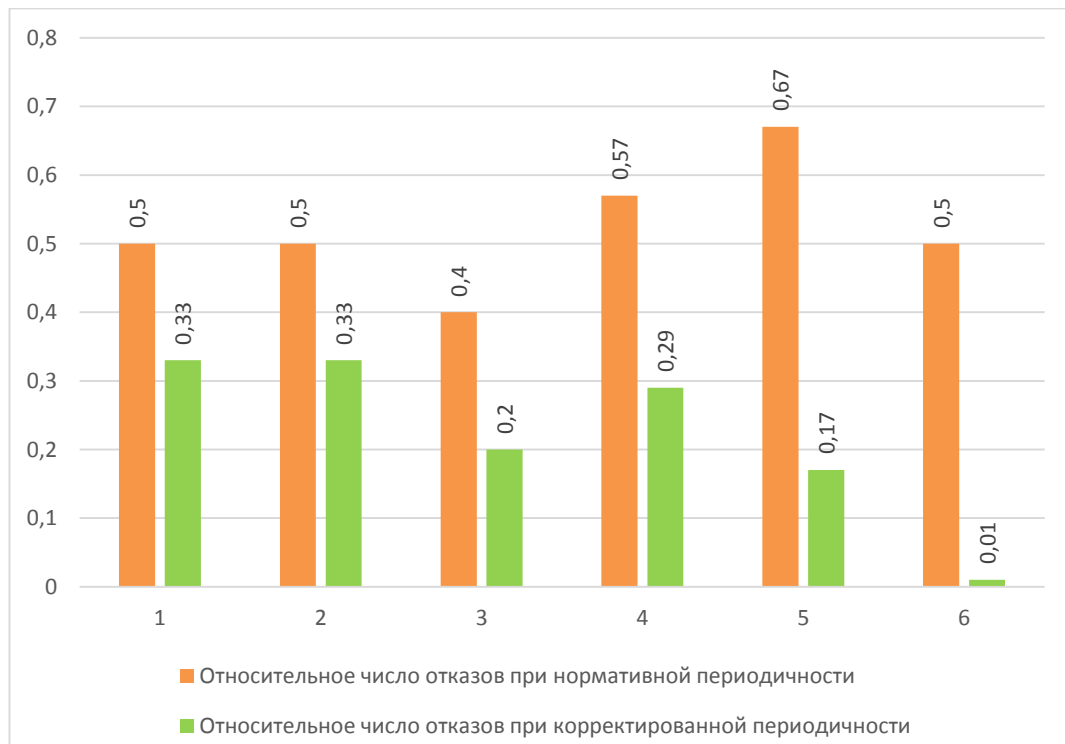


Рисунок 3.11 – Изменение количества отказов при нормативной и скорректированной периодичности ТО и Р электрооборудования с высоким риском: 1 – АИР 112М2 7,5 кВт (3000 об/мин); 2 – АИР 5,5 кВт (3000 об/мин); 3 – АИР 15кВт (3000 об/мин); 4 – АИР 5,5 кВт (3000 об/мин); 5 – АИР 7,5 кВт (3000 об/мин); 6 – контроллер управления микроклиматом

Наиболее полно эффект от внедрения предлагаемой стратегии оценивает комплексный показатель эффективности электрифицированных процессов – суммарный риск R_{Σ} . Перераспределение ресурсов на обслуживание электрооборудования, имеющего высокую критичность, позволило снизить данный показатель по сравнению с базовой стратегией на 13 %.

Выводы

1. Разработана программа исследований, в соответствии с которой определены показатели надежности и экономичности эффективности электрифицированных процессов на предприятии: относительное число отказов электрооборудования q , ущерб U и риск R .

2. В качестве объекта для производственной проверки риск-ориентированной стратегии технического обслуживания и ремонта электрооборудования выбран тепличный комбинат Саратовской области АО «Совхоз-Весна». Проведен анализ основных показателей работы предприятия, выделены производственные участки с высоким риском – 4 блока теплиц, обеспечивающих выращивание овощной продукции.

3. Определены показатели эффективности основных электрифицированных процессов на ПУ «Отделения теплиц»: электродосвечивания, обеспечение микроклимата и подкормки растений. Для оценки эффективности электрифицированных процессов разработан план испытаний на надежность (NMT), в соответствии с которым сделана выборка из трех категорий электрооборудования: электродвигателей; элементов автоматики; осветительных установок.

4. На предприятии внедрена риск-ориентированная стратегия ТО и Р на базе программного комплекса TRIM. В базу данных программного комплекса TRIM внесены: список видов электрооборудования; структура технологических процессов; МТР; виды работ по ТО и Р, структура штатного расписания и др. Произведена оценка риска отказа электрооборудования, участвующего в выборке и обеспечивающего реализацию основных электрифицированных про-

цессов. Определён уровень риска и проведено ранжирование электрооборудования по степени критичности, в соответствии с которой были скорректированы периодичности ТО и ТР. Экспериментальные исследования проводились с января 2016 по декабрь 2017 г. Отказы и ущерб фиксировали в программном комплексе TRIM.

5. Экспериментальными исследованиями было установлено: относительное число отказов q электрооборудования снизилось на 9 %, суммарный риск R_{Σ} на 13 %, суммарный ущерб Y_{Σ} уменьшился на 10 %.

4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СТРАТЕГИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Применение риск-ориентированной стратегии технического обслуживания и ремонта электрооборудования требует экономического обоснования. При этом учитываются, с одной стороны, все возникающие капитальные и текущие затраты, с другой, – экономическая эффективность ее реализации.

Так как риск-ориентированная стратегия ТО и Р реализована на базе информационной системы класса ЕАМ, то и определять следует не только эффект от ее применения, но и эффект от внедрения АСУ.

Таким образом, объектом оценки является риск-ориентированная стратегия технического обслуживания и ремонта электрооборудования, реализованная в программном комплексе TRIM. В связи с этим был выполнен сравнительный анализ экономических показателей базовой стратегии ТО и Р электрооборудования усовершенствованной. При этом базовой считалась стратегия, действующая на предприятии, а усовершенствованной – риск-ориентированная.

Цель экономического анализа – определение показателей эффективности применения риск-ориентированной стратегии ТО и Р. Оценка экономической эффективности различных технических решений предполагает использование системы показателей, отражающих стоимостные и натуральные характеристики рассматриваемых стратегий [27, 61,64]. Основными показателями экономической оценки предлагаемых решений являются: годовой экономический эффект; оценка доходной и затратной частей проектов с последующим расчетом чистого дисконтированного дохода (ЧДД); индекс доходности; затраты на планирование работ по ТО и в информационной системе ЕАМ.

Исходные данные для расчета экономической эффективности риск-ориентированной стратегии ТО и Р приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Исходные данные для определения экономической эффективности риск-ориентированной стратегии технического обслуживания и ремонта электрооборудования

Показатель	Стратегии обслуживания электрооборудования	
	базовая	усовершенствованная
Количество ИТР задействованных в составлении план-графика ТО и Р	2	2
Суммарный риск	558158	481024
Капитальные вложения на внедрение информационной системы, руб.:		
приобретение вычислительной техники;	0	100000
приобретение программного обеспечения;	0	150000
наём консультантов;	0	50000
доработку информационной системы;	0	140000
обучение персонала	0	40000
Норма дисконта, %	–	15

При расчетах реализация базовой стратегии обозначается индексом «1», а риск-ориентированной – индексом «2».

Капиталовложения в реализацию базовой стратегии включают в себя лишь капиталовложения в оборудование:

$$K_1 = K_{уд.о} S, \quad (4.1)$$

где $K_{уд.о}$ – удельные капиталовложения в оборудование, руб./м²;

S – площадь здания, м².

$$K_1 = 1200 \cdot 330 = 396000 \text{руб.};$$

Капиталовложения на внедрение риск-ориентированной стратегии на базе программного комплекса TRIM вычислены по формуле:

$$K_2 = K_c + K_o + K_{вт} + K_{по} + K_{конс} + K_{дораб} + K_{обуч}, \quad (4.2)$$

где K_c – капиталовложения в строительную часть, руб.,

K_o – капиталовложения на приобретение и монтаж оборудования, руб.,

$K_{вт}$ – капиталовложения на приобретение вычислительной техники, руб.;

$K_{по}$ – капиталовложения на приобретение программного комплекса «TRIM», руб.;

$K_{конс}$ – капиталовложения на оплату консультаций сотрудников компании «СпецТек», руб.;

$K_{дораб}$ – капиталовложения на доработку информационной системы, руб.;

$K_{обуч}$ – капиталовложения в обучение персонала, руб.

Капиталовложения в строительную часть определяют по формуле

$$K_c = K_{уд.з} S, \quad (4.3)$$

где $K_{уд.з}$ – удельные капиталовложения в здания, руб./м²;

S – площадь здания, м²,

$$K_c = 3500 \cdot 100 = 350\,000 \text{руб.};$$

Отсюда капиталовложения составят:

$$K_2 = 350000 + 396000 + 100000 + 150000 + 50000 + \\ + 140000 + 40000 = 1\,226\,000 \text{руб.}$$

Реализация риск-ориентированной стратегии в информационной системе ЕАМ позволяет снизить затраты ЭТС на планирование мероприятий по ТО и Р. Для этого в АО «Совхоз-Весна» задействованы 2 инженерно-технических работ-

ника (ИТР). Средний оклад ИТР – 15600 руб./мес., премиальный фонд – до 50 % от оклада.

Годовые затраты труда при ручной обработке информации [100]

$$З_{\text{руч}} = nt_p \text{Ц}_ч \cdot 12 = 2 \cdot 60 \cdot 150 \cdot 12 = 216\,000 \text{ руб.}$$

где n – количество ИТР (2 чел.);

t_p – время, затрачиваемое на обработку информации вручную (затраты времени на работу с информацией одного ИТР составляют 60 ч в месяц);

$\text{Ц}_ч$ – затраты за 1 час работы одного ИТР (средние часовые затраты на одного ИТР составляют 150 руб.).

При автоматизированной обработке информации (затраты времени на одного человека $t_p = 12$ ч/мес.) составят:

$$З_{\text{авт}} = nt_p \text{Ц}_ч \cdot 12 = 2 \cdot 12 \cdot 150 \cdot 12 = 43\,200 \text{ руб.}$$

Годовая экономия от снижения затрат на планирование работ при использовании риск-ориентированной стратегии в информационной системе класса ЕАМ составит:

$$\text{Э}_{\text{пл}} = З_{\text{руч}} - З_{\text{авт}};$$

$$\text{Э}_{\text{пл}} = 216\,000 - 43\,200 = 172\,800 \text{ руб.}$$

Эффект от снижения суммарного риска рассчитывают по формуле:

$$\text{Э}_R = \text{Э}_{R_1} - \text{Э}_{R_2};$$

$$\text{Э}_R = 558158 - 481024 = 77\,134 \text{ руб.}$$

Годовой эффект от внедрения риск-ориентированной стратегии в информационной системе класса ЕАМ составит:

$$\Theta_r = \Theta_{пл} + \Theta_R;$$

Рассчитав по указанному выражению годовой эффект, получим:

$$\Theta_r = 172\,800 + 77\,134 = 249\,934 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости капиталовложений:

$$T_{о.к} = \frac{K_2 - K_1}{\Theta_r}, \quad (4.4)$$

$$T_{о.к} = 1\,226\,000 - 396\,000 / 249\,934 = 3,3 \text{ года.}$$

В настоящее время для оценки эффективности инновационных проектов используют общепризнанный метод дисконтирования, то есть приведение разно-временных доходов и расходов, осуществляемых в рамках инвестиционного проекта, к единому (базовому) моменту времени.

В мировой практике наибольшее распространение получил метод оценки экономической эффективности инвестиционного проекта с использованием следующих четырех показателей: чистого дисконтированного дохода, индекса доходности, внутренней нормы доходности и периода окупаемости капитальных вложений.

При этом чистый дисконтированный доход – один из важнейших критериев эффективности. В ряде случаев он выступает как самостоятельная и единственная характеристика.

Чистый дисконтированный доход определяется по формуле:

$$NPV = -\sum_0^T I \cdot 1/(1+E)^t + \sum_1^T CF \cdot 1/(1+E)^t, \quad (4.5)$$

где I – затраты на инвестиции, руб.;

E – норма дисконта, %;

CF – чистый денежный доход за период эксплуатации объекта, руб.;

T – продолжительность расчетного периода или горизонт расчета;

t – номер шага расчета по годам с момента внедрения проекта.

В рыночной экономике при использовании собственного капитала норма дисконта определяется исходя из депозитного процента по вкладам, а на практике она выше этого процента за счет инфляции и риска, связанного с инвестициями.

Индекс доходности проекта рассчитывают по формуле:

$$PI = [\sum_1^T C F \cdot 1 / (1 + E)^t] / [\sum_0^T I \cdot 1 / (1 + E)^t]. \quad (4.6)$$

При определении чистого дисконтированного дохода и индекса доходности пользовались данными таблицы 4.1. Полученные результаты представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты расчета чистого дисконтированного дохода

Показатели	Горизонт расчета (годы)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
Капиталовложения, тыс. руб.	1226,0									
Годовая экономия, тыс. руб.		249,9	249,9	249,9	249,9	249,9	249,9	249,9	249,9	249,9
Дисконтный множитель	1,00	0,91	0,83	0,75	0,68	0,62	0,56	0,51	0,47	
Приведенная разность между доходами и расходами, тыс. руб.	-1226,0	227,18	206,53	187,75	170,69	155,17	141,06	128,24	116,58	
Чистый дисконтированный доход, тыс. руб.	107,2									
Индекс доходности, %	9									

Экономическая эффективность риск-ориентированной стратегии технического обслуживания и ремонта электрооборудования была достигнута за счет снижения трудовых и эксплуатационных затрат.

Результаты расчета экономической эффективности риск-ориентированной стратегии технического обслуживания и ремонта представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Сравнительный анализ экономических показателей базовой и риск-ориентированной стратегий технического обслуживания и ремонта электрооборудования

Наименование показателя	Обозначение	Значения по стратегиям	
		базовой	усовершенствованной
Капитальные вложения, руб.	К	396 000	1 226000
Суммарный риск		558 158	481 024
Затраты на обработку информации		216 000	43 200
Годовой экономический эффект, руб.	Э _г	–	249 934
Срок окупаемости капиталовложений, лет	Т _{ок}	–	3,3
Чистый дисконтированный доход, руб.	ЧДД		1072
Индекс доходности, %	$i_{\text{дох}}$		9

Годовой экономический эффект от реализации предлагаемой стратегии в АО «Совхоз-Весна» составил 249 934 руб. Срок окупаемости капиталовложений – 3,3 года, что соответствует норме, т.е. менее 7 лет.

Выводы

1. Экономическая эффективность риск-ориентированной стратегии технического обслуживания и ремонта электрооборудования была достигнута за счет уменьшения затрат на планирование мероприятий по ТО и Р и снижению суммарного риска электрифицированных процессов на 13 %. Годовой экономический эффект от ее внедрения в АО «Совхоз-Весна» составил 249 934 руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе предложено решение важной организационно-технической задачи – повышение эффективности электрифицированных процессов сельскохозяйственного производства за счет применения риск-ориентированной стратегии. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили сформулировать основные выводы:

1. Анализ деятельности сельскохозяйственных предприятий Саратовской области показал на недостаточную эффективность мероприятий по технической эксплуатации электрооборудования. На 65 % предприятий используется смешанная стратегия ТО и Р, которая опирается на устаревшую нормативную базу системы ППРЭСх, корректируемую по личному усмотрению сотрудников электротехнических служб. В результате средняя интенсивность отказов λ в ряде случаев достигает 0,42 о.е., что больше базового значения (0,07). В распределении ресурсов наблюдается дисбаланс в сторону увеличения доли планово-предупредительных мероприятий и резервного фонда. При обслуживании электрооборудования не учитывается его «ответственность» при реализации конкретного технологического процесса.

2. Теоретическими исследованиями обоснованы понятие риска отказа электрооборудования и методика его оценки. При расчете риска учтены размер экономического ущерба и величина эксплуатационной интенсивности отказов. Для повышения точности оценки экономического ущерба скорректированы значения фактической и допустимой продолжительности простоя. Для расчета эксплуатационной интенсивности отказов введен количественный коэффициент e , характеризующий положительный эффект от снижения доли отказов электрооборудования при использовании стратегии технического обслуживания и ремонта. Проведено ранжирование электрооборудования по степени его критичности для производственного участка.

3. Определены условия оптимального распределения ресурсов и эксплуатационных затрат на ТО и Р электрооборудования. При отсутствии сведений о надежности объектов ресурсы на эксплуатацию необходимо соотносить с размером ущерба от их отказа. Наименьший суммарный риск получен при равномерном распределении ресурсов на эксплуатацию объектов пропорционально квадратному корню из отношения их ущербов. Оптимальное значение относительных эксплуатационных затрат зависит от размера ущерба и базовой интенсивности отказов. Таким образом, для организации оптимальной эксплуатации электрооборудования необходимо согласовывать эксплуатационные затраты с риском отказа электрооборудования.

4. Установлена зависимость относительного риска r от частоты обслуживаний электрооборудования, на основании которой определены следующие условия корректирования нормативной периодичности ТО и ТР: при относительном риске $r = 0-3,0$ – ее уменьшили на 35 и 25 %, при $r = 3,0-20,0$ – на 55 и 42 %, при $r > 20,0$ – на 71 и 67 %.

5. Разработана программа планирования работ по ТО и Р в информационной системе класса ЕАМ на основе риск-ориентированной стратегии. Программа включает в себя алгоритм формирования плана-графика работ по ТО и Р, который позволяет внедрять риск-ориентированную стратегию на любом сельскохозяйственном предприятии.

6. Экспериментальными исследованиями установлено, что применение риск-ориентированной стратегии ТО и Р позволило снизить число отказов q электрооборудования на 9 %, суммарный ущерб на 10 % и суммарный риск на 13 %.

7. Экономическая эффективность риск-ориентированной стратегии технического обслуживания и ремонта электрооборудования достигнута за счет уменьшения затрат на планирование мероприятий по ТО и Р и снижения суммарного риска электрифицированных процессов на 13 %.

Годовой экономический эффект от внедрения риск-ориентированной стратегии на тепличном комбинате АО «Совхоз-Весна» составил 249 934 руб.

Рекомендации. Полученные результаты могут быть использованы руководителями ЭТС сельскохозяйственных предприятий для организации эффективной системы ТО и Р в целях повышения надежности и экономичности работы электрооборудования.

Перспективы дальнейшей разработки темы – расширение границ риск-ориентированного подхода к оптимизации и прогнозированию резервного фонда запасных частей и электрооборудования, а также применение его для управления эффективностью производства по заданным критериям риска.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Амерханов, Р. А.* Эксплуатация теплоэнергетических установок и систем / Р. А. Амерханов, Г. П. Ерошенко, Е. В. Шелиманова. – М. : Энергоатомиздат, 2008. – 417 с.
2. Анализ состояния технической эксплуатации электрооборудования сельскохозяйственных предприятий Саратовской области / Г. П. Ерошенко [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2007. – № 12. – 8 с.
3. *Антоненко, И. Н.* Анализ рисков и электронный журнал дефектов / И. Н. Антоненко, Б. А. Кац // Химическая техника. – 2013. – № 3. – С. 28–33.
4. *Антоненко, И. Н.* Технологическое обслуживание и ремонт оборудования. Эволюция практик и систем управления / И. Н. Антоненко, И. Э. Крюков // Молочная промышленность. – 2011. – № 10. – С. 12–15.
5. *Антоненко, И. Н.* Эволюция практик и информационных систем управления ТО и Р / И. Н. Антоненко, И. Э. Крюков // Автоматизация в промышленности. – 2011. – № 10. – С. 27–30.
6. *Афанасьев, Н. А.* Система технического обслуживания и ремонта оборудования энергохозяйств промышленных предприятий (система ТОР ЭО) / Н. А. Афанасьев, М. А. Юсипов. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.
7. *Бакиров, С. М.* Адаптация технического обслуживания и текущего ремонта электрооборудования к особенностям сельскохозяйственного производства: дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / Бакиров Сергей Мударисович. – Саратов, 2011. – 167 с.
8. 003.005.001.001.000-Т. Библиотека типовых ключевых показателей эффективности. Ремонт и техническое обслуживание / ООО «Институт промышленного консалтинга». – Омск, 2007. – 79 с.
9. *Борисов, Ю. С.* Определение экономического ущерба от отказов электрооборудования в сельском хозяйстве / Ю.С. Борисов // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – № 3 (16). – С. 52–56.
10. *Борисов, Ю. С.* Организация ремонта и технического обслуживания / Ю. С. Борисов. – М. : Машиностроение, 1978. – 360 с.

11. *Борисов, Ю. С.* Оценка ущерба от отказов электрооборудования на животноводческих предприятиях / Ю. С. Борисов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1988. – № 4. – С. 37–40.
12. *Борисов, Ю. С.* Оценка ущерба от отказов электрооборудования в теплицах / Ю. С. Борисов, В. Г. Левашов, Ю. А. Козлов // НТБ по электрификации сельского хозяйства. – М. : ВИЭСХ, 1987. – Вып. 1 (59). – С. 16–23.
13. *Борисов, Ю. С.* Рекомендации по экономической оценке ущербов, наносимых сельскохозяйственному производству отказами электрооборудования / Ю. С. Борисов, Н. Н. Сырых. – М. : АгроНИИТЭИИТО, 1987. – С. 33.
14. *Будзко, И. А.* Электроснабжение сельского хозяйства / И. А. Будзко, Т. Б. Лещинская, В. И. Сукманов. – М. : Колос, 2000. – 536 с.
15. *Гадалов, В. Н.* Оптимизация технического обслуживания оборудования и снижение технологического риска / В. Н. Гадалов, Д. Н. Романенко, О. Н. Болдырева // Технология машиностроения. – 2011. – № 1. – С. 39–41.
16. ГОСТ Р 51901.11–2005. Менеджмент риска. Исследование опасности и работоспособности. Прикладное руководство. – М. : Стандартинформ, 2006. – 42 с.
17. ГОСТ Р 51901.5–2005. Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов. – М. : Стандартинформ, 2005. – 44 с.
18. ГОСТ Р ИСО/ МЭК 31010–2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска. – М. : Стандартинформ, 2012. – 40 с.
19. ГОСТ Р 51901.21–2012. Менеджмент риска. Реестр риска. Общие положения. – М. : Стандартинформ, 2014. – 11 с.
20. ГОСТ Р 51897–2011. Менеджмент риска. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2012. – 11 с.
21. ГОСТ Р 27.607 – 2013. Условия проведения испытаний на безотказность и статистические критерии и методы оценки их результатов. – М. : Стандартинформ, 2015. – 50 с.
22. ГОСТ 27.002–89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М. : Межгосударственный стандарт, 1989. – 24 с.

23. ГОСТ Р 27.601–2011. Надежность в технике. Управление надежностью. Техническое обслуживание и его обеспечение. – М. : Стандартинформ, 2013. – 30 с.
24. ГОСТ Р 27.606–2013. Надежность в технике (ССНТ). Управление надежностью. Техническое обслуживание, ориентированное на безотказность. – М. : Стандартинформ, 2014. – 35 с.
25. ГОСТ Р 55234.3–2013. Практические аспекты менеджмента риска. Процедуры проверки и технического обслуживания оборудования на основе риска. – М. : Стандартинформ, 2014. – 51 с.
26. ГОСТ 18322–78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2007. – 28 с.
27. ГОСТ 53056–2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – М. : Стандартинформ, 2008. – 20 с.
28. ГОСТ Р 55.0.01–2014 / ИСО55000:2014. Управление активами. Общее представление, принципы и терминология. – М. : Стандартинформ, 2015. – 18 с.
29. ГОСТ 55.0.03–2014 / ИСО 55002:2014. Управление активами. Система менеджмента. Руководство по применению ISO 55001. – М.: Стандартинформ, 2015. – 27 с.
30. *Гузачев, А. С.* Применение алгоритмического подхода при модернизации системы технического обслуживания и ремонта электрооборудования в сельскохозяйственном производстве / А. С. Гузачев // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 3. – С. 96–99.
31. *Гузачев, А. С.* SWOT-анализ системы технического обслуживания и ремонта электрооборудования, используемого в сельскохозяйственном производстве / А. С. Гузачев // Научная мысль. – 2016. – № 5. – С. 179–182.
32. *Диллон, Б.* Инженерные методы обеспечения надежности систем / Б. Диллон, Ч. Сингх. – М. : Мир, 1984. – 318 с.
33. *Еремина, Т. В.* Вероятностный анализ безопасности сельских электроустановок : [монография] / Т. В. Еремина. – Улан-Удэ : ВСГТУ, 2010 – 200 с.
34. *Ерошенко, Г. П.* Анализ послеосмотрового способа технической эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве / Г. П. Ерошенко, В. А. Труш-

кин, С. М. Бакиров // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2013. – № 8. – С. 54–56.

35. *Ерошенко, Г. П.* Проблема живучести электрифицированных процессов в сельском хозяйстве / Г. П. Ерошенко, С. М. Бакиров // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 7. – С. 66–68.

36. *Ерошенко, Г. П.* Обоснование корректирования периодичности технического обслуживания электрооборудования в сельском хозяйстве / Г. П. Ерошенко, С. М. Бакиров // Актуальные проблемы энергетики АПК : материалы конф. // IV Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. А. В. Павлова. – Саратов, 2013. – С. 102–107.

37. *Ерошенко, Г. П.* Решение инженерных задач в условиях неопределенности : учеб. пособие / Г. П. Ерошенко, Ю. И. Березнев ; ФГОУ ВПО «Сарат. ГАУ». – Саратов, 2004. – 185 с.

38. *Ерошенко, Г. П.* Эксплуатационная ответственность производственных участков сельскохозяйственных предприятий / Г. П. Ерошенко, С. М. Бакиров // Научное обозрение. – 2010. – № 5. – С. 8–11.

39. *Ерошенко, Г. П.* Эксплуатационные свойства электрооборудования : учеб. пособие / Г. П. Ерошенко ; ФГБОУ ВПО «Сарат. ГАУ». – Саратов, 1984. – 180 с.

40. *Ерошенко, Г. П.* Эксплуатация электрооборудования : учебник / Г. П. Ерошенко, Н. П. Кондратьева. – М., 2014. – 336 с.

41. *Ерошенко, Г. П.* Эксплуатация электрооборудования сельскохозяйственных предприятий : учебник / Г. П. Ерошенко. – М. : Колос, 2005. – 251 с.

42. *Ерошенко, Г. П.* Эксплуатация электрооборудования сельскохозяйственных предприятий : учебник / Г. П. Ерошенко, Ю. А. Медведько, М. А. Таранов. – Ростов н/Д. : Терра, 2006. – 590 с.

43. *Жданов, В. Г.* Повышение надежности и экономичности работы электрооборудования сельскохозяйственных предприятий на основе специализированного автоматизированного рабочего места руководителя электротехнической службы : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / Жданов Валерий Георгиевич. – Ставрополь, 2006. – 166 с.

44. *Зубков, Б. В.* Теория и практика определения рисков в авиапредприятиях при разработке системы управления безопасностью полетов / Б. В. Зубков, В. Д. Шаров ; МГТУ. – М., 2010. – 68 с.
45. *Идрис, И.* Дефекты силовых трансформаторов / И. Идрис, Н. С. Жексембиева // Актуальные проблемы энергетики АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов, 2010. – С. 158–165.
46. *Кац, Б. А.* Информационные технологии как инструмент управления активами промышленного предприятия / Б. А. Кац // Трубопроводная арматура и оборудование. – 2012. – № 2 (59). – С. 95–96.
47. *Комаров, Ю. А.* Проблемы риск-ориентированных подходов для использования в атомной энергетике / Ю. А. Комаров // Безопасность в техносфере. – М. : ИНФРА-М, 2014. – Т. 3, вып. 1. – С. 24–31.
48. Концепция энергетического обеспечения сельскохозяйственного производства в условиях многоукладной экономики. – М., 1995. – 40с.
49. *Костюков, А. Ф.* Основы вероятностного анализа риска электроустановок с учетом фактора неопределенности / А. Ф. Костюков, Н. И. Черкасова, О. К. Никольский // Вестник Алтайского госагроуниверситета. – Барнаул, 2014. – № 3. – С. 102–106.
50. *Кузьмин, И. И.* Концепция безопасности: от риска «нулевого» – к «приемлемому» / И. И. Кузьмин, Д. А. Шапошников // Вестник РАН. – 1994. – Т. 64 ; № 5. – С. 402–408.
51. *Лезнов, С. Н.* Обслуживание электрооборудования электростанций и подстанций / С. Н. Лезнов, А. А. Тайц. – М. : Высш. шк., 1980. – 301 с.
52. *Малкин, В. С.* Надежность технических систем и техногенный риск / В. С. Малкин. – Ростов н/Д. : Феникс, 2010. – 342 с.
53. Методические рекомендации по экономической оценке ущербов, наносимых сельскохозяйственному производству отказами электрооборудования / Всерос. институт электрификации сельского хозяйства. – М. : ВИЭСХ. 1987. – 35 с.

54. Методические указания по организации эксплуатации энергетического оборудования в колхозах, совхозах и других сельскохозяйственных предприятиях. – М.; зерноград : ВНИПТИМЭСХ, 1980. – 180 с.

55. *Могузов, В. Ф.* Обслуживание силовых трансформаторов / В. Ф. Могузов. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 192 с.

56. Надежность и эффективность в технике : справочник : В 10 т. Т. 10 : Справочные данные по условиям эксплуатации и характеристикам надежности / под общ. ред. В. А. Кузнецова. – М. : Машиностроение, 1990. – 336 с.

57. *Назарычев, А. Н.* Совершенствование системы ремонтов электрооборудования электростанций и подстанций с учетом технического состояния : дис. ... д-ра техн. наук : 05.14.02 / Назарычев Александр Николаевич. – Иваново, 2005. – 390 с.

58. Научно-методические аспекты анализа аварийного риска / В. Г. Горский, Г. А. Моткин, В. А. Петрунин. – М. : Экономика и информатика, 2002. – 260 с.

59. *Некрасов, А. А.* Повышение эксплуатационной надежности электродвигателей в сельскохозяйственном производстве : дис. ... канд. техн. наук : 02.20.02 / Некрасов Антон Алексеевич. – М., 2015. – 132 с.

60. *Никитин, А. М.* Совершенствование технического обслуживания и ремонта судовых энергетических установок на основе анализа рисков : дис. ... д-ра техн. наук : 05.08.05 / Никитин Александр Мстиславович. – СПб., 2007. – 170 с.

61. Нормативно-справочные материалы для экономической оценки сельскохозяйственной техники. – М. : ЦНИИТЭИ, 1983. – 297 с.

62. *Онищенко, В. Я.* Классификация и сравнительная оценка факторов риска / В. Я. Онищенко // Безопасность труда в промышленности. – 1995. – № 7. – С. 23–27.

63. Основные принципы оценивания и нормирования приемлемого техногенного риска / И. Л. Можяев [и др.] // Безопасность труда в промышленности. – 2004. – № 8. – С. 45–50.

64. О составе затрат и единичных нормах амортизационных отчислений. – М. : Финансы и статистика, 1995. – 208 с.

65. Отраслевая специфика проектов ERP в России. URL : – Режим доступа : <http://www.tadviser.ru/index.php/> (дата обращения: 15.03.2016).

66. Оценка ущерба от отказов электрооборудования линии первичной обработки молока / Ю. С. Борисов [и др.] // НТБ по электрификации сельского хозяйства. – М. : ВИЭСХ, 1986. – Вып. 3 (58). – С. 39–46.

67. Павлов, В. В. Анализ рисков и оптимизация затрат на техническое обслуживание и ремонт оборудования с использованием методик RBI и RCM / В. В. Павлов, А. Б. Самохвалов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2014. – № 2. – С. 48–51.

68. Пиковский, А. А. Технико-экономические расчеты в энергетике в условиях неопределенности / А. А. Пиковский, В. А. Тарактин. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. – 195 с.

69. Попов, Г. В. Определение индекса технического состояния силовых трансформаторов в процессе их эксплуатации / Г. В. Попов, Е. Б. Игнатъев // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2014. – Вып. 4. – С. 41.

70. Постановление Правительства Саратовской области от 18 июля 2012 г. № 420-П «Об утверждении стратегии социально-экономического развития Саратовской области до 2025 года» // Собрание законодательства Саратовской области. – 2012. – № 25. – С. 52.

71. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации : РД 34.20.501-95. – СПб. : Деан, 2001. – 352с.

72. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – М. : НЦ ЭНАС, 2007. – 304 с.

73. Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов ПБ 10-574-03 / Ростехнадзор России. – М., 2003. – 213с.

74. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – 7-е изд. – М. : Госторгиздат, 2004. – 149 с.

75. Пястолов, А. А. Проблемы эксплуатации сельских электроустановок / А. А. Пястолов, Г. П. Ерошенко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1983. – № 6. – С. 25–27.

76. Распределение ресурсов при риск-ориентированном обслуживании электрооборудования / Г. П. Ерошенко [и др.] // Научное обозрение. – 2017. – № 5. – С. 9–15.

77. Рекомендации по нормативным срокам службы основных видов электрооборудования, используемого в сельскохозяйственном производстве. – М. : ВИЭСХ, 1991. – 185 с.

78. Ремонтно-обслуживающая база энергетических служб в сельском хозяйстве : рекомендации / ВНИПИМЭСХ. – зерноград, 1983. – 50 с.

79. Ресурсосбережение при технической эксплуатации сельскохозяйственной техники: в 2 ч. – М. : Росинформагротех, 2001. – Ч. 1. – 360 с.

80. *Сырых, Н. Н.* Повышение надежности электрифицированных технологических процессов Текст. / Н. Н. Сырых // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1985. – № 8. – С. 46–50.

81. Силовые трансформаторы : справочная книга / под ред. С. Д. Лизунова, А. К. Лоханина. – М. : Энергоиздат, 2004. – 616 с.

82. Система планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования, используемого в сельском хозяйстве (ППРЭСХ). – Косино : ВНИЭТУСХ, 1982. – 296 с.

83. Система планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования сельскохозяйственных предприятий. – М. : Агропромиздат, 1987. – 191 с.

84. Справочник инженера-электрика сельскохозяйственного производства : учеб. пособие. – М. : Информагротех, 1999. – 536 с.

85. *Сырых, Н. Н.* Направления развития системы эксплуатации электроустановок в новых условиях сельскохозяйственного производства / Н. Н. Сырых, А. И. Некрасов // Науч.тр. ВИЭСХ. – 1995. – Т. 82. –С. 3–12.

86. *Сырых, Н. Н.* Обоснование основных параметров стратегии обслуживания электрооборудования по его фактическому состоянию / Н. Н. Сырых, А. И. Некрасов, А. А. Некрасов // Вестник ГНУ ВИЭСХ. – М, 2009. – С. 101–106. – (Серия «Энергетика и электротехнологии в сельском хозяйстве» ; вып. 1 (4)).

87. *Сырых, Н. Н.* Организация эксплуатации электрооборудования в животноводстве / Н. Н. Сырых, Ю. С. Борисов. – М. : Росагропромиздат, 1990. – 77с.

88. *Сырых, Н. Н.* Разработка ресурсосберегающих стратегий технического обслуживания электрооборудования в сельском хозяйстве / Н. Н. Сырых, А. А. Некрасов // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве : тр. / V Междунар. науч.-техн. конф., 16–17 мая 2006. – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2006. – Ч. 3. – С. 342–350.

89. *Сырых, Н. Н.* Теоретические основы эксплуатации электрооборудования / Н. Н. Сырых, Н. Е. Кабдин. – М. : Агробизнесцентр, 2007. – 514с.

90. *Сырых, Н. Н.* Техническое обслуживание электрооборудования в сельском хозяйстве / Н. Н. Сырых, В. С. Чекрыгин, С. А. Калмыков. – М. : Россельхозиздат, 1980. – 224 с.

91. *Сырых, Н. Н.* Эксплуатация электрооборудования в сельскохозяйственном производстве : обзорная информация / Н. Н. Сырых. – М., 1981. – 68 с.

92. *Трушкин, В. А.* Анализ перспективных стратегий ТО и Р электрооборудования сельскохозяйственного производства / В. А. Трушкин, А. С. Гузачёв // Актуальные проблемы энергетики АПК : матер. VII Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. В. А. Трушкина. – Саратов, 2016. – С. 224–229.

93. *Трушкин, В. А.* Необходимость повышения эксплуатационной надежности трансформаторных подстанций / В. А. Трушкин, С. В. Шлюпиков, С. А. Кифарак // Актуальные проблемы энергетики АПК : материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. В. А. Трушкина. – Саратов, 2015. – С. 295–297.

94. *Трушкин, В. А.* Планово-предупредительный ремонт и техническое обслуживание как основа концепции повышения надежности электрооборудования / В. А. Трушкин, А. С. Гузачёв // Специалисты АПК нового поколения. – Саратов, 2012. – С. 54–56.

95. *Трушкин, В. А.* Совершенствование методики оценки технологического ущерба от отказа электрооборудования в растениеводческих и тепличных комплексах / В. А. Трушкин, А. С. Гузачёв // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 1. – С. 30–35.

96. Федеральная служба государственной статистики. URL. – Режим доступа : <http://www.gks.ru> (дата обращения 10.01.2016).

97. *Федосенко, Р. Я.* Эксплуатационная надежность электросетей сельскохозяйственного назначения / Р. Я. Федосенко, А. Я. Мельников. – М. : Энергия, 1977. – 320 с.

98. *Хабардин, В. Н.* Современные направления развития технического обслуживания машин / В. Н. Хабардин // Техника в сельском хозяйстве.– 2009. – № 5. – С. 28–30.

99. *Хенли, Э. Дж.* Надежность технических систем и оценки риска / Э. Дж. Хенли, Х. Кумамото. – М. : Машиностроение, 1984. – 168 с.

100. *Хорольский, В. Я.* Техничко-экономическое обоснование дипломных проектов: учеб. пособие / В. Я. Хорольский, М. А. Таранов, Д. В. Петров. – Ростов-на-Дону: Терра, 2004. – 167 с.

101. *Царев, И. Б.* Прогнозирование резерва запасных элементов специализированных предприятий районного уровня по ремонту электродвигателей в АПК : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / Царев И. Б. – Челябинск, 2009. – 20 с.

102. *Шлюпиков, В. В.* Совершенствование диагностирования масла трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ, эксплуатируемых в сельском хозяйстве : 05.20.02 / Шлюпиков Сергей Владимирович. – Саратов, 2016. – 136 с.

103. *Шор, Я. Б.* Таблицы анализа и контроля надежности / Я. Б. Шор, Ф. Я. Кузьмин. – М. : Советское радио, 1968. – 284 с.

104. *Шишмарев В. Ю.* Надежность технических систем : учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. Ю. Шишмарев. – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 304 с.

105. Экспертная оценка относительного риска эксплуатации объектов газовой промышленности для установления очередности обслуживания и ремонта трубопроводов : науч.-техн. сб. / В. Д. Шапиров [и др.]. – М. : Нефтяник, 1996. – 235 с.

106. Эксплуатация и ремонт электроустановок / А. А. Пястолов [и др.]. – М. : Колос, 1984. – 271 с.
107. Энергетическая стратегия сельского хозяйства России на период до 2020 года. – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2009. – 64 с.
108. Ящура, А. И. Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования : справочник / А. И. Ящура. – М. : НЦ ЭНАС, 2006. – 268 с.
109. American Petroleum Institute. API RP 581 2ndEd.Sept. 2008 – Risk-Based Inspection Technology. API Publishing Services. – Washington, 2008. – 607 p.
110. API581. Risk-Based Inspection. Base Resource Document, First Edition, 2000.
111. Booth, B. Practical Risk Assessment / B. Booth // Tampere University of Technology, Occupational Safety Engineering : Seminar. – 1994. – 14 p.
112. Guidance Notes on Reliability-Centered Maintenance. – Houston: ABS, 2004. – 154p.
113. Khan, F. Risk-based maintenance (RBM) : a quantitative approach for maintenance inspection scheduling and planning / F. Khan, M. Haddara // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2003. – Vol. 16. – № 6. – P. 561–573.
114. Mohammad Zare Ernani1. Faculty of Electrical and Computer Engineering / Mohammad Zare Ernani1, AsgharAkbari Azirani1. K.N.T university of Technology. A Method Based on Analytical Hierarchy Process for Generator Risk Assessment. Proceedings of the 2010 International Conference on Condition. Monitoring and Diagnosis, September 6–11. – Tokyo : Japan, 2010. – 245 p.
115. Moubray, J. Reliability-centered Maintenance. Second Edition / J. Moubray. – NY: Industrial Press Inc, 1997. – 426 p.
116. Nowlan, F. S. Reliability-centered Maintenance / F. S. Nowlan, H. F. Heap. – San Francisco : Dolby Access Press, 1978. – 466 p.
117. Operational Risk Management. Commandant Instruction 3500.3. – S Coast Guard, 1999. – 63 p.
118. Ravish, P. Y. Mehairjan, QikaiZhuang, DhiradjDjairam, Johan J. Smit. High Voltage Technology & Asset Management. Delft University of Technology. Improved

Risk Analysis Through Failure Mode Classification According to Occurrence Time. IEEE International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, 23–27 September 2012. – Bali, Indonesia, 2012. – 348 p.

119. Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment. – NASA, 2000. – 348 p.

120. Risk Management. Practical techniques to minimise exposure to accidental losses. Staff of Jardine Glanvill (UK) Ltd. – London, WIN 4 AB, 1986. – 60 p.

121. *Smith, A. M.* Reliability Centered Maintenance / A. M. Smith. – New York: McGraw-Hill, Inc., 1993. – 201 p.

122. *Wilcox, R.* Risk-Informed Regulation of Marine Systems using FMEA / R. Wilcox. – Washington : US Cost Guard Marine Safety Center, 2001. – 6 p.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица – Сопоставление функций программного модуля TRIM с процессами риск-ориентированной стратегии ТО и Р

№	Функции программного модуля TRIM	Процессы риск-ориентированной стратегии ТО и Р
1	Ведение справочника – структура штатного расписания	Формирование штатного расписания
2	Ведение справочника – исполнители работ	Расчет числа электромонтеров
3	Ведение справочника – классификация работ	Формирование структуры ремонтного цикла
4	Ведение справочника – дефекты и их виды: классификация, причины, последствия, этапы обнаружения, архив дефектов	Ведение журнала отказов электрооборудования
5	Ведение каталога видов оборудования	Паспортизация электрооборудования
6	Ведение списка технологических параметров	Учет технико-экономических показателей работы электрооборудования
7	Ввод и использование данных по календарным периодичностям	Определение периодичности ТО и Р
8	Управление деревом производственных объектов	Выделение производственных участков
9	Автоматизация формирования плана-графика (таблица, диаграмма Ганта)	Построение годового плана-графика работ по ТО и Р электрооборудования
10	Планирование работ по ТО и Р выбранного объекта	Планирование работ по ТО и Р электрооборудования
11	Планирование работ в соответствии с ранжированием электрооборудования	Планирование ТО и Р по уровню риска
12	Определение плановых затрат, учет фактических затрат	Учет эксплуатационных затрат
13	Определение плановой и фактической трудоемкости работ	Учет трудоемкости работ

№	Функции программного модуля TRIM	Процессы риск-ориентированной стратегии по ТО и Р
14	Определение потребности в МТР из графика работ	Разработка РОБ ЭТС
15	Автоматическое ведение формуляров на каждый объект ТОиР с полной историей работ, дефектов, замен запчастей, наработки, параметров и др.	Ведение технической документации
16	Ведение списка запасных частей, материалов, торговых наименований, чертежей, фирм и др.	Учет ресурсов ТО и Р
17	Формирование отчетов, используемых для организации и проведения ТОиР, с выводом их на печать	Анализ плана-графика ТО и Р
18	Измерение показателей эффективности для оценки состояния процессов эксплуатации, обслуживания и ремонта оборудования и принятия решений по их улучшению	Оценка эффективности ТО и Р
19	Имитационное моделирование состояния и надежности оборудования, расчет интенсивности отказов, плотности вероятности, функции выживаемости, расчет рисков, оптимизация затрат на ТОиР, оценка эффективности использования оборудования.	Оценка и учет технико-экономических показателей работы электрооборудования

«УТВЕРЖДЕНО»

ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ

Проректор по научной и
инновационной работе

И.Л. Воротников

«13» апреля 2018 г.



«СОГЛАСОВАНО»

ООО «НПП «СпецТек»

Генеральный директор

В.И. Иорш

«13»

апреля 2018 г.



АКТ

**о внедрении программы планирования работ по техническом
обслуживанию и ремонту электрооборудования на основе
риск-ориентированной стратегии в программный комплекс TRIM**

Настоящим актом подтверждается, что в нашей компании тщательно изучены основные положения исследований Гузачёва А.С., а именно теоретическое обоснование методики оценки риска в сельскохозяйственном производстве, оптимального распределения ресурсов и эксплуатационных затрат на техническую эксплуатацию электрооборудования и корректировании периодичности его обслуживания на основе риск-ориентированной стратегии.

В рамках соглашения о сотрудничестве, заключенным между ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ и ООО «НПП «СпецТек», осуществлена поддержка по реализации предлагаемой Гузачёвым А.С. риск-ориентированной стратегии на базе программного комплекса TRIM.

Результаты проекта (диссертационного исследования) использованы нашей компанией при разработке отраслевого модуля информационной системы TRIM для применения в сельскохозяйственном производстве в целях адаптации к условиям эксплуатации.

Представители сторон:

ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ

к.т.н., доц.: В.А. Трушкин

«13» апреля 2018 г.



ООО «НПП «СпецТек»

Инженер отдела консалтинга

Р.В. Иорш

«13»

апреля 2018 г.



Электрооборудование основных электрифицированных процессов ПУ «Отделение теплиц»

№	Наименование электрооборудования	Количество
Электродосвечивание		
Осветительные устройства		
1	Досветка REFLUX 600	4480
2	Светильники GreenPower 600W/400V	420
Элементы автоматики		
1	Датчики освещенности	8
2	ЩУД	4
Подкормка		
Электродвигатели		
1	АИР 0,75 кВт, 3000 об/мин	4
2	АИР 112М2 7,5 кВт, 3000 об/мин	8
3	АИР 0,55 кВт, 3000 об/мин	4
4	АИР 5,5 кВт, 3000 об/мин	8
5	АИР 4 кВт, 3000 об/мин	32
6	АИР 15 кВт, 3000 об/мин	12
Элементы автоматики		
1	Газовый клапан с сервоприводом (серии VR400)	4
2	Электромагнитный клапан SMART SG5532 18 ВТ	24
3	Датчики рН	4
4	Датчики уровня воды	4
5	Контроллер управления поливом	4
6	Датчики CO ₂	8
Обеспечение микроклимата		
Электродвигатели		
1	АИР РЗК 1,5 кВт, 1500 об/мин	12
2	АИР 5,5 кВт, 3000 об/мин	8
3	АИР 7,5 кВт, 3000 об/мин	8

№	Наименование электрооборудования	Количество
4	АИР 0,55 кВт, 1500 об/мин	4
5	АИР 1,1 кВт, 1500 об/мин	44
6	АИР 4 кВт, 3000 об/мин	8
7	АИР 1,5 кВт, 3000 об/мин	136
8	АИР100L6 2,2 кВт, 1000 об/мин	8
Элементы автоматики		
1	Датчики температуры	12
2	Датчики влажности	8
3	Датчики температуры теплоносителя	8
4	Датчик давления теплоносителя	8
5	Электропривод клапана, 18 Вт	32
6	Датчики скорости и направления ветра	8
7	Контроллер управления микроклиматом	4

№	Наименование электрооборудования	Количество, шт.	Периодичность обслуживания		Интенсивность отказов	Ущерб	Величина риска	Уровень риска
			ТО	ТР				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Электродосвечивание								
Осветительные устройства								
1	Досветка REFLUX 600	2890	3	12	0,12	98250	11898,8	R^H
2	Светильники GreenPower 600W/400V	246	3	12	0,11	15690	1785,9	R^H
Элементы автоматики								
1	Датчики освещенности	6	6	24	0,01	0	0	R^H
2	ЩУД	2	6	24	0,01	0	0	R^H
Подкормка								
Электродвигатели								
1	АИР 0,75 кВт, 3000 об/мин	2	1,5	14	0,01	0	0	R^H
2	АИР 112М2 7,5 кВт, 3000 об/мин	6	1,5	14	0,5	125530	62765	R^B
3	АИР 0,55 кВт, 3000 об/мин	2	1,5	14	0,01	0	0	R^H
4	АИР 5,5 кВт, 3000 об/мин	6	1,5	14	0,5	210236	105118	R^B

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	АИР 4кВт, 3000 об/мин	28	1,5	14	0,29	22630	6465,7	R^B
6	АИР 15кВт, 3000 об/мин	10	1,5	14	0,4	156230	62492	R^B
Элементы автоматики								
1	Газовый клапан с сервоприводом (серии VR400)	2	3	12	0,01	0	0	R^H
2	Электромагнитный клапан SMART SG5532 18 BT	20	3	12	0,6	21630	12978	R^C
3	Датчики рН	2	6	24	0,5	2900	1450	R^H
4	Датчики уровня воды	2	6	24	0,01	0	0	R^H
5	Контроллер управления поливом	2	3	12	0,01	0	0	R^H
6	Датчики давления CO ₂	6	6	24	0,33	3950	1316,6	R^H
Обеспечение микроклимата								
Электродвигатели								
1	АИР РЗК 1,5 кВт, 1500 об/мин	10	1,5	14	0,7	18960	13272	R^C
2	АИР 5,5 кВт, 3000 об/мин	7	1,5	14	0,57	178560	102034	R^B
3	АИР 7,5 кВт, 3000 об/мин	6	1,5	14	0,67	126850	84567	R^B
4	АИР 0,55 кВт, 1500 об/мин	2	1,5	14	0,5	3560	1780	R^C

Продолжение приложения 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	АИР 1,1 кВт, 1500 об/мин	36	1,5	14	0,2	0	0	R^H
6	АИР 4 кВт, 3000 об/мин	6	1,5	14	0,3	90000	30000	R^C
7	АИР 1,5 кВт, 3000 об/мин	120	1,5	14	0,01	0	0	R^H
8	АИР100L6 2,2 кВт, 1000 об/мин	7	1,5	14	0,01	0	0	R^H
Элементы автоматики								
1	Датчики температуры	8	6	24	0,5	3650	1825	R^C
2	Датчики влажности	6	6	24	0,01	0	0	R^H
3	Датчики температуры теплоносителя	6	6	24	0,5	1680	840	R^H
4	Датчик давления теплоносителя	6	6	24	0,01	0	0	R^H
5	Электропривод клапана, 18 Вт	22	6	24	0,36	6 930	2520	R^C
6	Датчики скорости и направления ветра	6	6	24	0,01	0	0	R^H
7	Контроллер управления микроклиматом	2	6	24	0,5	110100	55050	R^B

№	Наименование электрооборудования	Количество, шт.	Периодичность обслуживания		Интенсивность отказов	Ущерб	Величина риска	Уровень риска
			ТО	ТР				
1	2	3	4	5	6	9	8	9
Электродосвечивание								
Осветительные устройства								
1	Досветка REFLUX 600	2890	–	–	0,07	30560	2139,2	R ^H
2	Светильники GreenPower 600W/400V	246	–	–	0,10	10250	1025	R ^H
Элементы автоматики								
1	Датчики освещенности	6	–	–	0,01	0	0	R ^H
2	ЩУД	2	–	–	0,01	0	0	R ^H
Подкормка								
Электродвигатели								
1	АИР 0,75 кВт, 3000 об/мин	2	–	–	0,01	0	0	R ^H
2	АИР 112М2 7,5 кВт, 3000 об/мин	6	1	10,5	0,33	95175	31407,8	R ^B
3	АИР 0,55 кВт, 3000 об/мин	2	–	–	0,5	10850	5425	R ^H
4	АИР 5,5 кВт, 3000 об/мин	6	0,7	8	0,3	141900	42570	R ^B

Продолжение приложения 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	АИР 4 кВт, 3000 об/мин	28	1,5	14	0,18	10692	1924,56	R^B
6	АИР 15 кВт, 3000 об/мин	10	1	10,5	0,2	25690	5138	R^B
Элементы автоматики								
1	Газовый клапан с сервоприводом (серии VR400)	2	–	–	0,01	0	0	R^H
2	Электромагнитный клапан SMART SG5532 18 ВТ	20	3	12	0,5	10650	5325	R^C
3	Датчики рН	2	–	–	0,01	0	0	R^H
4	Датчики уровня воды	2	–	–	0,5	10960	5480	R^H
5	Контроллер управления поливом	2	–	–	0,5	290630	145315	R^H
6	Датчики давления CO ₂	6	–	–	0,33	1970	650,1	R^H
Обеспечение микроклимата								
Электродвигатели								
1	АИР РЗК 1,5 кВт, 1500 об/мин	10	1,5	14	0,01	0	0	R^C
2	АИР 5,5 кВт, 3000 об/мин	7	0,7	8	0,29	83400	24186	R^B
3	АИР 7,5 кВт, 3000 об/мин	6	1	10,5	0,17	10360	1761,2	R^B

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	АИР 0,55 кВт, 1500 об/мин	2	1,5	14	0,01	0	0	R^c
5	АИР 1,1 кВт, 1500 об/мин	36	–	–	0,44	24560	10806,4	R^H
6	АИР 4 кВт, 3000 об/мин	6	1,5	14	0,67	205630	137772	R^c
7	АИР 1,5 кВт, 3000 об/мин	120	–	–	0,29	7630	2212,7	R^H
8	АИР100L6 2,2 кВт, 1000 об/мин	7	–	–	0,57	25690	14643,3	R^H
Элементы автоматики								
1	Датчики температуры	8	6	24	0,37	2180	806,6	R^c
2	Датчики влажности	6	–	–	0,01	0	0	R^H
3	Датчики температуры теплоносителя	6	–	–	0,5	1680	840	R^H
4	Датчик давления теплоносителя	6	–	–	0,01	0	0	R^H
5	Электропривод клапана, 18 Вт	22	6	24	0,48	81 930	39326,4	R^c
6	Датчики скорости и направления ветра	6	–	–	0,01	0	0	R^H
7	Контроллер управления микроклиматом	2	3	10	0,01	0	0	R^B

03.03.2018

ГОДОВОЙ ПЛАН-ГРАФИК РАБОТ ЗА ПЕРИОД от 20.01.2016 по 20.01.2017


Саратов / Система ТОиР

№ п/п	Код ТМ Наименование ТМ	Количество ТМК	2016 год												Количество			
			январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	ТО	ТР		
1	01.01 Досветка REFLUX 600	2890	План														0	0
			Факт															
2	01.02 Светильники GreenPower 600W/400V	246	План														0	0
			Факт															
3	01.03 Датчики освещенности	6	План														0	0
			Факт															
4	01.04 ЩУД	2	План														0	0
			Факт															
5	01.05 Электродвигатель АИР 0,75 кВт, 3000 об/мин	2	План														0	0
			Факт															
6	01.06 Электродвигатель АИР 112М2 7,5кВт, 3000 об/мин	6	План			ТО						ТР				6	6	
			Факт			ТО							ТР					
7	01.07 Электродвигатель АИР 0,55 кВт, 3000 об/мин	2	План														0	0
			Факт															
8	01.08 Электродвигатель АИР 5,5 кВт, 3000 об/мин	6	План	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТР	ТО	ТО	ТО	102	6	
			Факт	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТР	ТО	ТО	ТО			
9	01.09 Электродвигатель АИР 4кВт, 3000 об/мин	28	План	ТО	ТО		ТО		ТО		ТО		ТО		ТО	224	8	
			Факт	ТО	ТО		ТО		ТО		ТО		ТО		ТО			
10	01.10 Электродвигатель АИР 15кВт, число оборотов 3000 об/мин	10	План				ТО				ТР				10	0		
			Факт				ТО					ТР						
11	01.11 Газовый клапан с сервоприводом (се-рии СЕРИЯ VR400)	2	План													0	0	
			Факт															
12	01.12 Электромагнитный клапан SMART SG5532 18 ВТ	20	План		ТР		ТО			ТО		ТР	ТО		ТО	60	20	
			Факт		ТР		ТО			ТО		ТР	ТО		ТО			
13	01.13 Датчики PH	2	План													0	0	
			Факт															
14	01.14 Датчики уровня воды	2	План													0	0	
			Факт															
15	01.15 Контроллер управления поливом	2	План													0	0	
			Факт															
16	01.06 Датчики давления СО2	6	План													0	0	
			Факт															
17	02.03 Электродвигатель АИР РЗК 1,5 кВт, 1500 об/мин	10	План	ТО	ТО		ТО		ТО	ТР	ТО		ТО		ТО	80	3	
			Факт	ТО	ТО		ТО		ТО	ТР	ТО		ТО		ТО			
18	02.04 Электродвигатель АИР 5,5 кВт, 3000 об/мин	7	План	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТР	ТО	ТО	ТР	119	7	
			Факт	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТР	ТО	ТО	ТР			
19	02.05 Электродвигатель АИР 7,5 кВт, 3000 об/мин	6	План	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТР	72	6	
			Факт	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТР			
20	02.06 Электродвигатель АИР 0,55 кВт, 1500 об/мин	2	План	ТО	ТО		ТО		ТО		ТО		ТО		ТО	16	0	
			Факт	ТО	ТО		ТО		ТО		ТО		ТО		ТО			
21	02.07 Электродвигатель АИР 1,1 кВт, 1500 об/мин	36	План													0	0	
			Факт															
22	02.08 Электродвигатель АИР 4 кВт, 3000 об/мин	6	План	ТО	ТО		ТО		ТО		ТО		ТО		ТО	8	0	
			Факт	ТО	ТО		ТО		ТО		ТО		ТО		ТО			
23	03.01 Электродвигатель АИР 1,5кВт, 3000 об/мин	120	План													0	0	
			Факт															
24	03.02 Электродвигатель АИР100L6 2,2 кВт, 1000 об/мин	7	План													0	0	
			Факт															
25	03.04 Датчики температуры	8	План		ТО								ТО		16	0		
			Факт		ТО								ТО					
26	03.05 Датчики влажности	6	План												0	0		
			Факт															
27	03.06 Датчики температуры теплоносителя	6	План												0	0		
			Факт															
28	04.01 Датчик давления теплоносителя	6	План												0	0		
			Факт															
29	04.02 Электропривод клапана, 18 Вт	22	План		ТО								ТО		44	0		
			Факт		ТО								ТО					
30	04.03 Датчики скорости и направления ветра	6	План												0	0		
			Факт															
31	04.04 Контроллер управления микроклима-том	2	План		ТР		ТО			ТО		ТР	ТО		ТО	8	2	
			Факт		ТР		ТО			ТО		ТР	ТО		ТО			

ГОДОВОЙ ПЛАН-ГРАФИК РАБОТ ЗА ПЕРИОД от 20.01.2016 по 20.01.2017

«УТВЕРЖДАЮ»

Университет

Проректор по научной и инновационной
работе
И.Л. Воротников

«06» февраля 2015 г.

«СОГЛАСОВАНО»

АО «Совхоз-Весна»

Заместитель генерального директора
по техническим вопросам
Е.А. Жбанов

«06» февраля 2015 г.

АКТ

о внедрении и производственной проверке риск-ориентированной стратегии
технического обслуживания и ремонта электрооборудования на предприятии

Комиссия в составе представителей АО «Совхоз-Весна»: главного энергетика хозяйства Лукашенко А.И.; главного теплотехника Решетова С.А. и представителей ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ»: заведующего кафедрой «Инженерная физика, электрооборудование и электротехнологии», к.т.н., доцента Трушкина В.А., к.т.н. доцента М.А. Левина, аспиранта Гузачева А.С. составили настоящий акт о том, что в соответствии с договором о филиале кафедры № 28 от 8 февраля 2012 г. на предприятии АО «Совхоз-Весна» с 20 февраля 2015 г. по 25 ноября 2016 г. проводилась производственная проверка риск-ориентированной стратегии технического обслуживания и ремонта электрооборудования.

Внедрение риск-ориентированной стратегии производилось на основе программного комплекса TRIM в соответствии с алгоритмом формирования плана-графика работ по ТО и Р. На предприятии была произведена паспортизация электрооборудования и перерасчет затрат на его эксплуатацию, внесены изменения в план-график ТО и Р, а именно скорректированы периодичности профилактических работ.

В результате внедрения риск-ориентированной стратегии на производстве установлено, что ее использование позволяет повысить надежность электрооборудования – снизить число отказов на 9 %; и экономичность его работы – снизить суммарный ущерб на 10 % и суммарный риск на 13 %.

Таким образом, производственная проверка показала целесообразность применения риск-ориентированной стратегии в тепличном производстве.

Представители сторон:

ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ


к.т.н., доцент


В.А. Трушкин

к.т.н., доцент


М.А. Левин

аспирант



А.С. Гузачев

АО «Совхоз-Весна»

Главный энергетик


А.И. Лукашенко

Главный теплотехник


С.А. Решетов