

На правах рукописи

Гузачёв Александр Сергеевич

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО  
ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ  
В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ  
НА ОСНОВЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СТРАТЕГИИ  
(на примере тепличного производства)

Специальность 05.20.02 –Электротехнологии  
и электрооборудование в сельском хозяйстве

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Саратов 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова».

- Научный руководитель:** **Трушкин Владимир Александрович**,  
кандидат технических наук, доцент
- Официальные оппоненты:** **Буторин Владимир Андреевич**,  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Электрооборудование  
и электротехнологии» ФГБОУ ВО  
«Южно-Уральский государственный  
аграрный университет»
- Жданов Валерий Георгиевич**  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Электроснабжение  
и эксплуатация электрооборудования»  
ФГБОУ ВО «Ставропольский  
государственный аграрный университет»
- Ведущая организация:** ФГБНУ «Федеральный  
научный агроинженерный центр ВИМ»  
(г. Москва)

Защита диссертации состоится « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г. в 12.00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.061.03 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова» по адресу: 410056, г. Саратов, ул. Советская, 60, ауд. 325.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ и на сайте [www.sgau.ru](http://www.sgau.ru).

Отзывы направлять ученому секретарю диссертационного совета по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1.

E-mail: [chekmarev.v@yandex.ru](mailto:chekmarev.v@yandex.ru).

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Чекмарев  
Василий Васильевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**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  $\lambda$  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 их профессионального опыта, без комплексного научного подхода предприятие не сможет 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 хозяй-

стве 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 учётом 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 127 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.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы и изложены основные научные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** «Анализ состояния эксплуатации электрооборудования на сельскохозяйственных предприятиях и постановка задач исследования» приведена общая характеристика изучаемой проблемы, выбрано направление и обоснованы основные задачи исследования.

Как видно из анализа, уровень электрификации крупных сельскохозяйственных предприятий Саратовской области находится в диапазоне от 0,08 до 0,51 о.е. Это свидетельствует о том, что на них задействовано значительное количество электроустановок. В структуре ремонтируемого электрооборудования преобладают электроприводы – 32,4 %, электронагревательные установки – 20,3 %, силовые трансформаторы – 18,9 %.

Согласно существующей статистике, использование информационных технологий в сельском хозяйстве Российской Федерации находится на низком уровне. Так, в 2015 г. на долю АПК приходилось лишь 2,6 % из 650 информационных проектов, применяемых в различных отраслях промышленности.

Изучению способов технической эксплуатации посвящены исследования: А.А. Пястолова, Н.Н. Сырых, Г.П. Ерошенко, А.И. Некрасова, А.А. Некрасова, М.А. Таранова, Ю.А. Медведько, Г.Н. Назарова, А.Н. Назарычева, Ю.С. Борисова, В.Я. Хорольского.

Перспективным направлением исследований является применение риск-ориентированной стратегии технического обслуживания и ремонта электрооборудования в сельском хозяйстве и информационных технологий для автоматизации процесса планирования профилактических работ.

Во **второй главе** «Теоретическое обоснование риск-ориентированной стратегии технического обслуживания и ремонта электрооборудования» обосновано понятие риска и методики его оценки с учетом особенностей сельского хозяйства.

Риск в условиях сельскохозяйственного производства предложено определять по следующей формуле:

$$R = V_3 \lambda_3, \quad (1)$$

где  $V_3$  – экономический ущерб от отказа электрооборудования;  $\lambda_3$  – эксплуатационная интенсивность отказов.

Для расчета риска в условиях тепличного предприятия рассмотрены составляющие выражения (1).

Первая составляющая риска – экономический ущерб  $V_3$ , характеризует отраслевые особенности сельскохозяйственного производства и определяется как сумма технологического ущерба  $V_T$  и ущерба, обусловленного заменой (ремонтом) электрооборудования  $V_p$ , вышедшего из строя:

$$V_3 = V_T + V_p. \quad (2)$$

Технологический ущерб  $V_T$ , на который приходится до 80 % от общего экономического ущерба, определяется по формуле:

$$V_T = \pi_n \frac{\pi_o}{100\%} \gamma (t_\phi - t_d) \text{СЦ}, \quad (3)$$

где  $\pi_n$  – плановый выход продукции, кг/м<sup>2</sup>;  $\pi_o$  – удельный объем недополученной продукции с 1 м<sup>2</sup> в зависимости от стадии развития растений;  $\gamma$  – удельный недовыпуск основной продукции (в случае, если отказ электрооборудования проходит в период плодоношения культур) в зависимости от планового в результа-



те простоя электрооборудования сверхдопустимой длительности,  $ч^{-1}$ ;  $t_{\phi}$  – фактическая продолжительность простоя, ч;  $t_{д}$  – допустимая продолжительность простоя, ч;  $S$  – площадь,  $м^2$ ;  $Ц$  – цена единицы основной продукции, руб./кг.

В связи с тем, что методика определения экономического ущерба в сельском хозяйстве была разработана при плановой экономике, а также в целях повышения точности в нее внесены следующие изменения:

1. Произведен перерасчет величины удельного недовыпуска продукции  $\pi_0$  с учетом современных данных о среднесуточных объемах тепличного производства.

2. Определены значения допустимой продолжительности простоя  $t_{д}$ , так как в указанной методике они усреднены и не учитывают стадию развития биологического объекта, а также тип выращиваемой культуры.

3. Выполнен расчет фактической продолжительности простоя  $t_{\phi}$  с корректировкой на случайную погрешность измерений на основе распределения Стьюдента.

4. Проведена оценка технологического ущерба  $V_T$  в соответствии с рыночными и закупочными ценами.

Вторая составляющая риска – эксплуатационная интенсивность отказов  $\lambda_3$ , характеризует условия эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве и учитывает компенсирующие и дестабилизирующие воздействия на него:

$$\lambda_3 = \lambda_6 K_{вл_1} K_{вл_2} \dots K_{вл_i}, \quad (4)$$

где  $\lambda_6$  – базовая интенсивность отказов;  $K_{вл_1} K_{вл_2} \dots K_{вл_i}$  – коэффициенты влияния факторов эксплуатации.

Для учета  $i$ -х коэффициентов влияния используют формулу:

$$K_{вл_i} = \beta_i^{\rho_i}, \quad (5)$$

где  $\beta_i$  – значение  $i$ -го фактора в долях от базового;  $\rho_i$  – коэффициент чувствительности отказов к изменению факторов.

Чтобы оценить значение фактора «качество технической эксплуатации»  $\alpha_4$ , введен количественный коэффициент  $e$ , характеризующий положительный эффект от снижения доли отказов за счет применяемой стратегии технического обслуживания и ремонта:

$$e = 1 - \varphi, \quad (6)$$

где  $\varphi$  – доля снижения отказов.

Коэффициент  $e$  позволяет повысить точность расчета эксплуатационной интенсивности отказов  $\lambda_3$  и количественно оценить влияние используемой стратегии на надежность электрооборудования.

Рассмотренные составляющие позволяют оценить риск  $R$  с учетом отраслевых особенностей производства и условий эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве.

Полученная методика оценки риска дает возможность обосновать оптимальное распределение ресурсов и эксплуатационных затрат, скорректировать периодичность технического обслуживания и текущего ремонта электрооборудования.

Для теоретического обоснования оптимального распределения ресурсов рассмотрены объекты предприятия, каждый из которых характеризуется своим риском  $R_1$  и  $R_2$  и ущербом  $Y_1$  и  $Y_2$ . Интенсивности отказов на объектах одинаковы:

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda. \quad (7)$$

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

$$R_1 + R_2 = \lambda_1 Y_1 + \lambda_2 Y_2 \rightarrow \min. \quad (8)$$

Распределение ресурсов при риск-ориентированном обслуживании осуществляется на этапе планирования профилактических мероприятий с учетом особенностей электрооборудования и условий эксплуатации.

Уравнение изменения суммарного риска  $R_{\Sigma}$  в зависимости от распределения ресурсов примет вид:

$$R_{\Sigma} = \frac{\lambda Y_1}{3_1^{\alpha}} + \frac{\lambda Y_2}{3_2^{\alpha}} = \frac{\lambda Y_1}{\left(\frac{K}{1+K} 3\right)^{\alpha}} + \frac{\lambda Y_2}{\left(\frac{1}{1+K} 3\right)^{\alpha}}, \quad (9)$$

где  $\alpha$  – чувствительность изменения интенсивности отказов к увеличению ресурсов;  $K$  – кратность ресурсов, распределяемых на объекты;  $3$  – ресурсы, выделяемые на эксплуатацию объектов, руб.

Зависимость (9) свидетельствует о том, что суммарный риск отрицательно влияет на кратность  $K$  распределения ресурсов по объектам. При некотором значении  $K$  риск становится наименьшим.

Изменение суммарного риска в зависимости от распределения ресурсов при  $Y_1 = 1000$  руб. и  $Y_2 = 1500$  руб.,  $K = 0,05-10$  и  $\alpha = 0,3-1,5$  показано на рисунке 1.

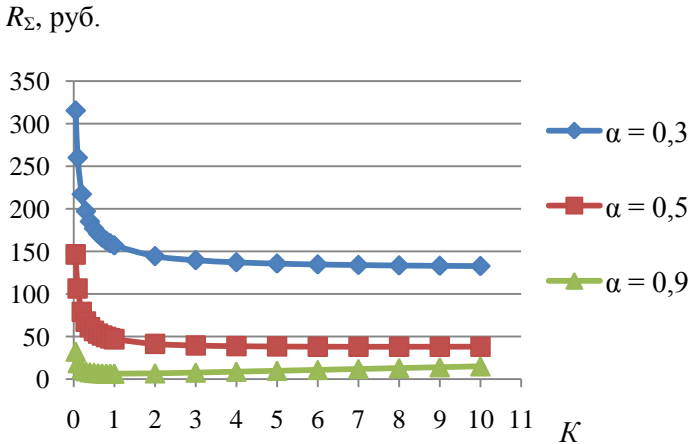


Рисунок 1 – Зависимость суммарного риска  $R_{\Sigma}$  от кратности ресурсов  $K$  на обслуживание изучаемых объектов

Снижение доли ресурсов на обслуживание объекта, имеющего значительный ущерб от отказа электрооборудования, резко увеличивает суммарный риск. На основании решения уравнения (9) найдено оптимальное значение коэффициента распределения ресурсов  $K$ . При  $\alpha = 1,0$

$$K = \sqrt{\frac{Y_1}{Y_2}}. \quad (10)$$

Следовательно, наименьший суммарный риск при отсутствии сведений о надежности объектов будет достигнут распределении ресурсов на их эксплуатацию пропорционально квадратному корню из отношения ущербов.

Оптимальное распределение эксплуатационных затрат – одна из важнейших задач технической эксплуатации электрооборудования. Эксплуатационные затраты рассмотрены с учетом двух составляющих:  $Z_0$  – годовые эксплуатационные затраты на обслуживание электрооборудования;  $R$  – риск, или результат в виде годового ущерба предприятия при достигнутом уровне надежности.

Сумма данных составляющих является критерием эффективности эксплуатации:

$$Z_3 = Z_0 + R. \quad (11)$$

С учетом преобразований, а также ввода относительных величин, получено уравнение оптимальных относительных эксплуатационных затрат:

$$Z_0^* = \sqrt{\lambda_6 Z_6 Y^*}, \quad (12)$$

где  $Z_6$  – базовые затраты на обслуживание, руб.

По уравнению (12) построены кривые (рисунок 2).

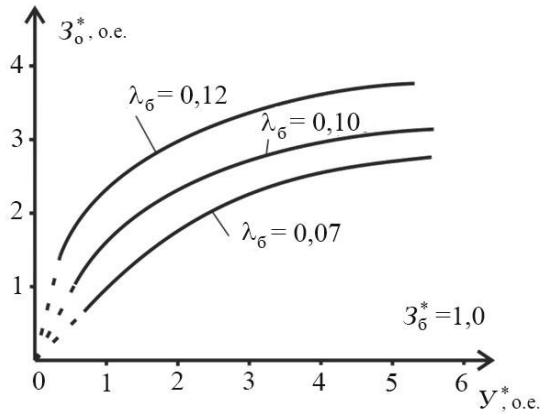


Рисунок 2 – Зависимость оптимальных относительных эксплуатационных затрат  $Z_0^*$  от относительного ущерба  $U^*$

На рисунке 2 приведены объекты с разным уровнем надежности. Если относительный ущерб  $U^*$  этих объектов будет одинаковым, то оптимальные относительные затраты  $Z_0^*$  окажутся разными. Например, для объекта с  $\lambda_0 = 0,07$   $Z_0^* = 2$  о.е., с  $\lambda_0 = 0,10$   $Z_0^* = 2,7$ . При увеличении ущерба от отказа объекта с  $\lambda_0 = 0,1$  в 5 раз затраты  $Z_0^*$  повышаются в 3 раза. Следовательно, необходимо согласовывать оптимальные относительные затраты  $Z_0^*$  с исходной интенсивностью отказов  $\lambda_0$  и ущербом  $U^*$ , то есть с уровнем риска  $R$  отказа электрооборудования.

Для корректирования периодичности ТО и ТР получена зависимость относительного риска от частоты обслуживаний:

$$r = \left| \frac{Z^* \nu - a - b \nu^2}{\nu} \right|, \quad (13)$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты изменения затрат на ТО и ТР;  $\nu$  – частота обслуживаний, от которых зависит уровень эксплуатации электрооборудования.

Графически данная зависимость представлена на рисунке 3.

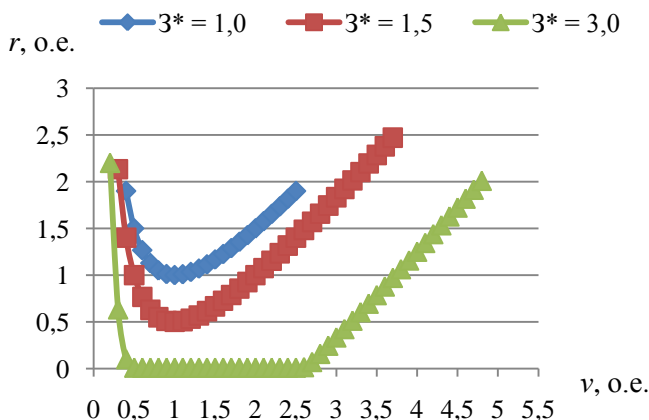


Рисунок 3 – Зависимость изменения относительного риска  $r$  от частоты обслуживаний  $v$

В экстремуме параболы указан минимальный относительный риск. Если электрооборудование имеет высокую надёжность при относительных затратах  $Z^* = 1–1,5$  о.е., то ТО и ТР выполняют с нормативной периодичностью  $v = 1$ , в результате чего риск будет минимальным. При увеличении относительных затрат  $Z^*$  в 3 раза и более наименьший риск ( $r = 0$ ) будет достигнут при частоте обслуживаний  $v$  от 0,5 до 2,5 о.е. В этом случае нормативную периодичность корректируют в диапазоне  $-36...+55$  %. Следовательно, корректировать периодичность ТО и ТР необходимо с учетом относительных эксплуатационных затрат  $Z^*$  и риска  $r$  отказа электрооборудования.

Данное теоретическое обоснование позволило сформулировать основные положения риск-ориентированной стратегии ТО и Р электрооборудования. Учитывая, что реализация стратегии в «бумажном» формате существенно снижает ее эффективность и замедляет сроки внедрения на предприятии, была разработана программа планирования работ по ТО и Р с использованием программного комплекса TRIM. Она включает в

себя алгоритм формирования плана-графика работ по ТО и Р на основе риск-ориентированной стратегии (рисунок 4).

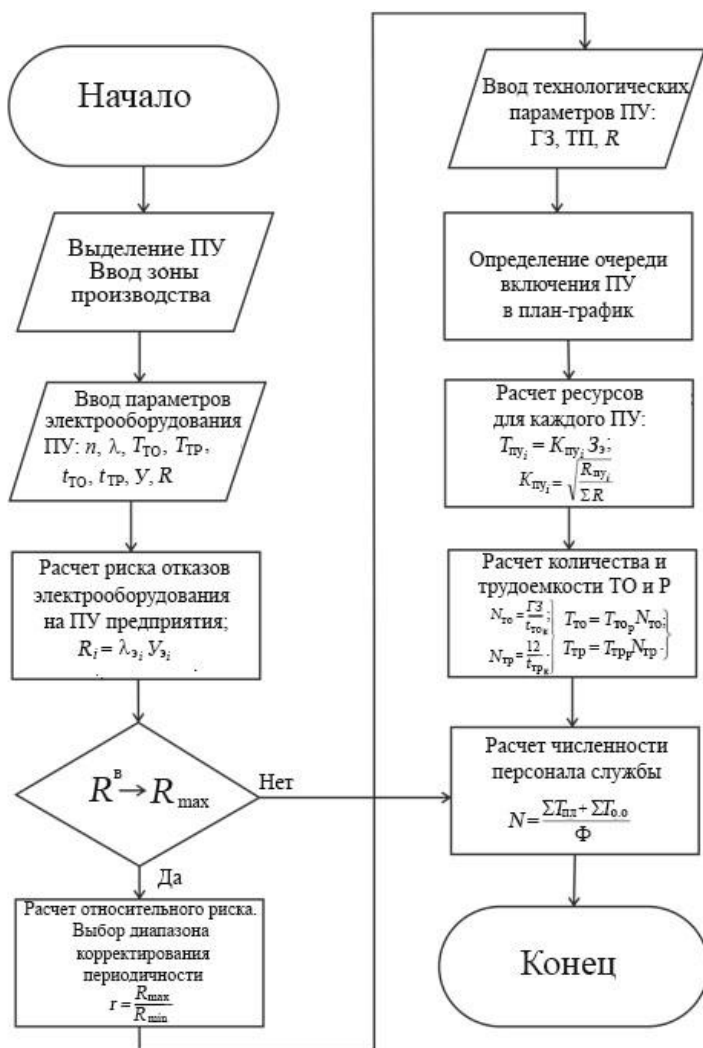


Рисунок 4 – Алгоритм формирования плана-графика работ по ТО и Р электрооборудования на основе риск-ориентированной стратегии

В третьей главе «Экспериментальные исследования» выполнена производственная проверка риск-ориентированной стратегии ТО и Р электрооборудования на тепличном комбинате АО «Совхоз-Весна», проведён анализ эффективности электрифицированных процессов на предприятии до и после ее внедрения.

Согласно программе экспериментальных исследований, на производстве внедрена информационная система класса ЕАМ. В базу данных программного комплекса TRIM внесены: номенклатура электрооборудования; структура технологических процессов; материально-технические ресурсы (МТР); виды работ по ТО и Р, структура штатного расписания и др.

В соответствии с программой исследований на предприятии выделены производственные участки с высоким риском – 4 блока теплиц общей площадью 24 га, обеспечивающих выращивание овощной продукции. В них установлено около 65 % всего электрооборудования, отвечающего за реализацию основных технологических процессов: электродосвечивания, обеспечения микроклимата и подкормки растений.

Эффективность электрифицированных процессов оценивали в соответствии с планом испытаний на надежность (NMT). Для эксперимента сделана выборка из трех категорий электрооборудования: электродвигателей; элементов автоматики; осветительных установок.

Согласно исследованиям, определены относительное число отказов электрооборудования  $q$  и полученный предприятием ущерб  $U$ . Комплексным критерием эффективности электрифицированных процессов, объединяющим указанные показатели, является риск  $R$ , который характеризует результат в виде годового ущерба  $U$  предприятия при достигнутом уровне надежности.

На основании данных, полученных при испытаниях на надежность, определен уровень риска и проведено ранжирование электрооборудования по степени критичности.

В зависимости от уровня риска электрооборудование, ранжированное по низкой степени критичности  $R^H$ , следует об-



служивать 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.

Экспериментальные исследования проводили с января 2016 по декабрь 2017 г. Возникающие отказы и полученный ущерб предприятия фиксировали в программном комплексе TRIM. Проведение эксперимента контролировали периодически с интервалом от двух до трех недель.

По завершению эксперимента определена эффективность электрифицированных процессов при сравнении базовой и усовершенствованной стратегий ТО и Р электрооборудования. Базовой считается смешанная стратегия, а усовершенствованной – риск-ориентированная в комплексе с информационной системой. Сравнимыми показателями являются относительное число отказов электрооборудования  $q$ , ущерб  $U$  и риск  $R$ . Указанные показатели обобщены для оценки рассматриваемых электрифицированных процессов. Полученные результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Анализ эффективности электрифицированных процессов обеспечения жизнедеятельности растений при сравнении базовой стратегии технического обслуживания и ремонта электрооборудования и усовершенствованной

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

В результате внедрения риск-ориентированной стратегии технического обслуживания и ремонта в АО «Совхоз-Весна» относительное число отказов  $q$  электрооборудования уменьшилось на 9 %. В соответствии с программой эксперимента, его можно рассматривать, как показатель безотказности электрооборудова-

ния, а именно как интенсивность отказов  $\lambda$ . Сокращение количества отказов снизило суммарный ущерб  $У_{\Sigma}$  на 10 %.

Несмотря на то, что часть электрооборудования обслуживали по фактическому состоянию и с нормативной периодичностью, показатели эффективности электрифицированных процессов возросли. Таким образом, результаты экспериментальных исследований подтвердили теоретическое предположение о том, что электрооборудование с разной степенью критичности воздействует на эффективность электрифицированных процессов. Распределение электрооборудования по степени критичности для выполнения производственных процессов обеспечения жизнедеятельности растений представлено на рисунке 5.

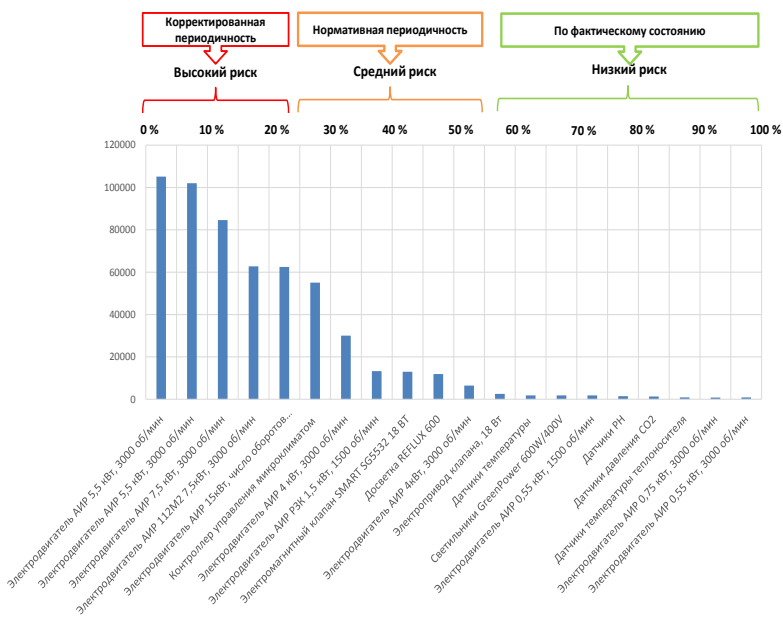


Рисунок 5 – Распределение электрооборудования по степени критичности для обеспечения производственных процессов

Доля электрооборудования, имеющего наибольшую степень критичности, составляет от 15 до 20 %. Для повышения эффективности электрифицированных процессов компенсирующее воздействие оказывали лишь на то электрооборудование, которое несет высокий риск. Уменьшение периодичности обслуживания электрооборудования с высоким риском снизило относительное число его отказов (рисунок 6).

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

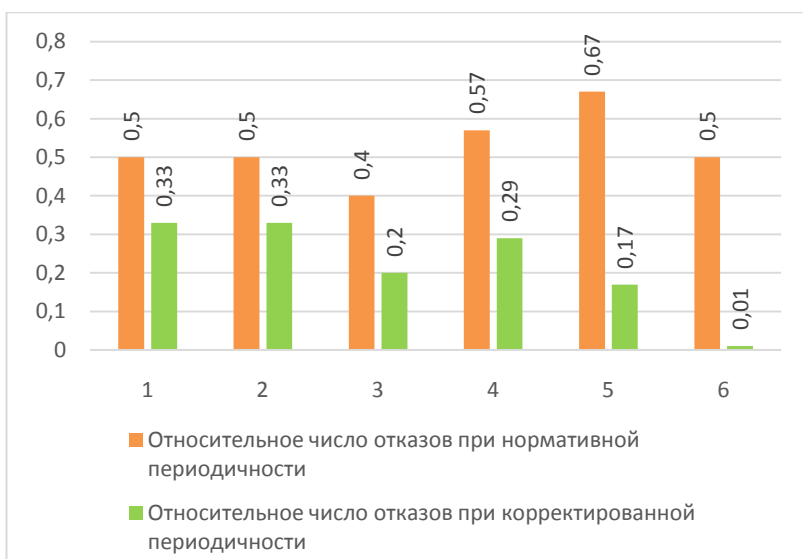


Рисунок 6 – Относительное количество отказов при нормативной и скорректированной периодичности ТО и ТР электрооборудования с высоким риском: 1 – ЭД АИР 112М2 7,5 кВт (3000 об/мин); 2 – ЭД АИР 5,5 кВт (3000 об/мин); 3 – ЭД АИР 15 кВт (3000 об/мин); 4 – ЭД АИР 5,5 кВт (3000 об/мин); 5 – ЭД АИР 7,5 кВт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

В **четвертой** главе «Технико-экономическое обоснование риск-ориентированной стратегии ТО и Р электрооборудования» выполнен сравнительный анализ экономических показателей базовой и усовершенствованной стратегий обслуживания электрооборудования. Так как риск-ориентированная стратегия реализована на базе программного комплекса TRIM, то определяли эффект не только от ее применения, но и от внедрения АСУ.

Результаты расчета экономической эффективности риск-ориентированной стратегии по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительный анализ экономических показателей базовой и риск-ориентированной стратегий ТО и Р электрооборудования

Наименование показателя	Обозначение	Значения по стратегиям	
		базовой	усовершенствованной
Капитальные вложения, руб.	К	396 000	1 226 000
Суммарный риск, руб.		558 158	481 024
Затраты на обработку информации, руб.		216 000	43 200
Годовой экономический эффект, руб.	$\Delta_r$	–	249 934
Срок окупаемости капиталовложений, лет	$T_{ок}$	–	3,3
Чистый дисконтированный доход, руб.	ЧДД		1072
Индекс доходности, %	$i_{дох}$		9

Таким образом, полученные технико-экономические показатели риск-ориентированной стратегии выше, чем базовой. Годовой экономический эффект от ее внедрения на предприятии «АО «Совхоз-Весна» составил 249934 руб. Срок окупаемости капиталовложений – 4,5 года, что соответствует норме, т.е. менее 7 лет.

## 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 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  $\lambda$  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  $\phi$ , характеризующий положительный эффект от снижения доли отказов электрооборудования при использовании стратегии ТО и Р. Проведено ранжирование электрооборудования по степени его критичности на производственном участке.

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 оптималь-

ной 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  $r = 0-3,0$  её 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.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ  
ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

*В изданиях, рекомендованных ВАК РФ*

1. **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.

2. **Гузачев, А. С.** Распределение ресурсов при риск-ориентированном обслуживании электрооборудования / Г. П. Ерошенко, В. А. Трушкин, С. М. Бакиров, А. С. Гузачев // Научное обозрение. – 2017. – № 5. – С. 9–15.

3. **Гузачев, А. С.** Анализ состояния технической эксплуатации электрооборудования сельскохозяйственных предприятий Саратовской области / Г. П. Ерошенко, В. А. Трушкин, М. А. Левин, А. С. Гузачев // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 12. – С. 23–28.

4. **Гузачев, А. С.** 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.

*В других изданиях*

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

6. **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.

7. **Гузачев, А. С.** 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.

