

На правах рукописи

МАЛЫШЕВ Михаил Александрович



**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АВАРИЙНОГО РЕЗЕРВА ЗАПАСНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ СЕТЕВЫХ РАЙОНОВ ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ
СЕЛЬСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ**

Специальность 05.20.02 – Электротехнологии
и электрооборудование в сельском хозяйстве

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск – 2012

Работа выполнена на кафедре «Электрические машины и эксплуатация электрооборудования в сельском хозяйстве» ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Буторин Владимир Андреевич

Официальные оппоненты: **Рыбаков Леонид Максимович**,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой
«Электроснабжение и техническая
диагностика» ФГБОУ ВПО «Марийский
государственный университет»

Знаев Александр Степанович,
кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Теоретические
основы электротехники»
ФГБОУ ВПО «Челябинская
государственная агроинженерная
академия»

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Башкирский
государственный аграрный
университет»

Защита состоится «25» мая 2012 г., в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.069.01 на базе ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия» по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 75.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия».

Автореферат разослан «20» апреля 2012 г. и размещен на официальном сайте ВАК при Министерстве образования и науки России <http://vak.ed.gov.ru> и сайте ФГБОУ ВПО ЧГАА <http://www.csaa.ru>.

Ученый секретарь
диссертационного
совета



Возмилов
Александр Григорьевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Надежность электроснабжения агропромышленных потребителей в значительной мере определяется состоянием сельских распределительных сетей. Отличительной особенностью сельских распределительных сетей является их высокий удельный вес в общем объеме распределительных сетей. Для условий Курганской области он составляет: воздушные линии (ВЛ) напряжением 10 кВ – 96% от 13 355 км, ВЛ 0,38 кВ – 95% от 8 288 км, кабельные линии ВЛ 10 кВ – 38% от 401 км, трансформаторные подстанции – 87% от 6 813 шт., автоматические выключатели – 80% от 15 147 шт., предохранители 10 кВ – 87% от 20 439 шт., предохранители 0,38 кВ – 82% от 46 584 шт., изоляторы 10 кВ – 96% от 573 270 шт., изоляторы 0,38 кВ – 94% от 104 135 шт., разрядники 10 кВ – 82% от 26 167 шт., разрядники 0,38 кВ – 82% от 21 594 шт.

Согласно территориальной структуре, ответственность за техническую эксплуатацию электрооборудования сетевого хозяйства на определенной территории несут районы электрических сетей (РЭС). Большой объем электрооборудования сельских распределительных сетей, имеющего износ более 50%, значительный выход его из строя связан с необходимостью создания аварийного резерва запасных элементов РЭС.

Формирование аварийного запаса вызывает значительные материальные расходы. К настоящему времени сложилось два способа расчета аварийного резерва для обслуживания распределительных сетей. Первый способ строится на нормировании запасов исходя из среднестатистических данных, второй – на принципе достаточности исходя из заданного уровня вероятности обеспечения запасами. Однако оба способа не учитывают экономических затрат на запасы.

В условиях развивающихся рыночных отношений оптимизация резерва запасных элементов согласно теории управления запасами на основе минимизации связанных с ними статей расходов имеет актуальное значение.

Цель исследования. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта сельских распределительных сетей, находящихся на обслуживании РЭС, путем оптимизации аварийного резерва запасных элементов на основе теории управления запасами.

В соответствии с поставленной целью необходимо решить следующие **задачи**:

1. Разработать модель управления аварийными запасами сетевых районов, занимающихся обслуживанием сельских распределительных сетей.

2. Теоретически обосновать функцию затрат на аварийные запасы, позволяющую оптимизировать параметры резерва элементов сельских распределительных сетей.

3. Разработать методику оптимизации аварийного резерва запасных элементов для обслуживания электрических сетей сельскохозяйственного назначения.

4. При отсутствии статистики отказов элементов оборудования распределительных сетей произвести оценку спроса на аварийный резерв этих элементов с помощью ускоренных стендовых испытаний.

Объект исследования. Процессы резервирования аварийного запаса РЭС для обслуживания сельских распределительных сетей и оценки спроса на реле с использованием ускоренных стендовых испытаний.

Предмет исследования. Закономерности, связывающие величину поставок и критический уровень аварийного резерва запасных элементов с технико-экономическими показателями и спросом на запасные элементы, а также скорость изменения сопротивления контактов реле от воздействующих эксплуатационных факторов.

Научная новизна основных положений, выносимых на защиту:

1. Для условий эксплуатации сельских распределительных сетей получено выражение для расчета ущерба, который несет РЭС при отсутствии на складе запасных элементов аварийного резерва, служащее для разработки аналитического аппарата по расчету общих издержек на запасы.

2. Теоретически обоснована функция затрат с учетом случайного характера потока отказов и времени пополнения, технических и экономических показателей, обеспечивающая оптимизацию аварийного резерва различных номенклатур запасных элементов для обслуживания сельских распределительных сетей.

3. Разработана методика оптимизации параметров аварийного резерва запасных элементов в РЭС, обеспечивающая минимальные экономические затраты, связанные с этими запасами.

4. С использованием стендовых испытаний получена зависимость скорости изменения параметра технического состояния кон-

тактов реле, позволяющая произвести оценку интенсивности их отказов, не прибегая к длительным эксплуатационным наблюдениям.

Практическая ценность работы и ее реализация:

1. Разработанная модель управления аварийными запасами РЭС ведет к совершенствованию системы технического обслуживания и ремонта сельских распределительных сетей.

2. Реализация разработанной методики оптимизации резерва запасных элементов в РЭС обеспечивает минимальные экономические затраты, связанные с этими запасами.

3. Предложенная установка для испытания скорости изменения сопротивления контактов реле позволяет на два порядка сократить период времени получения этой информации по сравнению со сроками эксплуатационных испытаний.

4. Внедрение разработанной методики оптимизации аварийного резерва запасных элементов в Кетовском РЭС ОАО «ЭнергоКурган» позволило получить годовой экономический эффект в размере 467 тыс. руб. в ценах 2011 г.

5. Материалы теоретических и экспериментальных исследований по оптимизации аварийного резерва запасных элементов, необходимых для обслуживания сельских распределительных сетей, используются в курсах лекций по дисциплинам «Эксплуатация систем электроснабжения» и «Надежность электроснабжения» в ЧГАА.

Апробация. Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и одобрены на ежегодных научных конференциях ЧГАА(У) (г. Челябинск, 2007–2011 гг.), на республиканской научно-технической конференции Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина (Сейфуллинские чтения-5) (г. Астана, 2009 г.), на Международной научно-практической конференции Саратовского ГАУ (г. Саратов, 2010 г.), на совместном совещании работников КГСХА, КГУ и ОАО «ЭнергоКурган» (2011 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 работ, в том числе две в изданиях, рекомендуемых ВАК, и один патент на полезную модель.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 148 страницах машинописного текста, в том числе 133 страницы основного текста, содержит 18 рисунков, 23 таблицы, состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка используемой литературы и приложений. Список используемой литературы включает в себя 126 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность темы, указаны цель, объект, предмет, научная новизна и практическая ценность исследования, изложены основные положения, выносимые на защиту, дана общая характеристика работы.

В **первой главе** «Состояние вопроса и задачи исследования» рассмотрены пути обеспечения эксплуатационной надежности сельских распределительных сетей, дан анализ системы их технического обслуживания и ремонта. Было показано, что в условиях эксплуатации для обеспечения работоспособности сельских распределительных сетей необходимо совершенствование этой системы. Резерв запасных элементов в распределительных сетях включает в себя две составляющие: производственную (ремонтную) и аварийную. Производственный резерв рассчитывается нормируемым путем в конце календарного года, он имеет вполне определенный объем и служит для проведения планово-предупредительных работ с учетом технического состояния распределительных сетей. Аварийный резерв служит для устранения внезапных (труднопрогнозируемых) отказов и носит случайный характер. Одним из путей совершенствования системы технического обслуживания и ремонта сельских распределительных сетей является разработка документации по оптимизации аварийного резерва запасных элементов.

Вопросам планирования резерва электрооборудования посвящены работы Н.Н. Сырых, В.А. Буторина, О.И. Хомутова, И.А. Пястоловой, Р.В. Банина, В.И. Силаева, частным вопросам оборудования сельских распределительных сетей – труды Л.М. Рыбакова, И.Б. Царева, Д.Н. Микрюкова, С.В. Волкова и др.

Существующие методы расчета аварийного резерва запасных элементов сельских распределительных сетей предлагают два способа его определения: нормативный и из условия достаточности. При первом способе расчет резерва проводят нормируемым путем, исходя из 100 единиц списочного состава эксплуатируемого оборудования или 100 км линий электропередач. Такое нормирование не принимает во внимание фактический спрос на запасы. При втором способе задаются вероятностью достаточности, при которой резерв не будет исчерпан в течение периода между поставками. Оценка данной вероятности является самостоятельной научной задачей, ее произвольный выбор экономически нецелесообразен.

Перспективным направлением оптимизации резерва является использование теории управления запасами. Однако к настоящему времени данная теория не находила применения в области оптимизации резерва запасных элементов для сельских распределительных сетей.

Во **второй главе** «*Теоретические предпосылки оптимизации аварийного резерва РЭС*» предложена модель управления аварийным резервом запасных элементов сельских электрических сетей. Обоснован выбор стратегии управления. Найдена функция затрат на аварийный резерв, которая приведена к виду, допускающему численную оптимизацию. Для номенклатур запасных элементов, статистика спроса на которые неизвестна, рассмотрено планирование спроса с использованием ускоренных стендовых испытаний.

При создании аварийного резерва запасных элементов теория управления запасами исходит из экономической оптимальности системы их поставки, хранения, омертвления средств и покрытия убытков в связи с возможной недообеспеченностью запасными элементами. Предметом теории управления запасами является выбор стратегии управления, а также отыскание и оптимизация функции затрат. Под стратегией управления понимают правила определения момента восполнения запаса и величину поставок. Функция затрат представляет собой математическое выражение, описывающее общие издержки, связанные с резервом запасных элементов.

Выбор стратегии управления аварийным резервом запасных элементов сельских районов электрических сетей и отыскание функции затрат основаны на предложенной модели управления аварийным резервом, которая вытекает из рассмотрения элементов задачи управления запасами. Указанная модель включает в себя: случайный спрос на запасные элементы, имеющий пуассоновское распределение; систему снабжения, которая характеризуется неисчерпаемым источником запасных элементов, находящихся на складе вышестоящего производственного отделения электрических сетей; случайное время задержки пополнения аварийного резерва с равномерным распределением его длительности. Последнее было доказано методом экспертных оценок.

Исходя из предложенной модели управления аварийным резервом обосновано, что наиболее рациональной стратегией управления является двухуровневая стратегия типа (m, n) , при которой восполнение происходит при снижении количества запасных элементов

до минимальной критической величины m . Уровень пополнения фиксирован и равен максимальному количеству запасных элементов n .

Годовые затраты L , связанные с аварийным резервом РЭС, включают в себя затраты на поставку запасных элементов L_n , затраты на их физическое хранение L_{xp} , издержки на омертвление денежных средств L_o , ущерб, вызванный авариями, L_y :

$$L = L_n + L_{xp} + L_o + L_y. \quad (1)$$

Функция (1) носит стохастический характер, т.к. зависит от спроса на запасные элементы, обусловленного авариями, количество которых является случайной величиной. В стоимость поставки функции (1) не входят затраты на закупку запасных элементов, т.к. за достаточно длительное время суммарные затраты на приобретение запасных элементов обусловлены суммарным спросом на них, т.е. величиной, не зависящей от стратегии управления резервом. Поэтому соответствующее слагаемое не повлияет на выбор параметров m и n .

Затраты L_n на поставку запасных элементов одной номенклатуры можно рассчитать по формуле

$$L_n = C_n \frac{\lambda_{ав}}{n}, \quad (2)$$

где C_n – стоимость поставки, включающая расходы на оформление документации, погрузочно-разгрузочные работы, организацию рейса транспортного средства, руб.;

$\lambda_{ав}$ – среднее количество аварий в год, вызванное отказом элементов этой номенклатуры, год⁻¹.

Отметим, что $\lambda_{ав}/n$ равно среднему количеству поставок в год.

Среднее количество находящихся на складе запасных элементов рассматриваемой номенклатуры равно $(2m + n + 1)/2$, поэтому

$$L_{xp} = C_{xp} (2m + n + 1)/2, \quad (3)$$

где C_{xp} – стоимость хранения одного запасного элемента в течение года, руб./год.

Затраты L_o на омертвление денежных средств возникают потому, что существуют запасные элементы, которые на текущий момент не востребованы, но деньги в них уже вложены.

Эти затраты составляют:

$$L_o = \frac{\lambda_{as}}{n} C_3 (e^{\alpha t} - 1) \frac{2m + n + 1}{2}; \quad \alpha = \frac{\ln(1 + E)}{T_r}, \quad t = \frac{n}{\lambda_{as}}, \quad (4)$$

где C_3 – стоимость одного запасного элемента, руб.;

E – нормативный коэффициент капиталовложений;

$T_r = 1$ год – коэффициент, введенный для согласования размерности.

Поясним формулы (4). Время $t = n/\lambda_{as}$ есть среднее время между пополнениями аварийного резерва, поэтому $C_3(e^{\alpha t} - 1)$ есть омертвление денежных средств, вложенных в один запасной элемент, которое затем умножается на среднее количество $(2m + n + 1)/2$ запасных элементов, находящихся на складе, чтобы все затраты привести к году, они умножаются на среднее количество λ_{as}/n восполнений в год.

Годовой ущерб L_y , наносимый аварийными отказами элементов одной номенклатуры, описывается выражением

$$L_y = \frac{\lambda_{as}}{n} \begin{cases} kWt_{cp} CX, & X \leq m \\ kWt_{cp} CX + Wt_3 C(X - m), & X > m, \end{cases} \quad (5)$$

где W – средний недоотпуск электроэнергии за час простоя при отказе элемента данной номенклатуры, кВт·ч/ч;

t_{cp} – среднее время устранения аварии при отказе запасного элемента этой номенклатуры, ч;

C – тариф на передаваемую по сетям района электрических сетей электроэнергию, руб./кВт·ч;

X – количество аварийных отключений из-за отказов элементов данной номенклатуры за промежуток времени от момента, когда аварийный запас достиг критического уровня m , до конца квартала;

t_3 – время экстренной доставки запасного элемента из соседних сетевых районов или производственного отделения в случае, если их количество на складе исчерпано;

коэффициент $k = 1$ для всех номенклатур, кроме автоматических выключателей, для которых он равен их количеству, подсоединенному к общей шине.

Поясним выражение (5). Множитель λ_{as}/n вводится по аналогии с формулой (4), чтобы привести ущерб к годовому. Множитель k

появляется в связи с тем, что при замене одного автоматического выключателя остальные, подсоединенные к общей шине с вышедшим из строя выключателем, также отключаются. Слагаемое $Wt_3C(X-m)$ появляется вследствие возрастания периода устранения аварии на время t_3 при условии исчерпания аварийного резерва.

В результате вычислений нами получено выражение для математического ожидания случайной величины (5):

$$M[L_y] = \frac{\lambda_{ас} WC}{\tau_{\max} n} \sum_{j=1}^{\tau_{\max}} \left(kt_{cp} \sum_{i=0}^{\infty} iP_i + t_3 \sum_{i=m+1}^{\infty} iP_i - mt_3 \sum_{i=m+1}^{\infty} P_i \right), \quad (6)$$

где

$$P_i = \frac{(\lambda_{ас} j)^i}{i!} e^{-\lambda_{ас} j}; \quad \tau_{\max} = \frac{\lambda_{ас}}{\lambda_{ас} + \lambda_p} t_{кв}, \quad (7)$$

где i и j – индексы суммирования;

λ_p – спрос на запасные элементы для планово-предупредительного ремонта;

$t_{кв} = 90$ сут. – количество дней в квартале.

Подстановка выражений (2), (3), (4) и (6) для отдельных составляющих затрат в формулу (1) приводит к математическому ожиданию функции затрат на аварийный резерв запасных элементов для районов электрических сетей в развернутом виде:

$$\begin{aligned} M[L] &= \frac{\lambda_{ас}}{n} C_n + C_{xp} \frac{2m+n+1}{2} + \\ &+ \frac{\lambda_{ас}}{n} C_3 \left[\exp\left(\frac{\ln(1+E)}{T_2} \frac{n}{\lambda_{ас}}\right) - 1 \right] \frac{2m+n+1}{2} + \\ &+ \frac{\lambda_{ас} WC}{\tau_{\max} n} \sum_{j=1}^{\tau_{\max}} \left(kt_{cp} \sum_{i=0}^{\infty} iP_i + t_3 \sum_{i=m+1}^{\infty} iP_i - mt_3 \sum_{i=m+1}^{\infty} P_i \right). \end{aligned} \quad (8)$$

Оптимальное управление аварийным резервом сводится к оптимизации функции (8) по двум переменным: минимальному критическому m запасных элементов и уровню n их пополнения. Численная оптимизация функции затрат в виде (8) не представляется возможной из-за наличия сумм бесконечных рядов. Функцию (8) удалось привести к виду, допускающему численную оптимизацию:

$$\begin{aligned}
M[L] = & \frac{\lambda_{ав}}{n} C_n + C_{xp} \frac{2m+n+1}{2} + \\
& + \frac{\lambda_{ав}}{n} C_3 \left[\exp\left(\frac{\ln(1+E)}{T_2} \frac{n}{\lambda_{ав}}\right) - 1 \right] \frac{2m+n+1}{2} + \\
& + \frac{\lambda_{ав} WC}{\tau_{max} n} \sum_{j=1}^{\tau_{max}} \left\{ \lambda_{ав} j \left[kt_{cp} + t_3 \left(1 - \sum_{i=0}^{m-1} P_i \right) \right] - mt_3 \left(1 - \sum_{i=0}^m P_i \right) \right\} \rightarrow \min. \quad (9)
\end{aligned}$$

Оптимизация аварийного резерва требует, как видно из формулы (9), знания $\lambda_{ав}$ элементов данной номенклатуры. При отсутствии статистики отказов указанных элементов можно произвести оценку $\lambda_{ав}$ с помощью стендовых испытаний и с использованием данных об эксплуатации этих элементов на других (базовых) объектах сельских распределительных сетей. В работе получено выражение для оценки спроса на реле в обследуемом сетевом районе:

$$\lambda_{ав} = \Lambda_{ав} \frac{n\nu}{NV}, \quad (10)$$

где $\lambda_{ав}$, $\Lambda_{ав}$ – спрос на реле в обследуемом и базовом сетевых районах соответственно;

n и N – количество реле, эксплуатируемых в обследуемом и базовом сетевых районах соответственно;

ν и V – скорость изменения параметра технического состояния реле соответственно в обследуемом и базовом сетевом районе.

Для реализации выражения (10) значение ν и V целесообразно установить по результатам ускоренных стендовых испытаний.

В третьей главе «Методики проведения исследований» рассмотрена методика оценки технико-экономических показателей, входящих в качестве параметров в функцию затрат, методика проведения ускоренных стендовых испытаний и методика оптимизации целевой функции.

Целевая функция (9) зависит от одиннадцати параметров: C_n , C_{xp} , C_3 , C , E , $\lambda_{ав}$, λ_p , W , t_{cp} , t_3 , k . Стоимость поставки C_n , стоимость хранения запасных элементов C_{xp} и их собственная стоимость C_3 могут быть найдены по данным бухучета. Тариф C за передачу электроэнергии по сетям района определяется постановлением департамента государственного регулирования цен и тарифов об установлении

тарифов на услуги по передаче электрической энергии. Величина нормативного коэффициента капиталовложения E в условиях сельского хозяйства определялась по данным литературных источников. Количество аварийных отключений $\lambda_{ав}$, спрос на запасные элементы для ремонтных работ λ_p , недоотпуск электроэнергии за час аварийного простоя W , среднее время ликвидации аварии t_{cp} , время экстренной доставки запасных элементов $t_э$ находились по данным отчета о нарушениях в работе района электрических сетей.

При выводе целевой функции (9) было сделано предположение, что количество аварийных отказов в год является случайной величиной с пуассоновским законом распределения. Это предположение было проверено на примере предохранителей ПКТ-10-101, повреждение которых является одной из распространенных причин отключения электроснабжения. Для проверки были обработаны статистические данные пятилетних наблюдений. В основу проверки положена сложившаяся в математической статистике методика, опирающаяся на критерий согласия Пирсона χ^2 .

При изучении скорости изменения параметра технического состояния реле (см. формулу (10)) в качестве последнего было выбрано переходное сопротивление контактов, которое измерялось мостом постоянного тока Р-333. Основными эксплуатационными факторами, влияющими на указанную скорость, как показал анализ литературных источников, является напряжение U , подаваемое на катушку реле, и относительная влажность W воздуха. Для сокращения перерывов между срабатываниями реле и ускорения испытаний по изучению зависимости скорости изменения сопротивления контактов от напряжения на катушке и относительной влажности воздуха были разработаны технические средства, в том числе схема управляющего устройства (рисунок 1).

Блок I представляет собой источник питания управляющего устройства, который собран по бестрансформаторной схеме с конденсаторным делителем напряжения. Блок II представляет собой времязадерживающий узел, который построен на базе интегрального таймера DA1. Блок III представляет собой узел управления катушкой испытуемого реле, который выполнен на основе оптронного симистора U1.

Для того чтобы обеспечить требуемую в ходе эксперимента влажность, была разработана камера влажности (рисунок 2). Уровень относительной влажности внутри камеры регулировался зеркалом воды в поддоне и открытием смотрового окна.

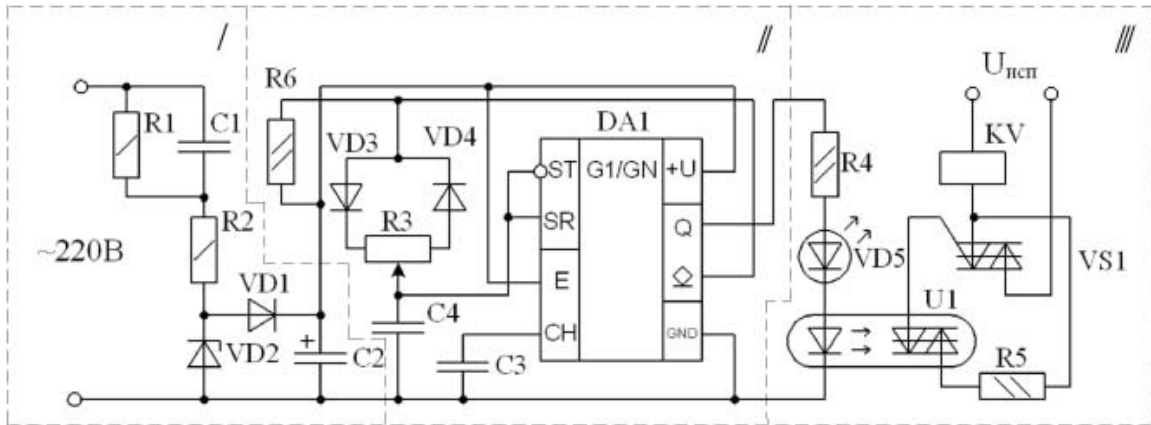


Рисунок 1 – Схема управляющего устройства

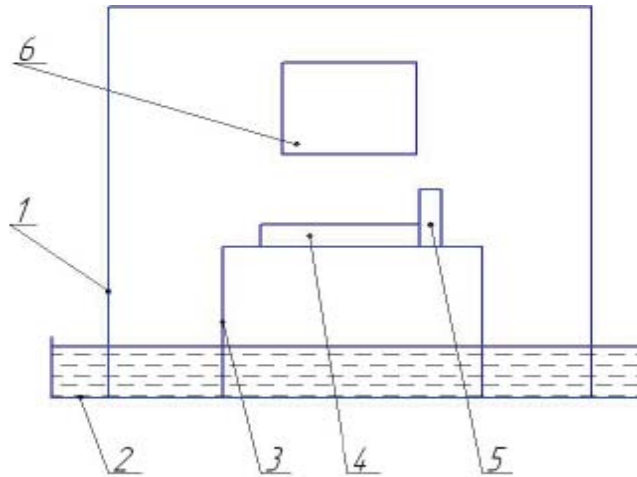


Рисунок 2 – Стенд для испытаний контактов реле: 1 – камера влажности; 2 – поддон; 3 – подставка; 4 – схема управления; 5 – испытуемое реле; 6 – смотровое окно

Стендовые испытания проводились согласно теории активного планирования эксперимента. Был выбран план полного двухфакторного эксперимента первого порядка. Выбор плана обусловлен тем, что он является ядром практически всех планов порядка выше, чем первый. Последнее обстоятельство позволяет начать эксперимент именно с него, и если аппроксимирующий полином окажется неадекватным, то следует переходить к планам второго порядка. Результатом стендовых испытаний явилась полиномиальная зависимость

$$V = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_{12} X_1 X_2, \quad (11)$$

где a_0, a_1, a_2, a_{12} – коэффициенты регрессии (рассчитываются по итогам эксперимента);

X_1, X_2 – соответственно кодовые значения напряжения на катушке реле и относительной влажности (безразмерные величины, изменяющиеся от -1 до $+1$ при изменении напряжения и относительной влажности от минимального до максимального значения).

Обработка опытных данных проводилась согласно методике, описанной в теории активного планирования эксперимента, и включала в себя проверку воспроизводимости эксперимента; расчет коэффициентов регрессии и оценку их значимости; проверку полинома (11) на адекватность.

Оптимизация целевой функции (9) осуществлялась переборным методом. Составлялась матрица, элементами которой служат значения функции затрат $L_{ij}(m_i, n_j)$ от целочисленных аргументов m_i и n_j , каждый из них пробегает значения от единицы до некоторой максимальной величины.

Указанная матрица имеет вид

$$\begin{bmatrix} L_{11}(m_1, n_1) & L_{12}(m_1, n_2) & \cdots & L_{1j_{\max}}(m_1, n_{\max}) \\ L_{21}(m_2, n_1) & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ L_{i_{\max}1}(m_{\max}, n_1) & \cdots & \cdots & L_{i_{\max}j_{\max}}(m_{\max}, n_{\max}) \end{bmatrix}.$$

В данной матрице путем последовательного перебора всех ее элементов L_{ij} находится наименьший элемент L_{onm} , которому соответствуют оптимальные значения аргументов m_{onm} и n_{onm} .

Таким образом, для реализации методики оптимизации аварийного резерва запасных элементов РЭС для обслуживания распределительных сетей сельскохозяйственного назначения необходимо:

- произвести оценку спроса на запасные элементы путем сбора и обработки статистики отказов, оценку спроса на запасные элементы с неизвестной статистикой отказов целесообразно получить с использованием ускоренных стендовых испытаний;

- на основании данных электротехнической службы и бухгалтерского учета произвести оценку технико-экономических показателей, входящих в качестве параметров в функцию затрат;

- используя программное обеспечение, определить оптимальные параметры m и n аварийного резерва запасных элементов.

В четвертой главе «Результаты исследования и их анализ» представлены результаты оптимизации аварийного резерва запас-

ных элементов на примере Кетовского района электрических сетей, который входит в состав ОАО «ЭнергоКурган», и результаты ускоренных стендовых испытаний скорости изменения переходного сопротивления контактов реле РН-53 в зависимости от напряжения на катушке и относительной влажности воздуха.

Обработка статистических данных пятилетних наблюдений за выходами из строя предохранителей ПКТ-10-101 показала, что аварийные отказы удовлетворительно описываются распределением Пуассона, что делает корректным вывод целевой функции (9).

По методике, описанной в третьей главе, определены технико-экономические показатели, входящие в целевую функцию в качестве параметров. Эти показатели приведены в таблице 1 для основных в стоимостном исчислении номенклатур.

В таблице 1 параметры для провода берутся из расчета его длины (30 м). Такое количество провода необходимо для устранения его обрыва. По этой же причине параметры для кабеля берутся из расчета его длины (4 м).

Параметры t_{cp} и t_3 характеризуют ремонтпригодность элементов оборудования распределительных сетей, а параметры λ_p и $\lambda_{ав}$ — их безотказность.

Интенсивность аварийных отказов $\lambda_{ав}$ реле напряжений РН-53, указанная в таблице 1, была рассчитана по формуле (10). Для этого с помощью ускоренных стендовых испытаний определена скорость V изменения переходного сопротивления контактов реле от напряжения, подаваемого на его катушку, и относительной влажности воздуха.

Уровни варьирования перечисленных факторов приведены в таблице 2.

Выбор уровней основывается на наблюдениях за напряжением и данных метеослужбы для Кетовского и Половинского района электрических сетей. Последний был принят за базовый.

В результате реализации плана полного двухфакторного эксперимента первого порядка получена полиномиальная зависимость скорости изменения сопротивления контактов от напряжения и относительной влажности в кодированном виде:

$$V = (2,8 - 0,75X_1 + 0,62X_2) \cdot 10^{-2}, \text{ мкОм/цикл.} \quad (12)$$

Таблица 1 – Технические и экономические параметры функции затрат

Параметры	технические						экономические					
	t_{cp}	t_o	W	k	λ_p	$\lambda_{ав}$	C_n	C_{xp}	C_o	C	E	
Размерность	ч	ч	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{ч}}$	–	год ⁻¹	год ⁻¹	руб.	$\frac{\text{руб.}}{\text{год}}$	руб.	$\frac{\text{руб.}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$	–	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
ВЛ-10 кВ												
Провод АС-50	2,1	3,4	470	1	84,1	9,6	3310	690	540	1,835	0,15	
Провод АС-70	2,1	3,4	490	1	98,1	12,8	4150	690	610	1,835	0,15	
Опора деревянная	5,3	4,9	320	1	19,8	4,2	3900	1220	3400	1,835	0,15	
Опора железобетонная	5,3	4,9	320	1	24,1	2,6	3500	1220	7800	1,835	0,15	
Приставка железобетонная	5,3	4,9	320	1	21,4	2,8	3800	1180	2900	1,835	0,15	
Изолятор ШФ-20	1,9	2,1	280	1	88,4	13,6	2050	470	310	1,835	0,15	
Разрядник РВО-10	1,5	2,1	970	1	9,2	3,5	1650	610	1100	1,835	0,15	
Разъединитель РЛНД 10-400	1,2	2,1	280	1	6,4	3,2	1790	610	7800	1,835	0,15	
Кабель	1,7	3,4	760	1	0	1,4	2250	680	2440	1,835	0,15	
Кабельная муфта	1,8	2,1	760	1	0	0,5	1900	590	3700	1,835	0,15	
Предохранитель ПКТ-10-101	0,3	2,1	970	1	0	39,6	2100	390	420	1,835	0,15	
ВЛ-0,38 кВ												
Провод АС-35	2,1	3,4	49	1	120	17,8	1910	690	476	1,835	0,15	
Провод АС-50	2,1	3,4	51	1	112	29,2	2140	690	540	1,835	0,15	
Автоматический выключатель ВА-57	1,5	2,1	220	5	15,1	7,6	1800	540	2200	1,835	0,15	

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Предохранитель ПН-2	0,3	2,1	57	1	0	25,4	1800	390	85	1,835	0,15
Опора деревянная	5,3	4,9	42	1	8,6	5,1	3800	1220	3400	1,835	0,15
Опора железобетонная	5,3	4,9	42	1	13,4	3,2	2700	1220	7800	1,835	0,15
Приставка железобетонная	5,3	4,9	42	1	9,2	4,9	2850	1180	2900	1,835	0,15
Изолятор ТФ-20	1,9	2,1	24	1	5,3	6,2	1470	470	150	1,835	0,15
Разрядник РВН-05	1,2	2,1	52	1	8,8	1,2	1150	610	850	1,835	0,15
КРУН-10 кВ											
Трансформатор тока ТЛМ-10	0,8	2,1	450	1	2,3	0,8	1700	520	2400	1,835	0,15
Трансформатор напряжения ЗНОЛ-10	0,8	2,1	450	1	2,4	0,6	1740	520	3628	1,835	0,15
Разъединяющий контакт первичной цепи РВ-10-400	0,5	2,1	520	1	1,6	0,4	1760	540	820	1,835	0,15
Переходной изолятор наружной установки ПНБ 10-400	0,4	2,1	460	1	1,9	0,8	1810	470	210	1,835	0,15
Переходной изолятор внутренней установки ПБ 10-400	0,4	2,1	380	1	1,6	0,4	1950	470	210	1,835	0,15
Опорный изолятор ОФР-750	0,4	2,1	390	1	2,0	0,3	1690	470	350	1,835	0,15
Вентильный разрядник РВО-10	0,7	2,1	430	1	3,2	1,3	1790	610	700	1,835	0,15
Реле РГ-40	0,6	2,1	310	1	8,8	2,5	1900	420	850	1,835	0,15
Реле РН-53	0,6	2,1	310	1	3,1	1,6	1900	420	1050	1,835	0,15

Таблица 2 – Уровни варьирования факторов при проведении стендовых испытаний

Фактор	Код	Уровни варьирования		Полуинтервал варьирования	Средний уровень
		верхний (+1)	нижний (-1)		
Напряжение U , В	X_1	391	334	28,5	362
Относительная влажность W , %	X_2	94	64	15	79

Анализ зависимости (12) показывает, что с ростом напряжения на катушке скорость изменения сопротивления контактов реле уменьшается, а с ростом относительной влажности увеличивается. Влияние напряжения и относительной влажности соизмеримо. Обработка результатов эксперимента показала, что в соответствии с критерием Стьюдента коэффициент регрессии a_{12} , описывающий взаимодействие факторов, оказался незначимым.

В натуральных факторах после раскодирования зависимость (12) принимает вид

$$V = (87 - 0,26U + 0,46W) \cdot 10^{-3} \text{ мкОм/цикл.} \quad (13)$$

Формула (13) совместно с данными таблицы 3 позволяет по формуле (10) оценить спрос $\lambda_{ав}$ на реле РН-53.

Таблица 3 – Данные об эксплуатации реле РН-53 в базовом и обследуемом сетевых районах

Базовый район				Обследуемый район		
$\Lambda_{ав}$, год ⁻¹	N	\bar{U} , В	\bar{W} , %	n	\bar{u} , В	\bar{w} , %
1,28	24	371	69	38	382	64

Расчет показал, что $\lambda_{ав} = 1,6 \text{ год}^{-1}$. Знание $\lambda_{ав}$ позволяет произвести оптимизацию целевой функции (9) для реле: $m_{онм} = 1$, $n_{онм} = 8$, $M[L](m_{онм}, n_{онм}) = 2\,033 \text{ руб./год}$.

Данные таблицы 1 являются исходными для оптимизации аварийного резерва запасных элементов. Результаты оптимизации приведены в таблице 4.

Для наглядности на рисунке 3 представлен график функции затрат для автоматических выключателей. Как видно из графика, функция затрат имеет выраженный минимум.

Таблица 4 – Оптимальные параметры стратегии управления аварийным резервом

Номенклатура	$M[L](m_{onm}, n_{onm}),$ руб./год	m_{onm}	n_{onm}
ВЛ-10 кВ			
Провод АС-50	44 370	2	46
Провод АС-70	52 350	3	64
Опора деревянная	18 320	1	19
Опора железобетонная	14 690	1	9
Приставка железобетонная	21 380	1	20
Изолятор ШФ-20	35 190	3	66
Разрядник РВО-10	5 640	2	26
Разъединитель РЛНД 10-400	5 066	2	14
Кабель	1 008	2	14
Кабельная муфта	1 857	1	5
Предохранитель ПКТ-10-101	11 060	19	356
ВЛ-0,38 кВ			
Провод АС-35	57 290	3	33
Провод АС-50	86 300	4	69
Автоматический выключатель ВА-57	2 422	2	61
Предохранитель ПН-2	50 160	12	70
Опора деревянная	19 600	2	15
Опора железобетонная	14 040	1	6
Приставка железобетонная	17 270	2	14
Изолятор ТФ-20	14 180	1	10
Разрядник РВН-05	2 430	1	3
КРУН-10 кВ			
Трансформатор тока ТЛМ-10	72	1	3
Трансформатор напряжения ЗНОЛ-10	523	1	2
Разъединяющий контакт первичной цепи РВ-10-400	57	1	2
Переходной изолятор наружной установки ПНБ 10-400	2205	1	4
Переходной изолятор внутренней установки ПБ 10-400	842	1	2
Опорный изолятор ОФР-750	194	1	2
Вентильный разрядник РВО-10	812	1	7
Реле РТ-40	3 178	2	10
Реле РН-53	2 033	1	8

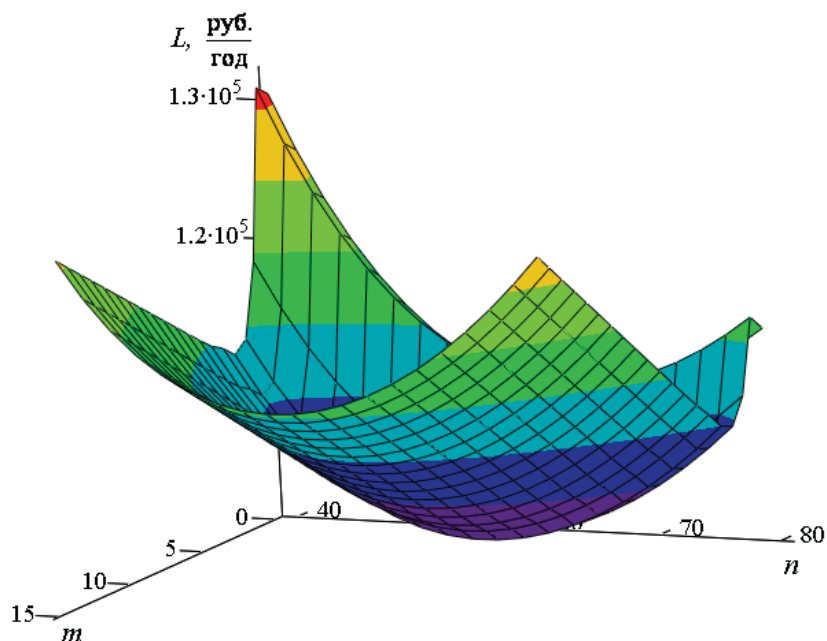


Рисунок 3 – График функции затрат для автоматических выключателей

Использование предлагаемой методики оптимизации аварийного резерва запасных элементов позволило получить годовой экономический эффект в размере 467 тыс. руб. за счет сокращения материальных затрат, связанных с физическим хранением и омертвлением средств, а также затрат, обусловленных неоправданно частыми восполнениями неснижаемого аварийного резерва.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Обоснована модель управления аварийным резервом запасных элементов сетевых районов по обслуживанию сельских распределительных сетей, включающая в себя:

- случайный спрос, имеющий пуассоновское распределение;
- систему снабжения, которая характеризуется неисчерпаемым источником запасных элементов, находящихся на складе вышестоящего производственного отделения электрических сетей;
- случайное время задержки пополнения аварийного резерва с равномерным распределением длительности;
- стратегию управления аварийным резервом с фиксированным уровнем его пополнения и критическим уровнем минимального количества запасных элементов на складе;

– функцию затрат для определения оптимальных параметров выбранной стратегии управления аварийным резервом.

2. Для выбранной стратегии управления аварийным резервом получено аналитическое выражение, позволяющее произвести оценку ущерба, который несет район электрических сетей из-за недоотпуска электрической энергии.

3. Получена функция затрат на аварийный резерв запасных элементов для районов электрических сетей, включающая в себя затраты на поставку, физическое хранение аварийного резерва, омертвление денежных средств, вложенных в не востребовавшиеся запасные элементы, и ущерб, вызванный недоотпуском электрической энергии при авариях. Оптимизация функции затрат обеспечивает минимизацию расходов, связанных с аварийным резервом.

4. Разработана методика планирования аварийного резерва запасных элементов района электрических сетей, реализация которой предусматривает оценку интенсивности аварийных отказов, определение технических и экономических параметров функции затрат и отыскание ее минимума, позволяющая с использованием программного обеспечения оптимизировать параметры этого резерва. Например, для железобетонных опор ВЛ-0,38 кВ $m_{онм} = 1$, $n_{онм} = 5$.

5. С помощью разработанных технических средств установлен вид аппроксимирующего полинома, описывающего зависимость скорости изменения переходного сопротивления контактов реле от напряжения на его катушке ($a_1 = -0,75$) и влажности воздуха ($a_2 = 0,62$), совместное влияние перечисленных факторов на изучаемую скорость ($a_{12} = -0,14$) несущественно. Данная зависимость позволяет произвести оценку спроса этого реле, $\lambda_{ав} = 1,6 \text{ год}^{-1}$.

6. Годовой экономический эффект от внедрения методики оптимизации аварийного резерва запасных элементов в Кетовском районе электрических сетей ОАО «ЭнергоКурган» составил 467 тыс. руб. в ценах 2011 года.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

Публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ

1. Малышев, М. А. Изменение параметров реле в зависимости от эксплуатационных факторов [Текст] / И. Б. Царев, М. А. Малышев,

И. В. Зайцев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – № 3. – С. 20–21.

2. Малышев, М. А. Стратегия прогнозирования аварийного резерва запасных элементов для обслуживания сельских распределительных сетей [Текст] / М. А. Малышев // Международный технико-экономический журнал. – 2012. – № 1. – С. 95–99.

Публикации в других изданиях

3. Малышев, М. А. Метод оценки качества восстановления электрооборудования по комплексным показателям надежности [Текст] / В. А. Буторин, Е. В. Бабыкин, М. А. Малышев // Информлисток ЦНТИ. – № 83-055-07. – Челябинск, 2007.

4. Малышев, М. А. Средства измерения параметров технического состояния контактов реле [Текст] / И. В. Зайцев, М. А. Малышев // Материалы 47-й Международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству». – Челябинск, 2008. – Ч. 4. – С. 23–26.

5. Малышев, М. А. Резервирование запасных элементов для обслуживания электрооборудования [Текст] / И. Б. Царев, М. А. Малышев, Д. В. Буторин, Д. Н. Елагин // Вестник ЧГАУ. – 2009. – Т. 55. – С. 123–126.

6. Малышев, М. А. Методы расчета запасов элементов электрооборудования в сельском хозяйстве [Текст] / В. А. Буторин, М. А. Малышев, Д. В. Буторин // Материалы 48-й Международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству». – Челябинск, 2009. – Ч. 4. – С. 24–27.

7. Малышев, М. А. Прогнозирование значений единичных и комплексных показателей надежности электрооборудования [Текст] / В. А. Буторин, М. А. Малышев, А. В. Панов // Материалы Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы энергетики АПК». – Саратов : КУБик, 2010. – С. 81–85.

8. Малышев, М. А. Расчет затрат, связанных с омертвлением денежных средств, при функционировании электроремонтных предприятий [Текст] / В. А. Буторин, И. Б. Царев, М. А. Малышев, И. А. Пястолова // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. – Астана, 2010. – № 4(66). – С. 128–132.

9. Малышев, М. А. Функция затрат и количественная оценка аварийного запаса основной номенклатуры в РЭС [Текст] / М. А. Малышев // Материалы 50-й Международной научно-технической конференции

«Достижения науки – агропромышленному производству». – Челябинск : ЧГАА, 2011. – Ч. 5. – С. 80–84.

10. Малышев, М. А. Планирование и результаты испытания скорости изменения сопротивления контактов реле [Текст] / И. Б. Царев, М. А. Малышев // Материалы 50-й Международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству». – Челябинск : ЧГАА, 2011. – Ч. 5. – С. 130–135.

11. Малышев, М. А. Планирование аварийного резерва запасных элементов районов электрических сетей с позиции теории управления запасами [Текст] / М. А. Малышев // Информлисток ЦНТИ. – № 74-041-11. – Челябинск, 2011.

12. Малышев, М. А. Результаты оптимизации аварийного резерва запасных элементов Кетовского РЭС для обслуживания сельских распределительных сетей [Текст] / М. А. Малышев // Вестник ЧГАА. – 2012. – Т. 60. – С. 98–101.

Авторские свидетельства, патенты

13. Пат. на полезную модель № 84963 РФ, МПК G01B 3/00. Устройство для измерения износа контактов реле [Текст] / В. А. Буторин, Д. В. Буторин, И. В. Зайцев, М. А. Малышев. – № 2008144764/22 ; заявл. 12.11.2008 ; опубл. 12.11.2008, Бюл. № 20.

Подписано в печать 10.04.2012 г. Формат 60×84/16
Гарнитура Times. Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № КЗ-4

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Челябинская государственная агроинженерная академия»
454080, г. Челябинск, пр. им. В. И. Ленина, 75