

ского воздействия энергией СВЧ-поля в средних режимах увеличиваются показатели газообразования и газодержания. Объем образовавшегося газа увеличился на 3...5 %, показатель удержания газа увеличился на 5...7 %, коэффициент газодержания возрос на 3...5 %.

Обнаружено, что воздействие энергией СВЧ-поля при соблюдении режимных параметров и температуры нагрева приводит к снижению титруемой кислотности получаемой муки. Для наглядности в опыте было использовано зерно пшеницы с титруемой кислотностью 5 град. Режимы обработки: экспозиция $\tau = 120...180$ с, скорость нагрева $\nabla = 0,24...0,4$ °C/с. Во всех вариантах опыта после обработки энергией СВЧ-поля кислотность уменьшалась в 1,5...2 раза.

Пробная выпечка хлеба, моделирующая технологический процесс, является одним из важнейших методов исследования, поскольку лишь в процессе выработки хлеба выявляется роль отдельных физико-химических показателей зерна и муки. Метод пробной выпечки позволил выявить в производственных условиях влияние электротермического воздействия энергии СВЧ-поля на показатели качества и микробиологическую безопасность хлебобулочных изделий. Исследования влияния электротермического воздействия энергией СВЧ-поля на хлебопекарные свойства муки и качество хлеба проводили при разных способах тестоприготовления (опарной, безопарной и ускоренной «холодной» технологии).

Установлено, что жесткие режимы электротермической обработки зерна (скорость нагрева 0,8 °C/с и экспозиции 90 с) приводили к уменьшению объема хлеба, появлению бледной корки, об-

разованию плотного неэластичного мякиша со слабо развитой пористостью. В ходе технологического процесса увеличивается продолжительность окончательной расстойки. Пористость хлеба снижается на 2 % по отношению к контрольному образцу.

Мягкие и средние режимы обработки (скорость нагрева 0,4...0,6 °C/с и экспозиция 30...60 с) приводили к тому, что продукция по качеству не отличалась от контроля. Хлеб имел сухой эластичный мякиш, с тонкостенной развитой пористостью. Показатели объема и пористости исследуемых образцов были выше, чем у контрольных. Исследования по микробиологическим показателям показали, что обработка муки энергией СВЧ-поля снижает численность спор бактерий, вызывающих картофельную болезнь хлеба, до безопасных пределов. Признаки развития картофельной болезни хлеба проявляются на 3...5 сут позднее, чем в контроле.

Таким образом, обработка зерна и муки энергией СВЧ-поля при скорости нагрева 0,4...0,6 °C/с и экспозиции 30...60 с сохраняет и улучшает физические свойства зерна и муки, реологические характеристики теста и при этом повышает качество и микробиологическую безопасность хлебобулочных изделий.

Список литературы

1. Цугленок, Н.В. Комплексная система обеззараживания зерна и продуктов его переработки / Н.В. Цугленок, Г.И. Цугленок, Г.Г. Юсупова. — Красноярск: КрасГАУ, 2004. — 252 с.
2. Юсупова, Г.Г. Обеспечение микробиологической безопасности зерновых культур в технологиях производства муки и хлебобулочных изделий: автореф. дис. ... доктора с.-х. наук: 05.18.01 / Г.Г. Юсупова. — Красноярск: КрасГАУ, 2010. — 36 с.

УДК 621.31:658.382.3

С.И. Белов, канд. техн. наук

Н.Р. Горбунова

Т.Б. Лещинская, доктор техн. наук

Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СТРАТЕГИИ ПОВЫШЕНИЯ СРЕДСТВ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 0,38...10 КВ

Электробезопасность как система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей и животных от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества является одной из наиболее важных проблем во всех развитых стра-

нах и находится под постоянным контролем на самом высоком государственном уровне.

С выходом Федерального закона «О техническом регулировании» повысилась значимость безопасности при организации процессов производства и эксплуатации электросетевых объектов. Возникла потребность в разработке и обосновании

необходимых требований, мероприятий и средств, обеспечивающих электрическую безопасность, пожаро- и взрывобезопасность, промышленную безопасность в целях защиты жизни и здоровья граждан, имущества физических и юридических лиц, государственного и муниципального имущества, охраны окружающей среды (статья 7).

Состояние безопасности электроустановок в РФ в настоящее время находится на чрезвычайно низком уровне, привело к необходимости включения системы жизнеобеспечения и защиты человека в Перечень критических технологий, утвержденный Президентом РФ 30 марта 2002 г.

В данной статье рассматривается выбор мер и средств повышения электробезопасности сельских электрических сетей 0,38...10 кВ по многокритериальной модели с учетом неопределенности части исходной информации на примере электрических сетей Борисоглебской РЭС Борисоглебский ОАО «МРСК Центра» — «Воронежэнерго». В РЭС Борисоглебский входят 6 подстанций 10/0,4 кВ, 238 КТП, длина распределительных линий 10 кВ составляет 420 км, а ВЛ 0,38 кВ — 370 км. Суммарный недоотпуск электроэнергии по РЭС Борисоглебский составляет 856 272,165 кВт·ч за 2010 г. при $\cos \varphi = 0,9$ и времени использования максимальной нагрузки $T_{\max} = 3400$ ч. По оценкам обслуживающего персонала, износ сетей велик и составляет 75...80%. Физический и моральный износ оборудования приводит к снижению как электробезопасности, так и надежности электроснабжения.

Система электроснабжения как большая сложная система имеет динамический характер, что необходимо учитывать при разработке и расчете вариантов средств повышения электробезопасности. Пути (или варианты) достижения поставленных целей называют стратегией. Авторы рассматривают стратегию по повышению надежности электро-

снабжения, которая одновременно улучшает электробезопасность распределительных электрических сетей: φ_1 — состояние рассматриваемых распределительных электрических сетей без преобразований; φ_2 — применение ВЛИ, СИП; φ_3 — резервирование и секционирование ВЛ; φ_4 — перевод ВЛ на более высокий класс напряжения.

Важным является обоснование частных критериев оценки при выборе наиболее целесообразного решения средств повышения надежности и электробезопасности СЭС.

Так как по статистике травматизм в электроустановках из года в год увеличивается, в том числе из-за снижения уровня квалификации и подготовки персонала, то в качестве одного из критериев принят показатель, оценивающий уровень травматизма в распределительных сетях. В качестве такого показателя принимается коэффициент частоты травматизма. Показатель частоты травматизма $k_{\text{тр}}$ определяется как отношение числа пострадавших к среднесписочной численности рабочих и служащих за отчетный период, отнесенный к 1000 работающих:

$$k_{\text{тр}} = \frac{T}{P} 1000,$$

где T — общее число пострадавших за определенный период независимо от того, закончилась ли временная нетрудоспособность в этом периоде; P — среднесписочная численность работников за этот период.

Рост травматизма в электроустановках обусловлен также «ветхим» состоянием распределительных сетей, поэтому вторым частным критерием принят показатель износа электрооборудования [1]. Таким показателем является коэффициент физического износа электрооборудования за количество лет эксплуатации, приведенный в табл. 1 для различных элементов системы электроснабжения [2].

Таблица 1

Коэффициент износа линий и подстанций в зависимости от эксплуатации

Элементы системы электроснабжения	Эксплуатация, лет						
	1	5	10	15	20	25	30
ВЛ 35–110 кВ на опорах:							
деревянных	0,05	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5
железобетонных	0,033	0,165	0,33	0,495	0,66	0,825	0,99
металлических	0,02	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
РТП 35–110/10 кВ	0,033	0,165	0,33	0,495	0,66	0,825	0,99
ВЛ 10 кВ на опорах:							
деревянных	0,05	0,25	0,5	0,85	1,0	1,25	1,5
железобетонных	0,033	0,165	0,33	0,495	0,66	0,825	0,99
ТП 6–35/0,4 кВ	0,33	0,165	0,33	0,495	0,66	0,825	0,99
ВЛ 0,38 кВ на опорах:							
деревянных	0,05	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5
железобетонных	0,033	0,165	0,33	0,495	0,66	0,825	0,99

Травматизм в электроустановках связан с большим физическим износом электрооборудования и с надежностью самих распределительных сетей. Действительно, чем ниже квалификация и подготовка обслуживающего персонала, тем выше вероятность отказов электрооборудования из-за неудовлетворительного его обслуживания и тем ниже надежность электроснабжения. И чем выше физический износ электрооборудования, тем выше вероятность отказов электрооборудования и увеличения роста травматизма при работах и обслуживании изношенного электрооборудования. Таким образом, надежность электроснабжения и физическое состояние электрооборудования определяют уровень травматизма. Следовательно, разработка и внедрение мероприятий и средств повышения надежности электроснабжения приведет к повышению электробезопасности.

Одной из целей функционирования системы является достижение высокой надежности электроснабжения, влияющей на электробезопасность. Учитывая, что частные критерии оценивают степень достижения целей функционирования, третьим критерием принят показатель оценки надежности электроснабжения. Показателем надежности электроснабжения потребителей является ущерб от недоотпуска электроэнергии из-за вероятных отказов электрооборудования или количество недоотпущенной электроэнергии из-за отключений (перерывов) СЭС.

В настоящее время нет адекватного и обоснованного значения среднего удельного ущерба из-за перерывов в электроснабжении. Существуют различные мнения на этот счет [1–3]. Поэтому в качестве критерия оценки надежности электроснабжения авторы статьи принимают недоотпуск W_H электроэнергии за год:

$$W_H = \sum_{i=1}^{T_c} \sum_{j=1}^k P_{it} \sum_{j=1}^N (\omega_{jt} \tau_{ajt} + \gamma \lambda_{jt} \tau_{пjt}) \alpha^{t-1},$$

где P_{it} — активная нагрузка i -го элемента в год t , кВт; N — число участков линии; $\omega_{jt}, \lambda_{jt}$ — частота аварийных и плановых отключений соответственно; $\tau_{ajt}, \tau_{пjt}$ — средняя продолжительность аварийных и плановых отключений соответственно; γ — коэффициент, учитывающий меньшую тяжесть плановых отключений ($\gamma = 0,33$); α^{t-1} — коэффициент дисконтирования, $\alpha = \frac{1}{(1 + E_{пн})^t}$, $E_{пн} = 0,1$ — коэффициент нормативного приведения.

В качестве неопределенности среды взято одновременно два фактора — коэффициент роста нагрузки на перспективу 10 лет k_p и коэффициент безопасности труда k_6 .

Рост нагрузки в СЭС усиливает износ электрооборудования и увеличивает вероятность пробоя ослабленной изоляции и возникновения других неполадок в работе электрооборудования, что

может привести к отказам в работе электроустановок и недоотпуску электроэнергии. При большом числе повреждений электрооборудования в процессе его ремонта увеличивается вероятность травматизма. Таким образом, рост нагрузки влияет как на износ электрооборудования и надежность электроснабжения, так и на уровень травматизма. Вероятность роста коэффициента нагрузки на перспективу 10 лет k_p получена в результате проведения и обработки экспертного опроса персонала РЭС Борисоглебский ОАО «МРСК Центра» — «Воронежэнерго» с учетом прогнозных показателей энергетической стратегии России на период до 2030 г.

Коэффициент безопасности труда k_6 в общем случае отражает два показателя [4, 5]:

коэффициент соблюдения правил безопасности, который определяется отношением числа работающих на определенном энергообъекте, соблюдающих правила техники безопасности, ко всему числу работников энергообъекта:

$$k_{птб} = n / N,$$

где n — число работающих на определенном энергообъекте с соблюдением правил безопасности; N — общее число работающих на энергообъекте;

коэффициент технической безопасности машин (электрооборудования), которое соответствует стандартам безопасности, ко всему количеству электрооборудования энергообъекта:

$$k_{тбм} = m / M,$$

где m — число машин (электрооборудования), соответствующее стандартам безопасности; M — общее число электрооборудования на энергообъекте.

Так как статистических данных по этому коэффициенту безопасности труда k_6 нет, то его значение определено в результате анкетного опроса экспертов.

Таким образом создалась ситуация принятия решения: матрица рассматриваемых стратегий

$$\Phi = \begin{Bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \\ \Phi_4 \end{Bmatrix}, \text{ матрица частных критериев } \Psi = \begin{Bmatrix} \Psi_1 \\ \Psi_2 \\ \Psi_3 \end{Bmatrix}$$

и матрица неопределенного фактора $\theta = \begin{Bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{Bmatrix}$, где

$$\theta = k_p k_6.$$

Далее проведено имитационное моделирование и рассчитаны значения частных критериев при различных состояниях среды θ для рассматриваемых стратегий $\Phi_1 \dots \Phi_4$.

В табл. 2 приведены матрицы частных критериев на рассматриваемый период (10 лет).

В соответствии с алгоритмом решения многокритериальных задач [1, 4] следующим этапом яв-

Таблица 2

Матрица частных критериев

P	Θ	W _н ·10 ⁵ , кВт·ч				k _{изн}				k _{тp}			
		φ ₁	φ ₂	φ ₃	φ ₄	φ ₁	φ ₂	φ ₃	φ ₄	φ ₁	φ ₂	φ ₃	φ ₄
0,14	k _p k _б	8,56	2,85	3,86	3,98	0,99	0,5	0,99	0,33	0,75	0,25	0,75	0,375
0,38		7,19	2,39	3,24	3,34	1,19	0,575	1,19	0,363	0,9	0,288	0,9	0,413
0,48		9,24	3,08	4,17	4,3	1,49	0,7	1,49	0,43	1,125	0,35	1,125	0,49

Таблица 3

Матрица оценочного функционала F

P	Θ	φ ₁	φ ₂	φ ₃	φ ₄
0,14	k _p k _б	6,356	0,36	2,87	0,49
0,38		7,7	0,396	3,47	0,5
0,48		15,49	0,75	6,99	0,9

ляется сверстка частных критериев в единый оценочный функционал. Как показала практика решения задач оптимизации параметров систем электроснабжения 0,38...110 кВ [4], наиболее целесообразна сверстка мультипликативным способом, так как при таком способе оптимальный вариант не зависит от числа рассматриваемой стратегии и способа нормирования частных критериев, необходимом при аддитивной сверстке.

Мультипликативный оценочный функционал имеет вид

$$F = \prod_{i=1}^n f_i = W_n 10^5 (k_{изн} k_{изн}^*) k_{тp},$$

где W_н — недоотпуск электроэнергии кВт·ч; k_{изн} — коэффициент износа электрооборудования; k_{изн}^{*} — коэффициент износа электрооборудования от увеличения нагрузки; k_{тp} — коэффициент травматизма; 10⁵ — коэффициент, учитывающий размерность.

Весовые коэффициенты частных критериев приняты одинаковыми для рассматриваемых частных критериев.

В табл. 3 даны результаты расчета единого оценочного функционала F, кВт·ч, 10⁵ мультипликативным способом.

Из данных матрицы оценочного функционала видно, что наименьшим значениям соответствует стратегия φ₂ и φ₄. Для технических оптимизационных задач существует ряд критериев выбора лучшего решения из рассматриваемой стратегии. Наиболее устойчивым является критерий Байеса, по которому лучшее решение B соответствует минимуму (максимуму) математического ожидания оценочного функционала. В данной задаче это минимум, так как количество недоотпуска электроэнергии из-за вероятности повреждения электрооборудования, коэффициент износа электрооборудования и коэффициент электротравматизма обслуживающего персонала должны стремиться к минимальным значениям:

$$B(p_i, \varphi_i) = \min \sum_{i=1}^n p_i F_{im},$$

где B — выигрыш (проигрыш) при принятии решения, φ_i; φ₁ — рассматриваемое решение (стратегия); φ_i = (φ₁,

..., φ_m) — матрица возможной стратегии (решений); F_{im} — оценочный функционал для m-й стратегии при i-м состоянии среды; p_i — вероятность состояния среды, причем $\sum_{i=1}^n p_i = 1$; n — число рассматриваемых состояний среды.

Рассчитанные значения выигрыша (проигрыша) для рассматриваемой стратегии по критерию Байеса показал следующие значения: для B₁ — 10,45; для B₂ — 0,56; для B₃ — 5,07 и для B₄ — 1,31.

Минимальное значение по критерию Байеса соответствует стратегии φ₂ — применение ВЛИ, СИП. Действительно, изолированные провода обладают высокой надежностью и электробезопасностью, их применение дает преимущество как при монтаже, так и при эксплуатации. Значительное уменьшение случаев электротравматизма при эксплуатации таких линий связано с отсутствием многочисленных замен поврежденных изоляторов, дефектного провода, выправки или замены дефектных траверс, практическим исключением коротких междуфазных замыканий и замыканий на землю.

Список литературы

1. Левин, М.С. Методы теорий решений в задачах оптимизации систем электроснабжения: учеб. пособие / М.С. Левин, Т.Б. Лещинская. — М.: ВИПКэнерго, 1989. — 132 с.
2. Лещинская, Т.Б. Многокритериальная оценка технико-экономического состояния распределительных электрических сетей / Т.Б. Лещинская, В.В. Князев. — М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2006. — 100 с.
3. Лещинская, Т.Б. Электроснабжение сельского хозяйства / Т.Б. Лещинская, И.В. Наумов. — М.: КолосС, 2008. — 656 с.
4. Лещинская, Т.Б. Методы многокритериального выбора в инженерных задачах / Т.Б. Лещинская // Электрические аппараты и электротехнологии сельского хозяйства: сб. науч. трудов. — М.: МГАУ, 2002. — С. 3–21.
5. Тургиев, А.К. Охрана труда в сельском хозяйстве / А.К. Тургиев, А.В. Луковников. — М.: Издат. центр «Академия», 2003. — 320 с.