

Ю.А. Дьяченко, канд. техн. наук

Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПТИЦЕФАБРИКИ

Завершился очередной этап реформирования электроэнергетической отрасли. Основные задачи, которые декларировались в процессе реформирования электроэнергетики на втором этапе ее осуществления (2008–2011 гг.), — привлечение инвестиций для модернизации, развитие конкуренции на рынке, снижение тарифов на электроэнергию — так и не были выполнены. Предполагалось, что к 2011 году в России тарифы на электроэнергию будут регулироваться не государством, а формироваться на основе спроса и предложения, а его участники конкурировать, снижая свои издержки. По свободным ценам будет продаваться 100 % электроэнергии на оптовом рынке. Эта свободная цена будет влиять на розничные рынки электроэнергии, в частности, на сельскохозяйственных товаропроизводителей.

В то же время в электроэнергетической отрасли продолжают процессы ускоренного износа основных фондов, обеспечивающих надежное и бесперебойное электроснабжение потребителей. Показатели отключения потребителей от централизованных источников гарантированного электроснабжения по причине системных аварий стали резко возрастать. Неспособность современной российской электроэнергетики гарантировать надежное и бесперебойное электроснабжение как промышленных, так и сельских потребителей выражается в произошедших недавно авариях. Так, в 2009 г. на Саяно-Шушенской ГЭС в Хакасии произошла авария. В результате инцидента погибли и пострадали работники предприятия, был разрушен второй гидроагрегат, часть машинного зала, поэтому станцию пришлось остановить. По причине аварии было нарушено электроснабжение крупнейших алюминиевых заводов (Саянского и Хакасского); снижена нагрузка на Красноярский алюминиевый завод, Кемеровский завод ферросплавов и на Новокузнецкий алюминиевый завод. Авария привела к отключению электроэнергии в «старой» части города Северска (Томская область) на 1,5 ч, а в другой — были перебои в электроснабжении. Сельские товаропроизводители понесли большой ущерб от аварийного недоотпуска электроэнергии в результате произошедшей аварии в 2005 г. на подстанции «Чагино» в районе Капотни на юго-востоке Москвы. Тогда длительный перерыв в электроснабжении лишил питания практически всю территорию Москвы, а также Московскую, Калужскую

и Тульскую области. Аварийный перерыв в подаче электроэнергии затронул 9 птицефабрик из 26 функционирующих на территории Московской области, причем на 4 из них ущерб исчислялся миллионными убытками. В результате перерыва в электроснабжении были нарушены важнейшие технологические процессы на длительное время, которые привели к массовой гибели птиц. Была загублена готовая продукция, предназначенная для реализации. Наиболее тяжелые последствия вызвало отключение приточной и вытяжной вентиляции. В число предприятий, понесших ущерб, вошла и птицефабрика «Мирная». Существующая схема резервирования от центральных электрических сетей не смогла защитить предприятие от аварии. Наиболее тяжелые последствия вызвало обесточивание особо ответственных технологических процессов (вентиляция, водоснабжение, освещение), что привело к гибели продукции и др. Официальные данные об ущербе от аварийного перерыва в электроснабжении занижены и не соответствуют действительной стоимости продукции, которая могла быть реализована населению. В настоящий момент в России отсутствует четко регламентированное значение удельного ущерба, которое бы в реальности компенсировало все затраты на производство продукции. Существующие официальные методики определения не отражают величину ущерба в полной мере. В результате изучения различных методов определения значений удельного ущерба от аварийного недоотпуска электроэнергии необходимо отметить, что удельный ущерб, полученный различными способами, варьируется в большом диапазоне и является типичным неопределенным фактором [1]. Задачу получения реального значения ущерба затрудняет неопределенность информации о влияющих факторах, а способы получения являются неопределенными факторами. Задачу выбора лучшего варианта средств, обеспечивающих нормируемый уровень надежности птицефабрики, целесообразно решать в многокритериальной постановке в условиях неопределенности исходной информации. В качестве неопределенного фактора, влияющего на выбор оптимального варианта, рассматривается значение удельного ущерба и электрическая нагрузка птицефабрики. В результате замеров установлено, что потребляемая одним птичником мощность составляет около 91,44 кВт. Соответственно, 20 птич-

Таблица 2

Матрица частного критерия дисконтированных затрат Z_d , тыс. р.

p	Θ	Φ_1	Φ_2	Φ_3
0,1	1829	5445	12 590	17 400
0,3	2530	5445	18 280	25 500
0,4	3231	5445	23 970	33 590
0,2	3932	5445	23 970	33 590

Недоотпуск электроэнергии из-за вероятных отказов электрооборудования следующий:

$$W_{\text{нед}} = PT_{\text{max}} \frac{t_{\text{ав}}}{8760},$$

где $t_{\text{ав}}$ — время перерыва в электроснабжении, принятое равным 13 ч; T_{max} — число часов использования максимума, принятое равным 5000 ч.

При наличии резервного аварийного источника питания (стратегия Φ_2 и Φ_3) предполагаемый недоотпуск электроэнергии равен нулю (табл. 3). Для получения результатов и последующего определения наилучшей стратегии из матрицы оценочного функционала разнородные величины преобразованы в относительные единицы и представлены в табл. 4 и 5.

Таблица 3

Матрица частного критерия недоотпуска электроэнергии $W_{\text{нед}}$, кВт·ч

p	Θ	Φ_1	Φ_2	Φ_3
0,1	1829	13 570	0	0
0,3	2530	18 770	0	0
0,4	3231	23 970	0	0
0,2	3932	29 180	0	0

Таблица 4

Матрица нормируемого частного критерия дисконтированных затрат $f(Z_d)$, о. е.

p	Θ	Φ_1	Φ_2	Φ_3
0,1	1829	0,31	0,72	1
0,3	2530	0,21	0,72	1
0,4	3231	0,16	0,71	1
0,2	3932	0,16	0,71	1

Таблица 5

Матрица нормируемого частного критерия недоотпуска электроэнергии $f(W_{\text{нед}})$, о. е.

p	Θ	Φ_1	Φ_2	Φ_3
0,1	1829	1	0	0
0,3	2530	1	0	0
0,4	3231	1	0	0
0,2	3932	1	0	0

ников потребляют порядка 1829 кВт. При полной нагрузке птицефабрики прогнозируется нагрузка 3932 кВт. Устанавливаются границы неопределенного фактора — значение потребляемой мощности в настоящее время и максимальная расчетная мощность. Для снятия неопределенности исходной информации используется экспертная оценка. Предполагаемое распределение вероятностей p электрических нагрузок Θ на перспективу приведено в табл. 1, причем сумма вероятности появления того или иного состояния среды должна быть равна 1.

Таблица 1

Вероятность электрических нагрузок

p , о.е.	Θ , кВт
0,1	1829
0,3	2530
0,4	3231
0,2	3932

Задача решается по разработанному алгоритму. Предлагается резервировать наиболее ответственные технологические процессы, приводящие к большому ущербу. Предложены три вида стратегии обеспечения надежного электроснабжения птицефабрики:

стратегия Φ_1 — использование существующей схемы, обеспечивающей сетевое резервирование по кабельным линиям напряжением 6 кВ;

стратегией Φ_2 — предполагается установка дизель-генераторной установки (ДГУ) в дополнение к существующей сети электроснабжения;

стратегия Φ_3 — предусматривает установку газопоршневых установок (ГПУ) в дополнение к существующей сети электроснабжения.

Выбраны два частных критерия, позволяющие оценить надежность электроснабжения и дисконтированные затраты.

Дисконтированные затраты при суммарном резервировании аварийной мощности ДГУ таковы:

$$Z_d = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{t=1}^{T_c} K_{\text{ДГУ}} \alpha^{t-1} + \sum_{t=1}^{T_c} \left((I_{\text{топ}} + I_{\text{кап.рем}}) \alpha^{t-1} \right) \right) + \sum_{t=1}^{T_c} I_{\text{обс}} \alpha^{t-1},$$

где $K_{\text{ДГУ}}$ — капиталовложения в дизельный резервный источник, тыс. р; $I_{\text{топ}}$ — издержки на топливо, тыс. р.; $I_{\text{кап.рем}}$ — издержки на капитальный ремонт, тыс. р.; $I_{\text{обс}}$ — издержки на обслуживание, тыс. р.; n — число резервных источников энергии.

Дисконтированные затраты по каждой стратегии с учетом нагрузки птицефабрики Θ и распределения вероятностей p электрических нагрузок на перспективу сводятся в матрицу, представленную в табл. 2.

При многокритериальном выборе необходимо произвести свертку нескольких частных критериев в единый оценочный функционал. Рассмотрено два варианта. В первом — дисконтированные затраты и аварийный недоотпуск электроэнергии (табл. 6), а во втором — дисконтированные затраты и ущерб от аварийного недоотпуска электроэнергии (табл. 7, 8). Свертка рассмотренных частных критериев в единый оценочный функционал проведена аддитивным способом, результаты представлены в табл. 6.

Таблица 6

Матрица оценочного функционала рассматриваемых стратегий (дисконтированные затраты $f(Z_d)$ и недоотпуск электроэнергии $f(W_{нед})$), о.е.

p	Θ	Φ_1	Φ_2	Φ_3
0,1	1829	1,31	0,72	1
0,3	2530	1,21	0,72	1
0,4	3231	1,16	0,71	1
0,2	3932	1,16	0,71	1

В качестве другого частного критерия приняты величины ущерба от недоотпуска электроэнергии. Рассмотрены два значения удельного ущерба y_0 : минимальное (783,3 р./кВт·ч) и максимальное (4452 р./кВт·ч). Таким образом, получаются две матрицы (табл. 7, 8).

Таблица 7

Матрица частного критерия ущерба от недоотпуска электроэнергии при минимальном $y_0 = 783,3$, тыс. р.

p	Θ	Φ_1	Φ_2	Φ_3
0,1	1829	10 630	0	0
0,3	2530	14 700	0	0
0,4	3231	18 780	0	0
0,2	3932	22 860	0	0

Таблица 8

Матрица частного критерия ущерба от недоотпуска электроэнергии при максимальном $y_0 = 4452$, тыс. р.

p	Θ	Φ_1	Φ_2	Φ_3
0,1	1829	60 410	0	0
0,3	2530	83 560	0	0
0,4	3231	106 700	0	0
0,2	3932	291 800	0	0

Для сведения расчетных данных в матрицу оценочного функционала (табл. 9, 10) перевод в относительные единицы не требуется, так как используемые величины имеют равные единицы измерения.

Таблица 9

Матрица оценочного функционала рассматриваемой стратегии (дисконтированные затраты $f(Z_d)$ и ущерб от недоотпуска электроэнергии $f(Y)$ при $y_0 = 783,3$), тыс. р.

p	Θ	Φ_1	Φ_2	Φ_3
0,1	1829	16 075	12 590	17 400
0,3	2530	20 145	18 280	25 500
0,4	3231	24 225	23 970	33 590
0,2	3932	28 305	23 970	33 590

Таблица 10

Матрица оценочного функционала рассматриваемой стратегии (дисконтированные затраты $f(Z_d)$ и ущерб от недоотпуска электроэнергии $f(Y)$ при $y_0 = 4452$), тыс. р.

p	Θ	Φ_1	Φ_2	Φ_3
0,1	1829	65 855	12 590	17 400
0,3	2530	89 005	18 280	25 500
0,4	3231	112 145	23 970	33 590
0,2	3932	297 245	23 970	33 590

В итоге для всех состояний среды и вариантов частных критериев оптимальным оказался вариант резервирования птицефабрики от автономного источника. Значение оценочного функционала стратегии Φ_2 имеет наименьшую величину при всех нагрузках. Это позволяет сделать вывод о целесообразности применения ДГУ на птицефабрике в качестве резервного источника питания. Из табл. 9 видно, что даже при минимальном значении удельного ущерба стоимость резервной ДГУ меньше ущерба, наносимого аварийными отказами.

В результате проведенных расчетов величина стоимости электроэнергии, вырабатываемой местным автономным источником питания, приблизительно в 6 раз меньше, чем тариф на электроэнергию, получаемую от центральных электрических сетей [2]. Проведенные исследования позволяют с большой долей вероятности утверждать целесообразность вложения инвестиций в проекты, предусматривающие применение ДГУ в качестве автономного резервного источника электроснабжения для птицефабрик. Помимо этого бизнес по использованию таких мощностей в силу меньшего масштаба объема производства обладает меньшим предпринимательским риском и является более маневренным в части адаптации к изменяющимся условиям рынка, нежели масштабное производство. С учетом сложившейся экономической ситуации в стране и реформировании электроэнергетики проблеме привлечения капитала, изменения структуры собственности в производственной и жилищно-коммунальной сферах обеспечение сельскохо-

зяйственных товаропроизводителей автономным резервным питанием является наиболее актуальным направлением.

Список литературы

1. Дьяченко, Ю.А. Определение границ неопределенности удельного ущерба птицефабрик от аварий-

ного недоотпуска электроэнергии / Т.Б. Лещинская, Ю.А. Дьяченко // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. Агроинженерия. — 2007. — № 1 (21). — С. 13–19.

2. Дьяченко, Ю.А. Оценка целесообразности электроснабжения птицефабрики «Мирная» от автономного источника питания / Ю.А. Дьяченко // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. Агроинженерия. — 2008. — № 2 (27). — С. 39–43.

УДК 62–83:621.316

Н.П. Кондратьева, доктор техн. наук
В.А. Баженов

Ижевская государственная сельскохозяйственная академия

ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ ЛИНЕЙНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ МАСЛЯНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ ВМП–10

С переводом сельскохозяйственного производства на промышленную основу существенно повышаются требования к уровню надежности электроснабжения.

Целевая комплексная программа повышения надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей предусматривает широкое внедрение средств автоматизации сельских распределительных сетей 0,4...35 кВ как одного из наиболее эффективных способов достижения этой цели. Программа включает в себя оснащение распределительных сетей современной коммутационной аппаратурой и приводными устройствами к ним. Наряду с этим предполагается широкое использование, особенно на первом этапе, первичной коммутационной аппаратуры, находящейся в эксплуатации [1].

В настоящее время распространено применение в сельских сетях масляных выключателей (ВМ) с пружинными и пружинно-грузовыми приводами, однако из опыта эксплуатации известно, что приводы ВМ являются одним из наименее надежных элементов распределительных устройств. Это снижает эффективность комплексной автоматизации сельских электрических сетей. Например, отмечается, что 30...35 % случаев действия релейной защиты и автоматики (РЗА) не реализуется из-за неудовлетворительного состояния приводов [2], причем до 85 % дефектов приходится на долю ВМ 10...35 кВ с пружинно-грузовыми приводами. По данным некоторых авторов, 59,3 % отказов автоматического повторного включения (АПВ) на базе пружинных приводов происходит из-за блок-контактов привода и выключателя, 28,9 % — из-за механизмов включения привода и удержания его во включенном положении [3]. О неудовлетворительном состоянии и необходимости модерни-

зации и разработки надежных приводов отмечается в работах [4–7].

Имеется положительный опыт применения более надежных электромагнитных приводов постоянного тока для ВМ 10 кВ [2] на понижающих подстанциях сельскохозяйственного назначения, однако в силу ряда особенностей эти приводы не нашли широкого применения. В частности, оперативным током для привода ПЭ-11 является постоянный род тока от аккумуляторных батарей большой емкости, зарядное и выпрямительное устройство для поддержания работоспособности батарей мощностью около 100 кВА.

В процессе исследований авторы провели сбор статических данных по дефектам и отказам приводов ВМ по четырем районам электрических сетей. В качестве источника сведений о типе, сроке службы и количестве установленного оборудования использовались технические паспорта подстанций 35...110/6...10 кВ. Сведения о работе устройства РЗА получены по отчетам службы релейной защиты и автоматики (таблица).

Анализ таблицы показал, что 14,1 % аварийных перерывов связаны с несрабатыванием приводов масляных выключателей типа ВМ, несмотря на то, что по данным других исследователей это число доходит до 36 % [2]. При этом недоотпуск электроэнергии потребителям соизмерим с ущербом, получаемым при устойчивых повреждениях на присоединениях. Шестая часть отказов механизмов приводит к перерывам со средней продолжительностью до трех часов, остальные — до двух часов.

Предлагаемый авторами привод разработан на базе привода масляных выключателей электромагнитного типа ПЭ-11 с цилиндрическим линейным асинхронным двигателем (ЦЛАД) и аккумулярующим упругим элементом (рис. 1).