

О МОДЕРНИЗАЦИИ И РАЗВИТИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

АВТОРЫ:

ЖУЛЁВ А.Н.
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

БОКОВ Г.С.,
К.Т.Н.
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Распределительный электросетевой комплекс России обеспечивает население страны, промышленные и сельскохозяйственные предприятия, объекты социальной сферы и других потребителей электрической энергией. Надежность функционирования этих сетевых объектов определяет технический уровень и качество жизни всего общества. Основные фонды распределительного комплекса – это линии электропередачи напряжением 0,4–110 кВ (протяженностью более 3,2 млн км), трансформаторные подстанции с установленной мощностью около 720 млн кВА

и другие электросетевые объекты. В сельской местности используются в основном воздушные линии (0,4–110 кВ) протяженностью порядка 2,1 млн км. В городах применяются более 250 тыс. км кабельных линий напряжением 0,4–20 кВ. Их оценочная стоимость составляет около 200 млрд руб., а общая стоимость активов превышает 600 млрд руб. Однако истинное состояние активов искажается инфляцией, условиями оценки и правилами налогообложения. Знание реальной стоимости дает возможность организовывать более эффективное управление и проводить разумную техническую политику.

Распределительные электрические сети отличаются большим разнообразием схем построения используемого электрооборудования, материалов и конструкций, большим количеством сложно взаимодействующих между собой участников рынка электрической энергии. Следует отметить, что либерализация этого рынка оказала разнонаправленное влияние на эффективность функционирования сетей. Дальнейшее развитие распределительных электрических сетей требует создания сетей нового поколения, требует системного подхода и оптимизации принимаемых решений на всех стадиях их жизненного цикла.

УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

1. Современное состояние сетей характеризуется высокой степенью износа оборудования. Около 45% основных фондов находится в эксплуатации более установленных нормативных сроков. Доля изношенного оборудования постоянно увеличивается и составляет в настоящее время около 20% для подстанций (110–35)/(6–10) кВ и 35% для подстанций (6–10)/0,4 кВ.

2. Модернизация электрических сетей происходит при явной недостаточности финансовых ресурсов. По нашим расчетам, чтобы достичь необходимого технического уровня, потребуются инвестиции, равные почти 1/3 валового национального дохода. Основными же источниками инвестиций для сетевых компаний являются плата за технологическое присоединение, снижение потерь электроэнергии в сетях и амортизационный фонд. Следует отметить, что в ряде сетевых компаний объем инвестиций на техническое перевооружение и реконструкцию сопоставим или превышает их остаточную стоимость. Фактические

затраты на развитие на порядок меньше расчетных данных. Так, в Ленинградской области износ линий электропередачи составляет 60%, подстанций – почти 80%.

3. Повышаются требования к качеству электроэнергии со стороны потребителей. Современные энергопринимающие устройства (ЭПУ) не допускают перерывов питания и отклонения характеристик напряжения от нормированных значений. В то же время «умная» электроника очень чувствительна к неустойчивым режимам работы сети и требует стабильности напряжения и частоты. Поэтому надежность электроснабжения должна составлять не менее 0,99.

4. Увеличение площадей, занимаемых электрическими сетями. Эта проблема становится критической из-за быстрого роста стоимости земли, значительных ограничений при прокладке воздушных и кабельных линий в районах жилой застройки, заповедниках и природных парках. Создание электросетевых объектов связано с отчуждением земель и выводом их из сельскохозяйственного оборота или зон под городское строительство. Особенно остро эта проблема стоит в крупных городах и мегаполисах. Например, в Москве зона отвода земель уже составляет почти 2000 га (см. таблицу 1).

Анализ показывает, что грамотная реконструкция сетевых объектов позволит вовлечь в экономический оборот до 20% существующей территории городов, занятой сетевыми объектами.

5. Современный распределительный электросетевой комплекс не является единым целым. Распределительные сети имеют множество собственников: сетевые компании (в структуре ОАО «Холдинг МРСК»), муниципальные структуры (предприятия городских электрических

ИНФОРМАЦИЯ

АНАЛИЗ СРОКА СЛУЖБЫ ВЛ

В распределительных электрических сетях используются сети напряжением 0,4 кВ; 6–20 кВ; 35–110 кВ и 220 кВ.

Исходя из срока службы воздушных линий (ВЛ), по состоянию на 01.01.2010 года отработали более 30 лет:

- ВЛ напряжением 35–110 (220) кВ – 235 630 км, или 63,5% от общей протяженности ВЛ данного класса;
- ВЛ напряжением 6–20 кВ – 481 689,4 км, или 57% от общей протяженности ВЛ данного класса;
- ВЛ напряжением 0,4 кВ – 358 412,4 км, или 53,8% от общей протяженности ВЛ данного класса.

Общая протяженность воздушных линий электропередачи напряжением 0,4–110 (220) кВ, отработавших более 30 лет, составляет 1 075 732 км, или 57%.

Источник: Положение о единой технической политике ОАО «Холдинг МРСК» в распределительном сетевом комплексе.



Общая протяженность воздушных и кабельных линий электропередачи напряжением 0,38–110 (220) кВ составляет 2 033 132 км. Источник: Положение о единой технической политике ОАО «Холдинг МРСК» в распределительном сетевом комплексе

ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫЕ ОБЪЕКТЫ НА ТЕРРИТОРИИ Г. МОСКВЫ В 2007 ГОДУ

Объект	Класс напряжения, кВ			Всего
	110	220	500	
Подстанции, единица	128	128	128	128
Воздушная линия, км	660	440	40	1140
Кабельная линия, км	600	155	0,9	755,9
Зона отвода земель, га				1735

Таблица 1

сетей), ведомственные структуры (газораспределительные, нефтяные и другие компании) и частные компании. Технический уровень сетей у разных владельцев и эффективность их функционирования резко различаются. Причем эксплуатация сетей происходит в несоординированном нормативном поле. Фактически отсутствует единая техническая политика в этих сетях.

6. Ограничение пропускной способности сетей. В настоящее время по техническим условиям нет возможности выполнить технологическое присоединение всех ЭПУ потребителей к электрическим сетям. В результате растет количество неудовлетворенных заявок. В то же время распределительный электросетевой комплекс является привлекательным объектом для вложения инвестиций. Как показывают наши расчеты, инвестиции в развитие распределительных сетей окупаются за 5–7 лет.

Перечень проблем может быть продолжен. Выходом из создавшейся ситуации является проведение единой технической политики на основе современных инновационных принципов построения, формирования и управления электросетевым комплексом. При этом следует предусмотреть появление на рынке независимых производителей электроэнергии. Новая концепция разви-

тия сети должна быть адаптирована к внешним и внутренним вызовам, содержать активные элементы, функционирующие на принципах Smart grid, и предусматривать возможность превращения их в интеллектуальные (активно-адаптивные) сети. Для достижения указанной цели в рамках реализации технической политики предлагается разработать в первую очередь:

1. Новые типы силового электрооборудования, материалов и конструкций.
2. Новые методы и устройства релейной защиты и автоматики, диагностики оборудования и учета электроэнергии на микропроцессорной основе.
3. Системы мониторинга технического состояния электрооборудования, управления режимами сети и оборудованием.
4. Методы и устройства защиты сетей от внешних воздействий.
5. Мероприятия по повышению надежности электроснабжения и качества электроэнергии, а также новые принципы построения и управления электрическими сетями с использованием современных систем мониторинга режимных

6. параметров и текущей оценки состояния сети в нормальных, предаварийных, аварийных и послеаварийных режимах. Новые системы сбора, передачи и обработки информации, а также программные и технические средства адаптивного управления с возможностью воздействия в реальном масштабе времени на активные элементы сети и ЭПУ потребителей.
7. Гибкие рыночные механизмы взаимодействия сетевых компаний и потребителей.

Очевидно, что макроэкономические исследования возможного развития комплекса должны выдать:

- оценку взаимосвязи технико-экономических факторов (стоимость реконструкции, качество электроэнергии и др.);
- схему перспективного развития электрических сетей и графики инвестиционных планов строительства (реконструкции) сетевых объектов;
- инвестиционные проекты внедрения инновационных технологий и оборудования;

- экономические показатели реализации проекта.

В этой связи необходимо разработать новые методы оценки остаточной стоимости электросетевых объектов и количественные критерии оценки инвестиционной привлекательности распределительных электрических сетей. Оптимальный выбор конфигурации электрических сетей и состава включенного в работу оборудования, грамотное построение системы распределительных напряжений обеспечат минимум затрат для любой заданной нагрузки потребителей. При этом существенное уменьшение суммарных потерь активной мощности в сети может быть достигнуто в результате оптимального выбора мощности и места размещения компенсирующих устройств, подбора коэффициентов трансформации трансформаторов и выбора оборудования в соответствии со схемой построения электрической сети.

Новые концепции развития электрических сетей должны обеспечивать:

- доступ любых видов генерации и всех потенциальных потребителей к услугам электросетевой инфраструктуры;
- активность потребителей в оптимизации режимов сети с помощью современных интеллектуальных систем учета с возможностью управления набором и мощностью ЭПУ потребителей (управление спросом, многотарифные системы и т. д.);
- широкое применение децентрализованных источников энергии потребителем (собственных генераторов, топливных элементов и пр.), обеспечивающих передачу

- электроэнергии и качество электроэнергии;
- оптимизацию производства и потребления электроэнергии за счет регулирования нагрузки с максимальным учетом требований потребителей;
- максимальную самодиагностику, предупреждение сбоев, развитие технологий с самовосстановлением схем электроснабжения;
- расширение рыночных возможностей инфраструктуры за счет взаимного оказания услуг субъектами рынка и инфраструктурой;
- использование оптимальных инструментов и технологий эксплуатации и обслуживания активов;
- наблюдаемость сети (включая внешние воздействия окружающей среды), а также обработку информации о состоянии сети и ее элементов в режиме реального времени.

Для реализации концепции необходима информационная база структуры сети с иерархической системой построения от подстанций к зонам управления, регионам и сети в целом. Причем обязательно должна быть географическая и временная координация контроля и управления сетью. Временная координация должна обеспечивать локальный контроль с более медленным анализом ситуации и общим управлением. Для контроля в режиме онлайн и анализа в режиме офлайн (в целях прогнозирования, анализа динамики развития процессов в сети, анализа возможностей электропередачи) требуется система эффективной оценки состояния сети, а также программ предотвращения возникающих проблем и восстановления режима сети.

ИНФОРМАЦИЯ

ПРИЧИНЫ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЛИНИЙ

В сетях напряжением 6–20 кВ происходит в среднем до 30 отключений в год в расчете на 100 км воздушных и кабельных линий. В сетях напряжением 0,4 кВ – до 100 отключений на 100 км.

Причинами повреждений на ВЛ 6–20 кВ являются:

- изношенность конструкций и материалов при эксплуатации – 18%;
- климатические воздействия (ветер, гололед и их сочетание) выше расчетных значений – 19%;
- грозовые перенапряжения – 13%;
- несоблюдение требований эксплуатации, ошибки персонала – 6%;
- посторонние, несанкционированные воздействия – 16%;
- невыясненные причины повреждений – 28%.

Кабельные линии в классах напряжения 0,4–110 (220) кВ в основном повреждаются по следующим причинам:

- дефекты прокладки – 20%;
- естественное старение силовых кабелей – 31%;
- механические повреждения – 30%;
- заводские дефекты – 10%;
- коррозия – 9%.

ЗАВИСИМОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ВТОРОГО УРОВНЯ ОТ ИНВЕСТИЦИЙ В ПОВЫШЕНИЕ ИХ НАДЕЖНОСТИ

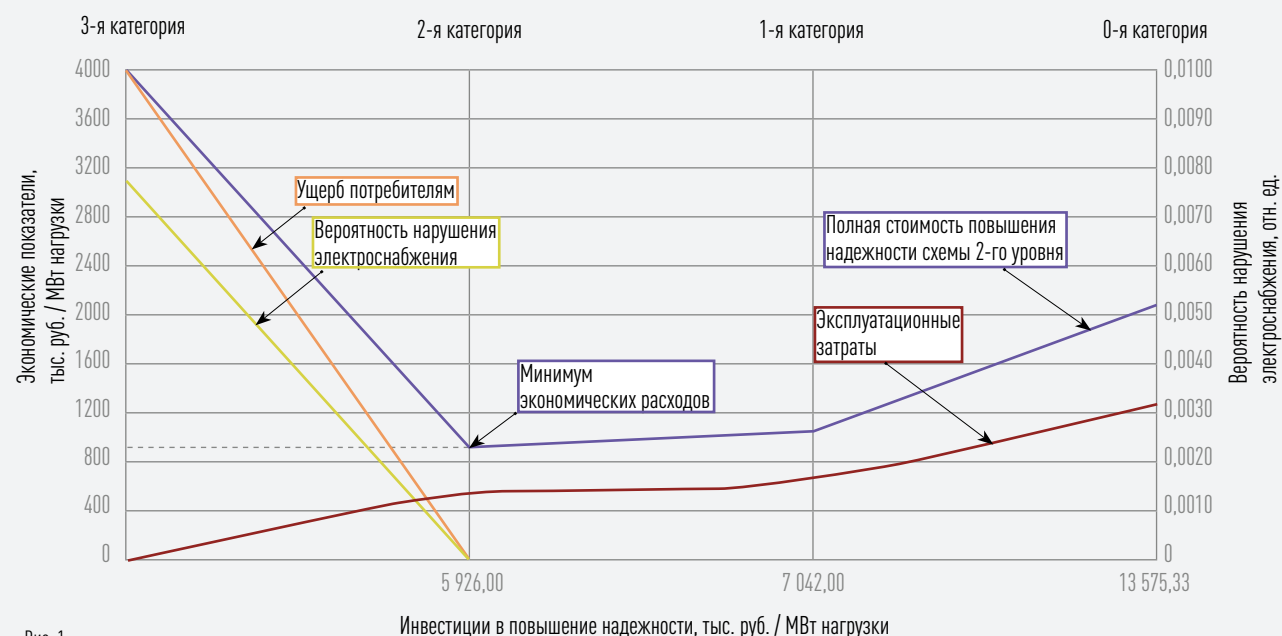


Рис. 1

Разработки перспективных электрических сетей, решающих такие задачи для конкретных потребителей, активно ведутся в мире. Российская концепция электрической сети рассматривается ОАО «ФСК ЕЭС» в виде комплекса управления энергосистемой, способного адаптивно реагировать на различные виды возмущений режимов работы сети (активно-адаптивная сеть). По экспертным оценкам эффект от внедрения в России концепции активно-адаптивной сети позволит почти на четверть снизить удельные капитальные вложения в развитие сетей.

В сетях распределительного комплекса повышение управляемости позволит противодействовать аварийным ситуациям. В сети, обладающей средствами быстрого управления режимами, поддерживается стабильность напряжения при изменениях потоков мощности, осуществляется управление потребле-

нием электроэнергии посредством выравнивания графиков нагрузки и обеспечивается высокое качество электроснабжения.

Таким образом, решение вышеперечисленных задач возможно на основе создания инфраструктуры с системами связи и обмена информацией, внедрения новых типов сетевого оборудования с мониторингом интеллектуальной сети в узловых точках.

Современные проблемы технологического и технического уровня, связанные с доставкой электроэнергии потребителю, решаются весьма эффективно и в нашей стране, и в технически развитых зарубежных странах. К примеру, для повышения пропускной способности воздушных линий (ВЛ) применяют провода из сплава алюминия (циркониевого сплава с сердечником из инвара), которые выдерживают температуру 230 °С. При этом пропускная способ-

ность линии повышается до трех раз и допускается перевод ВЛ на более высокое напряжение. Повышение пропускной способности сети достигается также оптимальным распределением потоков мощности. Эта задача решается посредством применения электронных регуляторов потоков мощности (устройств гибкого управления линиями FACTS типа UPFC).

Эффективная защита от аварийного повреждения оборудования достигается быстрой коммутацией тиристорных устройств в цепи. Полупроводниковые ограничители токов КЗ представляют собой звено встречно-параллельных тиристоров, шунтирующих сопротивление – поглотитель энергии (варистор). Такие ограничители были созданы еще в 2004 году в США и Германии на рабочие напряжения 6,9 и 8 кВ. В настоящее время разрабатываются ограничители на напряжения 69 и 138 кВ, а также новые сверх-

проводниковые ограничители токов КЗ, имеющие в обычном режиме работы нулевое сопротивление.

Стабильность напряжения в сети (при ограниченной пропускной способности) поддерживается введением дополнительных резервов мощности, а также за счет управления потреблением и выравнивания графиков нагрузок. Для управления нагрузкой непосредственно у потребителя в периоды минимальных нагрузок необходима система учета электроэнергии с использованием оптимальных тарифов и возможностью передачи сигнала на отключение нагрузки с помощью двусторонней связи с ЭПУ, позволяющей передавать сигналы управления крупными установками. Такая же связь нужна для функционирования интеллектуальных счетчиков и автоматизированной системы учета электроэнергии.

Проблемы колебаний напряжения при изменениях нагрузки целесообразно решать выравниванием графиков нагрузок, что возможно при наличии мощных накопителей электроэнергии. Данный вопрос особенно актуален в системах, использующих генерирующие мощности со случайным графиком выдачи электроэнергии, таких как, например, устройства внедрения ветроэнергетики, фотоэлектрических и других установок.

Следует отметить, что применение вычислительной техники приведет к необходимости выполнения чрезвычайно жестких требований к всем показателям качества электроэнергии, что возможно с помощью современных стабилизаторов напряжения, таких как устройство DVR (Dynamic Voltage Restorer), которое обеспечивает запас энергии в несколько МДж (типичные схемы характеризуются мощностью 15 МВт и запасаемой энергией 1050 МДж) от емкостного накопителя. Обычные

установки бесперебойного питания стоят дороже, чем устройство DVR, поскольку они рассчитываются на 100% мощности нагрузки, а в случае компенсации напряжения на 50% необходима вдвое меньшая мощность. При мощности резервной установки 20 МВт стоимость аккумуляторной батареи уже выше, чем емкостного накопителя. Стабилизаторы DVR производства корпорации AMSC (США) регулируют напряжение в сети посредством добавления реактивной мощности порядка 48-106 вар и допускают возможность 23-кратной перегрузки.

УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ

Либерализация рынка электрической энергии породила целый ряд технологических и коммерческих рисков, таких как неконтролируемые ценовые скачки, потери поставщиков, падение рынка, банкротство и др. Для обеспечения надежности электроснабжения ЭПУ потребителей необходима точная оценка предельного объема капиталовложений в повышение надежности и определение наиболее эффективной системы электроснабжения. Необходимо также рассчитать все затраты на внедрение и эксплуатацию оборудования на протяжении всего срока службы: первоначальную стоимость, освидетельствование, допуск в работу, ремонтные и эксплуатационные затраты, последующую утилизацию и т. д. Минимизация обслуживания оборудования в эксплуатационном периоде является приоритетным фактором, позволяющим снизить не только эксплуатационные затраты, но и общую цену владения.

Оптимизация надежности электроснабжения ЭПУ потребителей предусматривает процедуру проведения

ИНФОРМАЦИЯ

ПОТЕРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Среднее значение потерь электрической энергии в сетях напряжением 0,4–110 (220) кВ составляет 8,7%.

На долю потерь электрической энергии при ее передаче по сетям, находящимся на балансе Межрегиональной распределительной сетевой компании (МРСК), приходится примерно 78% от общей величины потерь в электрических сетях России, включая сети ЕНЭС, в том числе:

- в сетях напряжением 110 (220) кВ – 28%;
- в сетях напряжением 35 кВ – 16%;
- в сетях напряжением 0,4–20 кВ – 34%.

Источник: Положение о единой технической политике ОАО «Холдинг МРСК» в распределительном сетевом комплексе.

анализа и расчета соответствующих показателей производства электроэнергии, системы транспорта по сетям напряжением 220 кВ и выше, а также систем распределения по сетям первого (35–110 кВ) и второго уровня (0,4–20 кВ). Надежность магистральных сетей заключается в формировании схемы, обеспе-

МИНИМАЛЬНАЯ ВОСПРОИЗВОДСТВЕННАЯ РЕНТАБЕЛЬНОСТЬ ФОНДОВ ПРИ НОРМАТИВЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ $N_{II} = 0,12$

Линейная норма амортизации, n_a , %	7,7	2,0	5,0	10,0	20,0	25,0
Полезный срок службы T_H , лет	13	50	20	10	5	4
Минимальная воспроизводственная рентабельность, p_{min} , %	6,2	8,7	6,9	5,8	4,7	4,3

Таблица 2

чивающей передачу необходимых объемов мощности при одновременном сохранении нормативных режимных параметров, статической и динамической устойчивости. Оптимальная надежность магистральных сетей, определенная по критерию минимума полной стоимости резервирования сетей при доходности инвестиционного капитала 6%, характеризуется низкой вероятностью ограничения нагрузок потребителей в течение 13,55 ч/год. Причем величина инвестиций для повышения надежности магистральных сетей составляет около 40 тыс. руб./МВт.

Аналогичным образом определяется надежность распределительных электрических сетей напряжением 35–110 кВ. При этом пропускная способность сетей этого класса характеризуется предельными по нагреву потоками мощности на наиболее загруженных линиях электропередачи и минимально допустимыми уровнями напряжения на подстанциях.

Оптимизация уровня надежности распределительных сетей 35–110 кВ первого уровня состоит в формировании схемы, обеспечивающей передачу необходимой мощности от центров питания к региональным подстанциям при сохранении нормативных режимных параметров. Проведенные расчеты для распределительных электрических сетей первого уровня [1] показывают, что

оптимальный уровень надежности распределительных сетей первого уровня, определенный по критерию минимума полной стоимости резервирования сетей при доходности инвестиций 6%, характеризуется возможностью ограничения нагрузок потребителей в течение 2,74 ч/год.

Значение удельных капитальных вложений в повышение надежности распределительных сетей первого уровня находится в пределах 6174 тыс. руб./МВт нагрузки этих сетей.

Аналогичный анализ выполнен для сетей второго уровня (см. рис. 1).

В практике развития электрических сетей используется, как правило, прямая оценка затрат, соответствующая простому воспроизводству основных производственных средств (ОС) сетевых объектов, с использованием информации:

- о техническом состоянии и годах ввода в эксплуатацию подстанций напряжением 35–220 кВ;
- о принципиальных схемах соединений подстанций и установленном электро-техническом оборудовании;
- об объемах реконструкции и технического перевооружения подстанций и ВЛ;

- о планах реконструкции и технического перевооружения;
- о фактических и перспективных нагрузках на шинах подстанций (по данным замеров в режимные дни за три последних года);
- о разрешенной мощности присоединения к подстанциям по выданным техническим условиям за три года;
- о новом строительстве жилых и производственных зданий и объектов социальной сферы с привязкой нагрузок микрорайонов к конкретным подстанциям.

Эта и другая необходимая информация содержится в схемах перспективного развития электрических сетей с учетом Генерального плана развития региона. Причем важнейшим элементом расчетных процедур является определение электрических нагрузок. Последние определяются на основе анализа полученных замеров нагрузок за три года по каждой подстанции. Используется также информация о перспективных планах развития соответствующего региона, находящегося в зоне «ответственности» расчетной подстанции. Прогнозируемые нагрузки на конец расчетного периода определяются с учетом их

естественного роста на каждой подстанции. Нагрузки новых потребителей учитываются в соответствии с Генеральным планом развития данного региона и состоят из нагрузок по выданным техническим условиям и нагрузок планируемых к строительству новых объектов.

ПРИНЦИПЫ РЕИНВЕСТИРОВАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

В целях ускорения реализации инвестиционных проектов, направленных на техническое перевооружение и реконструкцию электросетевых объектов, в ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» был предложен принцип реинвестиций, а именно: вложение части собственной прибыли в инвестиционные проекты наряду с другими заемными средствами. При равномерном финансировании воспроизводства фондов из прибыли ежегодно в счет возмещения первоначальных инвестиций в ОС направляются денежные средства в размере, минимально необходимом для воспроизводственной рентабельности объекта. В таблице 2 приведены расчеты с различными нормами линейной амортизации при заданной норме прибыли инвестиций $N_{II} = 0,12$.

Минимальный размер реинвестиций из прибыли, необходимый для воспроизводства основного капитала, зависит от нормы дисконта. При анализе эффективности собственных инвестиций инвестор может сам рассчитать «цену своих денег» с учетом сложившейся на рынке капитала рентабельности вложений с аналогичной структурой и таким же риском. Рассматривая условия воспроизводства основного капитала, следует отметить

различие в определении принимаемых инвестиционных решений при обновлении и восстановлении ОС на действующем предприятии, с одной стороны, и финансировании новых инвестиционных проектов – с другой. В первом случае инвестиции обусловлены, прежде всего, необходимостью воспроизводства, во втором – инвестиции осуществляются в результате свободного экономического обоснованного выбора. Поэтому и требования к оценке эффективности инвестиционных решений этих двух направлений капитальных вложений различаются.

Однако во всех случаях минимальная норма прибыли на целевые инвестиции не может опускаться ниже банковского депозитного процента и доходности ценных бумаг, вложения которых всегда рассматриваются в качестве возможной альтернативы. Эффективность инвестиций может быть оценена по критерию безубыточности, т. е. инвестиции считаются эффективными, если ожидаемая внутренняя норма доходности капиталовложений N_{II} , рассчитанной по чистой прибыли предприятия, превышает минимальную воспроизводственную рентабельность основных фондов $N_{II} > p_{min}$. Принимая различные нормативы вложений из прибыли в ОС, предприятие управляет инвестиционным процессом и тем самым достигает эффективного перераспределения прибыли, накопленной в благоприятные периоды своей хозяйственной деятельности.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Развитие распределительного электросетевого комплекса связано с решением множества различных задач, решение которых требует оптимизации технологических и технических условий. В этой связи

следует разработать нормативно-правовую и методическую базу проведения оптимизационных исследований в электросетевом комплексе.

2. Реализации оптимизационных условий должна предшествовать разработка схем перспективного развития распределительных электрических сетей:

- схем развития электрических сетей 110 кВ в составе схем развития ЕНЭС;
- схем развития сетей 35 кВ и ниже для электросетевого комплекса субъектов Российской Федерации.

3. Инвестиционные программы, программы повышения надежности и энергосбережения и другие инновационные проекты нового строительства или реконструкции электросетевых объектов в распределительных электрических сетях требуют соответствующего экономического анализа и определения оптимального использования финансовых ресурсов, имеющихся в распоряжении предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Непомнящий В. А. Экономико-математическая модель надежности энергосистем и их электрических сетей // Электричество, 2011, № 2. – с. 5–16.
2. Колосов С. В., Рыжков С. В., Слюксин В. Е. Повышение пропускной способности ВЛ: анализ технических решений. – М.: ЗАО «НТЦ «Электросети», 2010.
3. Методические рекомендации по проектированию развития энергосистем (СО 153–34.20.118–2003). Раздел 5. Развитие электрических сетей. Общие положения. Выбор схем и параметров основных электрических сетей. Выбор схем и параметров распределительных сетей. Расчеты режимов электрических сетей.