

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

С. О. Хомутов, В. А. Рыбаков, В. Д. Горшенина

В статье приводятся общие сведения по построению математической модели, позволяющей осуществлять планирование мероприятий по энергосбережению применительно к конкретной сетевой компании. Рассматриваются мероприятия по энергосбережению в электросетевом хозяйстве. Определяются показатели системы массового обслуживания, а также приводятся результаты разработки методики оптимизации данных показателей.

Ключевые слова: энергосбережение, электрические сети, потери, теория массового обслуживания.

Как известно, в последние годы энергетика обеспечивала рост благосостояния во всем мире примерно в равных долях как за счет увеличения производства энергоресурсов, так и за счет улучшения их использования. При этом в развитых странах меры по энергосбережению обеспечивали около 65 % экономического роста. В результате энергоёмкость национального дохода уменьшилась за десятилетие в мире на 18 %, тогда как в развитых странах – на 27 %. Таким образом становится очевидным, почему повышение энергетической эффективности экономики, т. е. принятие системных мер по энергосбережению, является основной задачей Энергетической стратегии России на период до 2030 года, утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 года № 1715-р.

Названная Энергетическая стратегия предусматривает реализацию комплекса организационных и технологических мер экономии топлива и энергии, т. е. проведения целенаправленной энергосберегающей политики. Реализация апробированных в мировой практике организационных и технологических мероприятий по экономии энергоресурсов способна к 2020 году уменьшить их расход в нашей стране на 40-48 % к уровню 2007 года или на 360-430 млн. т. у. т. в год. При этом около 30 % потенциала энергосбережения имеют отрасли топливно-энергетического комплекса, еще 30 % – отрасли промышленности и строительство, свыше 25 % – коммунально-бытовой сектор, 6-7 % – транспорт и 3 % – сельское хозяйство [1].

Не секрет, что энергосбережение является одной из самых серьезных проблем нового тысячелетия, от результатов решения которой зависит не только место России в ряду развитых в экономическом отношении

стран, но и уровень жизни ее граждан. Наша страна располагает всеми необходимыми природными ресурсами и интеллектуальным потенциалом для успешного решения своих энергетических проблем, а также является ресурсной базой для европейских и азиатских государств, экспортируя электрическую энергию, нефть и природный газ в объемах, стратегически значимых для стран-импортеров. Тем не менее, такая избыточность топливно-энергетических ресурсов России не должна предусматривать их нерациональное использование, т. к. только энергоэффективное хозяйствование в условиях рыночной экономики является важнейшим фактором конкурентоспособности российских товаров и услуг.

Таким образом, целью выполненного исследования является разработка методики планирования мероприятий по энергосбережению применительно к конкретному хозяйству страны.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие основные задачи:

- проанализировать существующие мероприятия по энергосбережению в различных отраслях хозяйства страны;
- рассмотреть современные мероприятия по энергосбережению, проводимые филиалом ОАО «МРСК Сибири» – «Алтайэнерго»;
- определить показатели системы массового обслуживания (СМО), позволяющей повысить эффективность мероприятий по энергосбережению в электрических сетях;
- разработать методику оптимизации найденных показателей СМО;
- обосновать экономическую эффективность использования полученной в ходе исследования математической модели.

Энергосбережение в различных отраслях хозяйства страны

Как известно, энергоэффективность и энергосбережение входят в число пяти стратегических направлений приоритетного технологического развития России. При этом энергосбережение является общенациональной задачей и неотъемлемой частью процесса модернизации экономики страны, в который вовлечены не только хозяйствующие субъекты, но и все общество в целом.

23 ноября 2009 года в нашей стране был принят Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...», в котором определены приоритеты государственной политики в сфере энергосбережения и повышения энергоэффективности. В нем, в частности, предусматривается:

1 В области энергобезопасности:

- полное и надежное обеспечение населения, объектов бюджетно-социальной сферы и предприятий всех форм собственности энергоресурсами по доступным ценам;
- снижение рисков и недопущение кризисных ситуаций в обеспечении всеми видами энергии;
- дальнейшее формирование целостной энергетической системы на основе существующего пространства межрегиональных топливно-энергетических услуг и связей.

2 В области энергетической эффективности экономики:

- снижение удельных затрат на производство и использование энергоресурсов за счет рационализации их потребления;
- применение энергосберегающих технологий и оборудования во всех секторах социально-экономической жизни страны;
- максимально полное и эффективное использование местных топливно-энергетических ресурсов, включая возобновляемые источники энергии.

3 В области экономической эффективности энергетики:

- развитие и территориальная диверсификация энергетической инфраструктуры;
- реконструкция, модернизация и техническое перевооружение действующих мощностей топливно-энергетического комплекса;
- оптимизация государственного воздействия на функционирование топливно-энергетического комплекса;
- расширение практики взаимодействия государства и частного бизнеса;
- стимулирование энергосбережения населением и хозяйствующими субъектами.

4 В области экологической безопасности энергетики:

- минимизация техногенного воздействия топливно-энергетического комплекса на окружающую среду и здоровье граждан;
- внедрение инновационных технологий добычи, переработки, транспортировки, реализации и потребления топливно-энергетических ресурсов, приводящих к сокращению вредных выбросов в окружающую среду и техногенного влияния на климат.

Опуская результаты проведенного анализа существующих на сегодняшний день мероприятий по энергосбережению в различных отраслях хозяйства страны, более подробно остановимся на мероприятиях по энергосбережению в электросетевом хозяйстве.

Не секрет, что величина потерь электроэнергии в электрических сетях является важнейшим показателем экономичности их работы, а также наглядным индикатором состояния системы учета электроэнергии и эффективности деятельности энергоснабжающих организаций. Данный показатель отчетливо свидетельствует о продолжающемся накоплении проблем, которые требуют комплексного решения в области реконструкции, модернизации и технического перевооружения электрических сетей, совершенствования методов и средств их эксплуатации и управления, а также повышения точности учета электроэнергии и эффективности сбора средств за поставленную электроэнергию.

По мнению международных экспертов, относительные потери электроэнергии при ее передаче и распределении в электрических сетях большинства стран можно считать удовлетворительными, если они не превышают 4-5 % [2]. Потери электроэнергии на уровне 10 % считаются максимально допустимыми с точки зрения физики передачи электроэнергии по сетям [3]. Это подтверждается и уровнем потерь электроэнергии в большинстве энергосистем бывшего СССР, который не превышал, как правило, 10 %.

Тем не менее, в настоящее время почти повсеместно наблюдается существенное превышение указанных выше значений абсолютных и относительных потерь электроэнергии. Так, на сегодняшний день этот уровень превышен в 1,5-2 раза, а по отдельным электросетевым предприятиям – в 3 раза, что, очевидно, свидетельствует об актуальности проблемы снижения потерь электроэнергии в электрических сетях, а также выдвигает ее в одну из задач обеспечения финансовой стабильности организаций.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Мероприятия по энергосбережению в электросетевом хозяйстве

Типовой перечень мероприятий по энергосбережению в магистральных и распределительных электрических сетях хорошо известен и включен в отраслевую инструкцию [4].

Как показали расчеты [2], основной эффект в снижении технических потерь электроэнергии может быть получен за счет технического перевооружения, модернизации, повышения пропускной способности и надежности работы электрических сетей, сбалансированности их режимов, т. е. за счет внедрения капиталоемких мероприятий. Основными из этих мероприятий, помимо указанных в [4], для электрических сетей 110 кВ и выше являются следующие:

- широкое внедрение регулируемых компенсирующих устройств для оптимизации потоков реактивной мощности и снижения недопустимых или опасных уровней напряжения в узлах сети;

- строительство новых линий электропередачи и повышение пропускной способности существующих линий для ликвидации дефицитных узлов и завышенных транзитных перетоков мощности;

- развитие нетрадиционной и возобновляемой энергетики (малых гидроэлектростанций, ветроэлектростанций, приливных, геотермальных ГЭС и т. п.) для выдачи малых мощностей в удаленные дефицитные узлы электрических сетей.

Очевидно, что как на ближайшую, так и на удаленную перспективу останутся актуальными вопросы оптимизации режимов электрических сетей по активной и реактивной мощности, регулирования напряжения в сетях, оптимизации загрузки трансформаторов, выполнения работ под напряжением. При этом к приоритетным мероприятиям по снижению технических потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях 0,4-35 кВ традиционно относят [2]:

- использование 10 кВ в качестве основного напряжения распределительной сети;

- увеличение доли сетей 35 кВ;

- сокращение радиуса действия и строительство воздушных линий 0,4 кВ в трехфазном исполнении по всей длине;

- применение самонесущих изолированных и защищенных проводов для ВЛЭП напряжением 0,4-10 кВ;

- использование допустимого сечения провода в электрических сетях 0,4-10 кВ с целью адаптации их пропускной способности к росту нагрузок в течение всего срока службы;

- разработка и внедрение нового, более экономичного, электрооборудования, в частности, распределительных трансформаторов с уменьшенными активными и реактивными потерями холостого хода, а также встроенных в КТП конденсаторных батарей;

- применение столбовых трансформаторов 6-10/0,4 кВ малой мощности для сокращения протяженности сетей напряжением 0,4 кВ и потерь электроэнергии в них;

- более широкое использование устройств автоматического регулирования напряжения под нагрузкой, вольтдобавочных трансформаторов, средств местного регулирования напряжения для повышения качества электроэнергии и снижения ее потерь;

- комплексная автоматизация и телемеханизация электрических сетей, применение коммутационных аппаратов нового поколения, средств дистанционного определения мест повреждения в электрических сетях для сокращения длительности неоптимальных ремонтных и послеаварийных режимов, поиска и ликвидации аварий;

- повышение достоверности измерений в электрических сетях на основе использования новых информационных технологий, автоматизации обработки телеметрической информации.

Тем не менее, учитывая многообразие и высокую капиталоемкость вышеперечисленных мероприятий, а также принимая во внимание ограниченность средств на реконструкцию электрических сетей, необходимо сформулировать новые подходы к выбору мероприятий по снижению технических потерь и оценке их сравнительной эффективности в условиях акционирования энергетики, когда решения по вложению средств принимаются уже не с целью достижения максимума «народнохозяйственного эффекта», а с целью получения максимума прибыли конкретного АО, достижения запланированных уровней рентабельности производства и распределения электроэнергии.

В названных условиях ограниченных средств на развитие, модернизацию и техническое перевооружение электрических сетей становится все более очевидным, что каждый вложенный в совершенствование системы учета рубль сегодня окупается значительно быстрее, чем затраты на повышение пропускной способности сетей и даже на компенсацию реактивной мощности. Совершенствование учета электроэнергии в современных условиях позволяет получить прямой и достаточно быстрый эффект. Так, в частности, по оценкам специалистов филиала ОАО

«МРСК Сибири» – «Алтайэнерго», только замена старых однофазных счетчиков класса 2,5 на новые класса 2,0 повышает собираемость средств за переданную потребителям электроэнергию на 10-20 %. В денежном выражении по России в целом это составляет около 1–3 млрд. руб. в год [2].

В свою очередь, основным и наиболее перспективным решением проблемы снижения коммерческих потерь электроэнергии является разработка, создание и широкое применение автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ), в т. ч. для бытовых потребителей, а также тесная интеграция этих систем с программным и техническим обеспечением автоматизированных систем диспетчерского управления (АСДУ), обеспечение АСКУЭ и АСДУ надежными каналами связи и передачи информации. Однако эффективное внедрение АСКУЭ – задача долговременная и дорогостоящая, решение которой возможно лишь путем поэтапного развития системы учета, ее модернизации, метрологического обеспечения измерений электроэнергии, совершенствования нормативной базы.

Кроме того, большое значение на стадии внедрения мероприятий по снижению потерь электроэнергии в сетях имеет и, так называемый, человеческий фактор, под которым понимается [2]:

- обучение и повышение квалификации персонала;
- осознание персоналом важности для компании в целом и для его работников лично эффективного решения поставленной задачи;
- мотивация персонала, моральное и материальное стимулирование;
- связь с общественностью, широкое оповещение о целях и задачах снижения потерь, ожидаемых и полученных результатах.

В итоге должен быть создан такой экономический механизм, который бы ставил в прямую зависимость премирование персонала компании от его активности и эффективности работы в области энергосбережения.

Мероприятия по энергосбережению в электрических сетях филиала ОАО «МРСК Сибири» – «Алтайэнерго»

Рассмотрим более подробно мероприятия по энергосбережению, проводимые крупнейшей сетевой компанией региона – филиалом ОАО «МРСК Сибири» – «Алтайэнерго». С учетом снижения потерь электроэнергии, вызванных сокращением отпуска в сеть и обусловленных физическими процессами,

происходящими при ее передаче, а также потерь электрической энергии во вновь введенном в эксплуатацию оборудовании, в 2011 году достигнуто снижение относительного уровня потерь к показателям 2010 года на 0,95 % (рисунок 1).

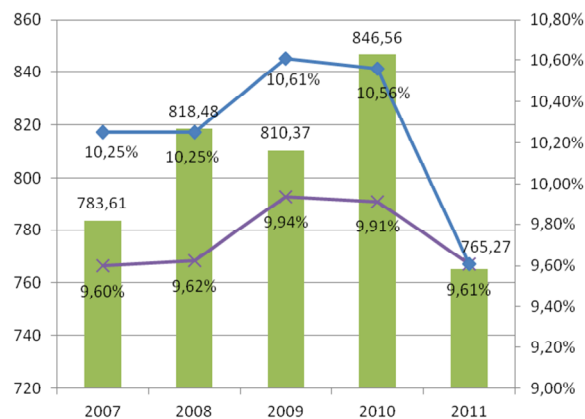


Рисунок 1 – Динамика потерь электроэнергии в абсолютной и относительной величине

Снижение фактических потерь электроэнергии за 2011 год по сравнению с 2010 годом составило 81,3 млн. кВтч, в т. ч. снижение нетехнических потерь составило 66,701 млн. кВтч, а снижение технологических потерь – 2,521 млн. кВтч. Данное снижение потерь электроэнергии в сетях филиала ОАО «МРСК Сибири» – «Алтайэнерго» достигнуто путем выполнения комплексных «Программ снижения потерь электроэнергии», включающих в себя организационные, технические мероприятия и мероприятия, направленные на совершенствование систем расчетного и технического учета электроэнергии.

Основными мероприятиями, способствующими снижению расхода электроэнергии на технологический процесс в филиале ОАО «МРСК Сибири» - «Алтайэнерго», являются:

- отключение трансформаторов на двух и более трансформаторных подстанциях (220)110/35/10 кВ и 110(35)/10 кВ в режиме малых нагрузок;
- отключение трансформаторов КТП 10/0,4 кВ с сезонной нагрузкой;
- выравнивание нагрузок фаз 0,4 кВ путем перераспределения подключенных потребителей;
- увеличение сечения перегруженных линий электропередачи 10 и 0,4 кВ;
- замена перегруженных и недогруженных силовых трансформаторов;
- оптимизация загрузки и режимов работы распределительных электрических сетей.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Кроме того, в числе организационных мероприятий по энергосбережению, проводимых в Алтайэнерго, можно выделить:

- сокращение продолжительности технического обслуживания и ремонта основного оборудования подстанций и сетей;
- проведение контрольных снятий показаний с расчетных приборов учета;
- выявление нарушений в системе учета;
- проведение инструментальных проверок комплексов учета электрической энергии;
- снижение расхода электроэнергии на собственные нужды подстанций путем оптимизации времени работы:
 - а) вентиляторов системы охлаждения силовых трансформаторов;
 - б) средств обогрева приводов коммутационной аппаратуры силового оборудования подстанций;
 - в) средств отопления / вентиляции зданий подстанций;
 - г) средств освещения зданий и территории подстанций.

Информация об эффективности основных мероприятий по снижению технологических потерь в электрических сетях в 2011 году приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Основные мероприятия по снижению потерь электроэнергии за 2011 год

Наименование мероприятия	Снижение потерь, млн. кВтч
Замена проводов линий электропередачи	0,069
Замена перегруженных / недогруженных трансформаторов	0,009
Отключение трансформаторов на 2-х трансформаторных подстанциях и на подстанциях с сезонной нагрузкой	2,225
Выравнивание нагрузок фаз в сетях 0,4 кВ	0,114
Оптимизация рабочих напряжений в центрах питания радиальных электрических сетей	0,081
Замена ответвлений от ВЛЭП 0,4 кВ к зданиям	0,023

В свою очередь, нетехнические потери электроэнергии по Алтайэнерго в 2011 году были снижены на 66,701 млн. кВтч. Данное снижение потерь электроэнергии обусловлено выполнением Программы мероприятий по модернизации комплексов учета электро-

энергии и выполнению задач по договорам на оказание услуг по передаче.

Более того, только за 2011 год было установлено и заменено 5,6 тыс. приборов коммерческого учета, что позволило увеличить учитываемый объем оказанных услуг по передаче электрической энергии в среднем на 1,04 %. В итоге снижение потерь электроэнергии от снижения систематической инструментальной погрешности «устаревшего» парка расчетных приборов учета по итогам 2011 года составило 0,654 млн. кВтч.

Тем не менее, как уже упоминалось ранее, существующее многообразие мероприятий по энергосбережению, а также форм и способов их реализации с одной стороны и сложность структуры, большое количество объектов, требующих проведения мероприятий по энергосбережению, с другой стороны, обуславливают проблему, заключающуюся в невозможности принятия оптимальных решений без использования соответствующих математических методов.

Система массового обслуживания, повышающая эффективность мероприятий по энергосбережению

Процесс эксплуатации электрических сетей является процессом массового обслуживания и его решение описывается в терминах этой теории [5]. Основная с практической точки зрения задача обеспечения максимально возможной эффективности работы участков электрической сети достигается за счет оптимизации функционирования СМО посредством ситуационного управления процессами массового обслуживания данных участков с целью минимизации времени их неэффективной работы [6].

Практическая реализация ситуационного управления в СМО состоит в автоматизации управляемого процесса диспетчеризации сроков и качества восстановлений участков сети. Объектом управления в данном случае является СМО, для которой определяется группа критериев качества ее функционирования за счет использования информации о текущем состоянии системы. Подобное управление невозможно без применения вычислительной техники и для организации рационального процесса функционирования СМО необходима разработка автоматизированной системы управления процессом массового обслуживания (АСУ ПМО), которую можно отнести к классу АСУ дискретными технологическими процессами [7].

В настоящее время в сетевых компаниях сложилась удобная ситуация для широкого внедрения АСУ ПМО: существует, как было показано выше, острая потребность в подобной системе, имеются необходимые вычислительные средства для синтеза и реализации процедур управления процессами массового обслуживания, накоплен определенный опыт проектирования и внедрения подобных систем.

Однако, несмотря на потребность сетевых компаний в АСУ ПМО, позволяющих наиболее полно использовать выбор методов по энергосбережению в электрических сетях, они пока не находят широкого практического применения в данной отрасли. Распространено мнение, что применение оптимальных управляемых дисциплин обслуживания во многих случаях нецелесообразно из-за трудоемкости их применения. Действительно, существующие математические методы, алгоритмические и программные средства синтеза оптимальных управляемых дисциплин обслуживания являются весьма неэффективными в отрасли, т. к. изначально они были разработаны для решения кардинально других вопросов и их адаптация под нужды сетевой компании приводит к большим материальным и временным затратам, которые подчас превышают выигрыш от использования оптимальных управляемых дисциплин обслуживания. Тем не менее, как было доказано выше, решение данной задачи применительно к энергосбережению в электрических сетях является оправданным шагом, позволяющим вывести процесс принятия решений по энергосбережению на новый качественный уровень, а также достичь существенного экономического эффекта.

Опуская промежуточные итоги математического моделирования системы массового обслуживания, приведем лишь конечный результат, т. к. именно он является важным с точки зрения достижения цели исследования.

Неэффективно работающие электрические сети являются причиной возникновения убытков, которые можно оценить следующим образом. Вероятность того, что неэффективно работающий участок электрической сети будет ожидать проведения мероприятий по энергосбережению больше некоторого времени t равна

$$P\{\gamma > t\} = \prod e^{-(K_L(T)\beta - \lambda)t} \quad (t \geq 0),$$

где T – длительность наблюдения;

λ – интенсивность потока заявок на проведение мероприятий по энергосбережению;

K_L – количество линий обслуживания (число бригад, одновременно реализующих мероприятия по энергосбережению).

Время простоя состоит из времени ожидания и времени непосредственного проведения энергосберегающих мероприятий $T_{прост} = t_{ож} + t_{восст}$.

Тогда суммарные затраты при собственной системе обслуживания

$$W = \sum_{i=1}^k S_{mat,i} + A + 3 \cdot N_{раб} + \sum_{i=1}^k Y_{прост,i} \cdot (t_{ож} + t_{восст}),$$

где k – количество неэффективно работающих участков сети за период времени T ;

S_{mat} – расход материалов на энергосбережение по одному участку сети, руб.;

A – постоянные затраты на текущее обслуживание и амортизационные отчисления;

3 – зарплата одного рабочего;

$N_{раб}$ – количество рабочих;

$Y_{прост,i}$ – убытки от неэффективной работы одного участка электрической сети.

Каждый эффективно работающий участок электрической сети приносит некоторую прибыль $V_{раб,i}$, определяемую по [8]. Тогда математическое ожидание объема прибыли в течение установленного периода времени рассчитывается по формуле

$$M[V] = \frac{aR(n-1,a)}{R(n,a)} \sum_{i=1}^k V_{раб,i} \cdot t_{раб,i},$$

где $t_{раб,i}$ – время работы i -го участка электрической сети в течение установленного периода времени.

Для соблюдения условия безубыточности работы необходимо, чтобы прибыль была больше затрат $M[V] > W$,

$$\frac{aR(n-1,a)}{R(n,a)} \sum_{i=1}^k V_{раб,i} \cdot t_{раб,i} > \sum_{i=1}^k S_{mat,i} + A + 3 \cdot N_{раб} + \sum_{i=1}^k Y_{прост,i} \cdot (t_{ож} + t_{восст}),$$

откуда $t_{ож} < B_1 - t_{восст}$,

где

$$B_1 = \frac{\frac{aR(n-1,a)}{R(n,a)} \sum_{i=1}^k V_{раб,i} \cdot t_{раб,i} - \sum_{i=1}^k S_{mat,i} - A - 3 \cdot N_{раб}}{\sum_{i=1}^k Y_{прост,i}}.$$

Вероятность того, что $t_{ож}$ будет меньше расчетного времени t находится из выражения $P(t_{ож} < t) = 1 - \prod e^{-(K_L(T)\beta - \lambda)t}$ или

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

$$P(t_{ож} < \frac{B_1}{\sum_{i=1}^{n_g} Y_{проситi}} - t_{рем}) = 1 - \prod e^{-(K_n(T)\beta - \lambda)(B_1 - t_{рем})}$$

Условие $t_{ож} < B_1 - t_{рем}$ является условием безубыточной работы сетевой компании, и, таким образом, вероятность $P_{бы1}$

$$P_{бы1} = 1 - \prod e^{-(K_n(T)\beta - \lambda)B_1}$$

Выразим количество линий обслуживания через вероятность безубыточной работы.

Разделив на \prod и убрав -1 в степени, получаем

$$e^{(K_n(T)\beta - \lambda)B_1} = \frac{\prod}{1 - P_{бы1}}$$

$$\text{или } K_n(T)\beta - \lambda = \frac{\ln\left(\frac{\prod}{1 - P_{бы1}}\right)}{B_1},$$

$$\text{откуда } K_n(T) = \frac{\ln\left(\frac{\prod}{1 - P_{бы1}}\right) + \lambda\beta}{\beta B_1}$$

Вероятность безубыточной работы изменяется от нуля до единицы. Качественно зависимость между данной вероятностью и количеством линий обслуживания приведена на рисунке 2 [9].

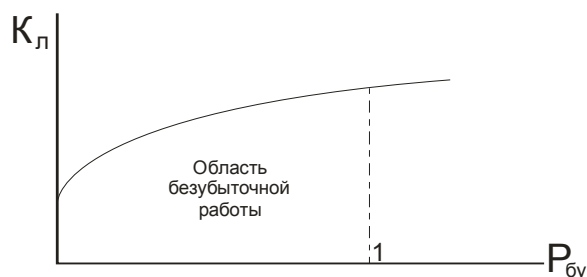


Рисунок 2 – Зависимость между количеством линий обслуживания и вероятностью безубыточной работы энергокомпании

Определить точное значение вероятности безубыточной работы, при котором количество линий обслуживания будет оптимальным, можно на основе сравнения затрат на их содержание и суммарных издержек на эксплуатацию всех линий с применением описанной в [10] схемы Ховарда. Данный расчет в виду своей трудоемкости выполняется на ЭВМ. Полученные результаты моделирования легли в основу разработанной методики планирования мероприятий по энергосбережению в сетевых компаниях. Данная методика позволяет с учетом специфики и сезонности работы оборудования электрических се-

тей разрабатывать рекомендации по объему и срокам выполнения мероприятий по энергосбережению в каждом конкретном случае.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергосберегающие технологии и материалы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.refsr.ru.com/referat-9118-1.html>. – Загл. с экрана.
2. Воротницкий, В. Э. Мероприятия по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях энергоснабжающих организаций [Электронный ресурс] / В. Э. Воротницкий, М. А. Калинкина, В. Н. Апяткин // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». – 2003. – № 7 (19). – Режим доступа: http://escosys.narod.ru/2003_7/art52.htm. – Загл. с экрана.
3. Бохмат, И. С. Снижение коммерческих потерь в электроэнергетических системах / И. С. Бохмат, В. Э. Воротницкий, Е. П. Татаринов // Электрические станции. – 1998. – № 9. – С. 53–59.
4. Инструкция по снижению технологического расхода электрической энергии на передачу по электрическим сетям энергосистем и энергообъединений. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1987.
5. Хинчин, С. Я. Математические задачи теории массового обслуживания / С. Я. Хинчин. – М.: Высш. шк., 2003. – 286 с.
6. Бурлаков, М. В. Ситуационное управление в системах массового обслуживания / М. В. Бурлаков. – Киев: Наук. думка, 1991.
7. Вентцель, М. А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / М. А. Вентцель. – М.: Высш. шк., 1999. – 342 с.
8. Рыбаков, В. А. Разработка методики планирования ремонта электродвигателей в сельском хозяйстве на основе математического моделирования их жизненного цикла: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / В. А. Рыбаков. – Барнаул, 2007. – 168 с.
9. Хомутов, С. О. Планирование затрат при эксплуатации электрооборудования на основе использования критериев подобия обобщенного хозяйства / С. О. Хомутов, В. А. Рыбаков // Сборник научных трудов кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий». – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2004. – С. 65–72.
10. Банди, Б. Методы оптимизации. Вводный курс / Б. Банди; пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.: ил.

Хомутов С. О., д.т.н., профессор, ведущий преподаватель, E-mail: homutov.so@yandex.ru;
Рыбаков В. А., к.т.н., доцент, E-mail: valera2281@yandex.ru, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», +7(385-2)29-07-76; **Горшенева В. Д.**, инженер 1 категории, E-mail: gorshenina_vd@ba.mrsks.ru, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, филиал ОАО «МРСК Сибири» – «Алтайэнерго», +7 (913) 234-45-97