

МЕТОДЫ РАСЧЁТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Классификация, этапы и перспективы развития.

Воротницкий В. Э., главный научный сотрудник ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС», д.т.н.

Эффективное снижение потерь электроэнергии в электрических сетях путем внедрения соответствующих технико-экономических обоснованных мероприятий невозможно без достоверной информации о величине и, в первую очередь, о структуре потерь. Именно по этой причине разработке, внедрению и развитию методов расчёта технологических потерь всегда уделялось, уделяется и будет уделяться большое внимание. Как известно для расчётов потерь необходима полная и достоверная информация о режимных параметрах электрических сетей (уровнях напряжения и нагрузках в узлах и ветвях), действительных активных сопротивлениях элементов электрических сетей, фактических климатических условиях их работы, техническом состоянии и т.п. Различия и усовершенствования методов расчёта, предложенных и предлагаемых отдельными специалистами, в основном, заключаются в попытках или восполнить расчётным путём недостающую информацию, или повысить её точность за счёт её обобщения и использования статистических данных за аналогичные прошедшие периоды.

Следует заметить, что в последние годы значительно активизировались развитие и внедрение автоматизированных информационно-измерительных систем коммерческого учёта, автоматизированных систем диспетчерского управления как в магистральных, так и распределительных сетях. Появилась реальная возможность использовать имеющуюся оперативную информацию о режимах работы электрических сетей и режимах потребления электроэнергии для повышения эффективности и достоверности расчётов потерь электроэнергии. Всё большее развитие в связи с этим получают оперативные вероятностно-статистические методы расчёта. Можно с полной уверенностью констатировать, что именно такое развитие с учётом новых возможностей интеллектуальных средств сбора, передачи,

обработки и отображения информации, управления нагрузкой и электропотреблением станет главной задачей на ближайшие годы. Понятно, что её решение потребует значительных капитальных и эксплуатационных затрат, времени, высокой квалификации персонала и достаточно скрупулезного технико-экономического анализа. Ясно и то, что к такому решению требуется двигаться поэтапно, определяя приоритетные направления на каждом этапе, учитывая передовой отечественный и зарубежный опыт расчётов. С учётом этого опыта все известные методы расчёта потерь мощности и электроэнергии в электрических сетях можно представить в виде рис. 1.1 и 1.2 в зависимости от периодичности, назначения, информационной обеспеченности, уровней напряжения, структурных составляющих и оборудования электрических сетей. Очевидно, что предлагаемая классификация, как и любая другая, носит субъективный характер и может быть уточнена и детализирована. Тем не менее, она в определённой мере упорядочивает имеющееся разнообразие методов по некоторым наиболее существенным признакам и иллюстрирует необходимость учёта целей решаемых задач при выборе того или иного метода расчёта.

К традиционным задачам, при решении которых необходим расчёт технологических потерь электроэнергии, относятся:

- расчёт и анализ балансов, фактических и допустимых небалансов электроэнергии в электрических сетях в целом, на отдельных участках, подстанциях;
- выявление «очагов» технических потерь электроэнергии, выбор, оценка эффективности и определение очередности мероприятий по их снижению;
- выявление и локализация нетехнических потерь, разработка и оценка эффективности мероприятий по совершенствованию учёта электроэнергии;
- обоснование нормативов потерь электроэнергии с целью их учёта в тарифах на услуги по передаче электроэнергии;

- расчёт технологических потерь в электрической сети между точкой поставки и точкой измерения электроэнергии, если эти точки не совпадают между собой и если в точке поставки отсутствуют средства учёта.

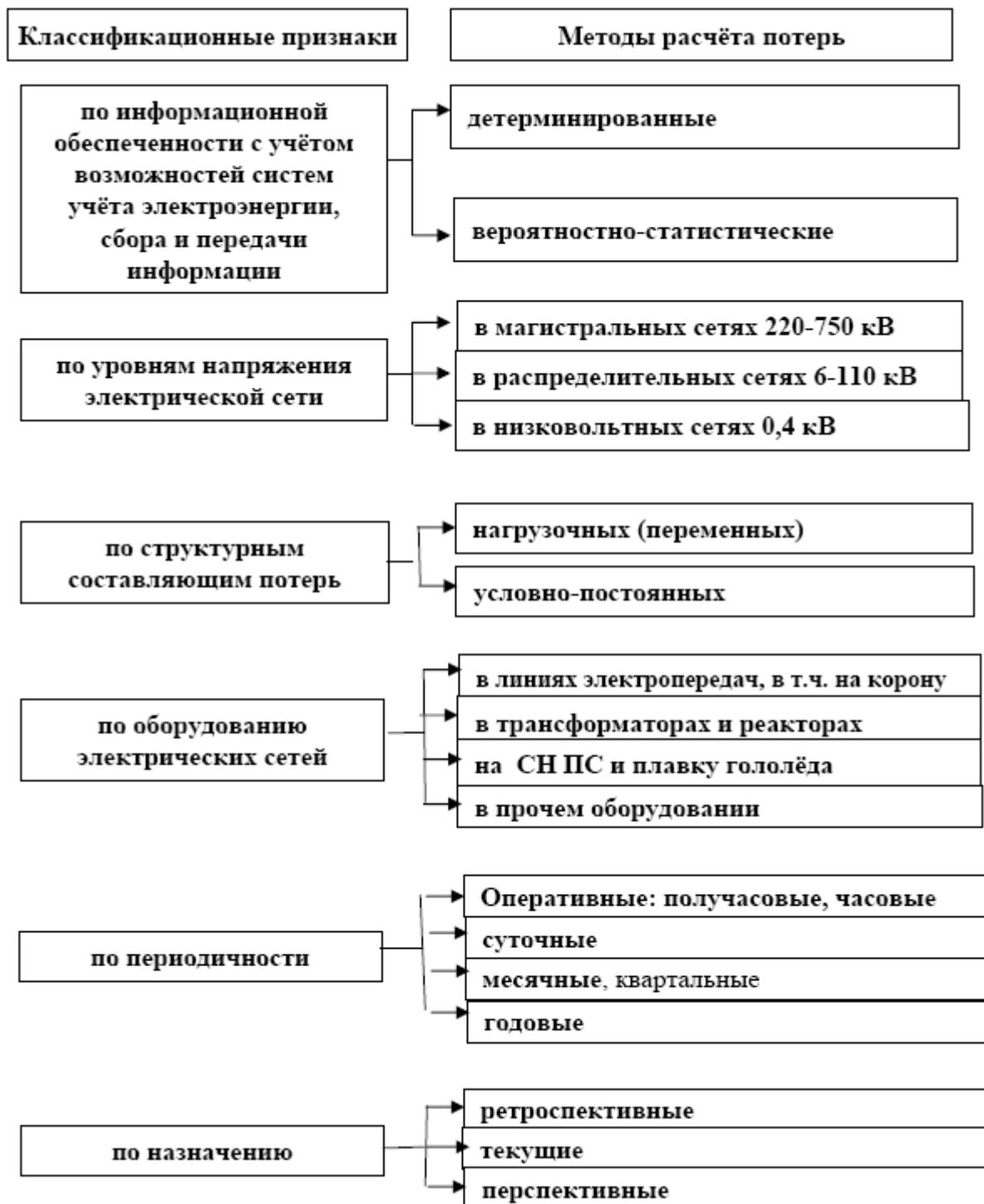


Рис. 1.1 Классификация методов расчёта потерь мощности и электроэнергии в электрических сетях.

С образованием оптового и развитием розничных рынков электроэнергии, новыми хозяйственными и экономическими отношениями субъектов этих рынков, всё более актуальными становятся и новые задачи расчёта технологических потерь электроэнергии, в том числе:

- оперативный мониторинг потерь мощности и электроэнергии на получасовых и часовых интервалах не только для сети в целом, но и для отдельных участков, линий и трансформаторов с целью своевременного принятия решений по снижению этих потерь;
- оперативный расчёт, анализ и прогнозирование потерь от транзитных перетоков мощности и электроэнергии, разделение этих потерь между участниками рынка электроэнергии по степени их влияния на величину транзитных потерь;
- прогноз потерь электроэнергии «на сутки вперёд» для повышения точности прогнозирования балансов электроэнергии на соответствующих торговых площадках;
- прогноз потерь электроэнергии на среднесрочную и долгосрочную перспективу с учётом прогнозов электропотребления, развития электрических сетей, ввода нового генерирующего оборудования, климатических условий для повышения обоснованности программ развития электроэнергетики, программ энергосбережения и повышения энергетической эффективности электросетевого комплекса;
- учёт дополнительных факторов, влияющих на потери мощности и электроэнергии в электрических сетях, в том числе:
 - несимметрии и несинусоидальности токов и напряжений для принятия своевременных и обоснованных мер по повышению качества электроэнергии и уточнения фактической пропускной способности электрических сетей;
 - старения оборудования электрических сетей, дефектов контактных соединений и т.п.

- расчёт балансов, технических и нетехнических потерь в электрических сетях различных хозяйствующих субъектов: товариществ собственников жилья (ТСЖ), в том числе во внутридомовых электрических сетях многоквартирных жилых домов; садовых товариществ и коттеджных поселков; многочисленных организаций, оказывающих услуги по передаче электроэнергии по арендуемым ими электрическим сетям и т.п.

За последние сорок лет достигнут очевидный и существенный прогресс в совершенствовании и развитии методов расчёта потерь. Основные усилия при этом были направлены на повышение точности этих расчётов за счёт их адаптации к имеющейся в электрических сетях исходной информации, к новым возможностям вычислительных средств. Упрощенная блок-схема алгоритма выбора и совершенствования методов расчёта представлена на рис. 1.3. Из рисунка видно, что выбор направления совершенствования методов определяется требованиями к точности расчётов, зависящими от необходимости их проведения, периодичности, назначения и возможностей на данном этапе развития систем сбора и передачи информации, в первую очередь, учётной информации. Обязательным условием совершенствования методов должна быть обратная связь (ОС) между повышением требований к точности расчётов и постоянным анализом результатов расчёта потерь, сравнением расчётных и фактических потерь электроэнергии, применяемых и эталонных методик расчёта. Необходимым условием повышения точности расчёта технологических потерь электроэнергии должно быть также безусловное обеспечение необходимой точности и полноты исходной информации для выбранной методики расчёта. Поскольку точность и полнота исходной информации объективно постоянно повышаются с учётом новых возможностей средств сбора данных, их обработки, измерения и анализа, программно-технических комплексов, процесс совершенствования методов расчёта потерь должен быть практически непрерывным. Это подтверждается всем предыдущим опытом развития таких методов.

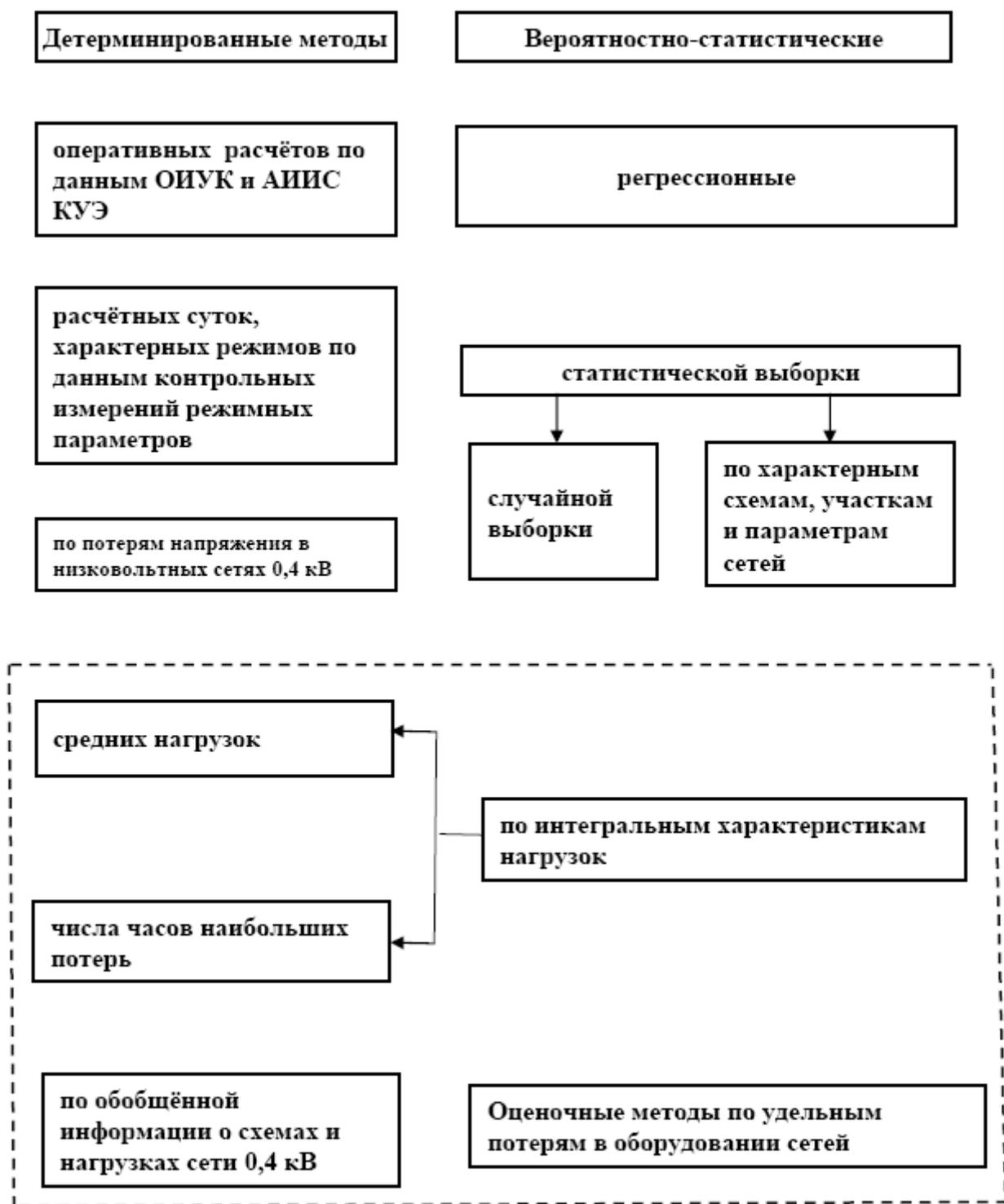


Рис.1.2 Классификация детерминированных и вероятностно-статистических методов расчёта потерь электроэнергии. Пунктиром обведены методы, которые одновременно можно отнести и к детерминированным и к вероятностно-статистическим.

Активное развитие методологии расчётов технических потерь электроэнергии в электрических сетях совпадает с началом внедрения вычислительной техники в практику расчётов режимов электрических сетей в середине 60-х годов XX века. К этому времени уже имелась развитая теоретическая и математическая основа для расчётов и оптимизации режимов работы магистральных и распределительных электрических сетей, в том числе, для расчётов потерь мощности и электроэнергии в них.

1. Уже к середине 70-х годов XX века были утверждены первые нормативные документы по расчёту и анализу потерь в электрических сетях энергосистем, в том числе, Временная инструкция по расчёту и анализу потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем и Указания о расчёте расхода энергии на транзитные и межсистемные перетоки [1, 2], ориентированные на применение ЭВМ. В 1980-1982 г.г. введены в действие первые инструкции по организации внедрения, планированию и оценке эффективности мероприятий по снижению потерь электроэнергии, в том числе, Инструкция по оптимальному управлению потоками реактивной мощности и Инструкция по расчёту технико-экономической эффективности и планированию мероприятий по снижению расхода электроэнергии на её транспорт в электрических сетях энергосистем [3, 4]. В те же годы вышли в свет ряд книг, посвященных расчётам, анализу и снижению потерь электроэнергии в электрических сетях, в том числе [5÷8]. Уже к середине 80-х годов XX века был накоплен достаточно большой опыт применения методов расчёта потерь электроэнергии в электрических сетях, разработанных и внедренных различными научными школами бывшего Советского Союза, применительно к существующим в то время информационному обеспечению расчётов и математическим методам обработки информации. Активно формировались основные пути развития этих методов. По результатам внедрения Временной инструкции 1976 г. [1], в 1987 г. была разработана и в 1988 г. введена в действие Инструкция по расчёту и анализу технологического расхода электроэнергии на передачу по электрическим сетям энергосистем и энергообъединений [9]. По

существованию, эта Инструкция почти на 20 лет стала методической основой расчёта технологических потерь в электрических сетях. За эти годы был накоплен значительный опыт расчётов потерь, существенное развитие получили их информационное и программное обеспечение. Появилась возможность расширить номенклатуру структурных составляющих потерь с уточнением методов их оценки. Одновременно менялись подходы к планированию и нормированию потерь на среднесрочную и долгосрочную перспективу: от планирования по принципу «от достигнутого уровня» к нормированию по нормативным характеристикам потерь и, наконец, - к нормированию потерь по результатам подробных схемно-технических расчётов. Важнейшим этапом этого процесса стал ввод в действие в 2006 году «Инструкции по организации в Министерстве промышленности и энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при её передаче по электрическим сетям» (утв. приказом Минэнерго России от 4 октября 2005 г. № 267, зарегистрировано в Минюсте России 28 октября 2005 г., регистрационный №7122). Регистрация приказа в Минюсте России фактически распространила действие этой Инструкции не только на электрические сети ОАО «ФСК ЕЭС» и ОАО «Холдинг МРСК», но практически на все электрические сети России, оказывающие услуги по передаче электрической энергии, на которые утверждается в установленном порядке соответствующий тариф.

С учётом накопленного опыта нормирования технологических потерь, с 2009 г. введена в действие новая Инструкция по организации в Министерстве энергетики РФ работы по расчёту и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при её передаче по электрическим сетям (утв. приказом Минэнерго России от 30.12.2008 г. №326, зарегистрировано Минюстом РФ от 12.02.2009 г. №13314 [10]) (далее Инструкция) и соответствующая этой Инструкции «Методика расчёта технологических потерь электроэнергии при её передаче по электрическим сетям в базовом периоде» (Приложение 2).

В Инструкции:

- уточнена структура технологических потерь электроэнергии;
- установлены общие принципы нормирования технологических потерь;
- уточнены методы расчёта нагрузочных и условно постоянных потерь электроэнергии, определены порядок и области их применения;
- установлены формы таблиц результатов расчёта балансов и потерь электроэнергии, обосновывающих нормативы потерь.

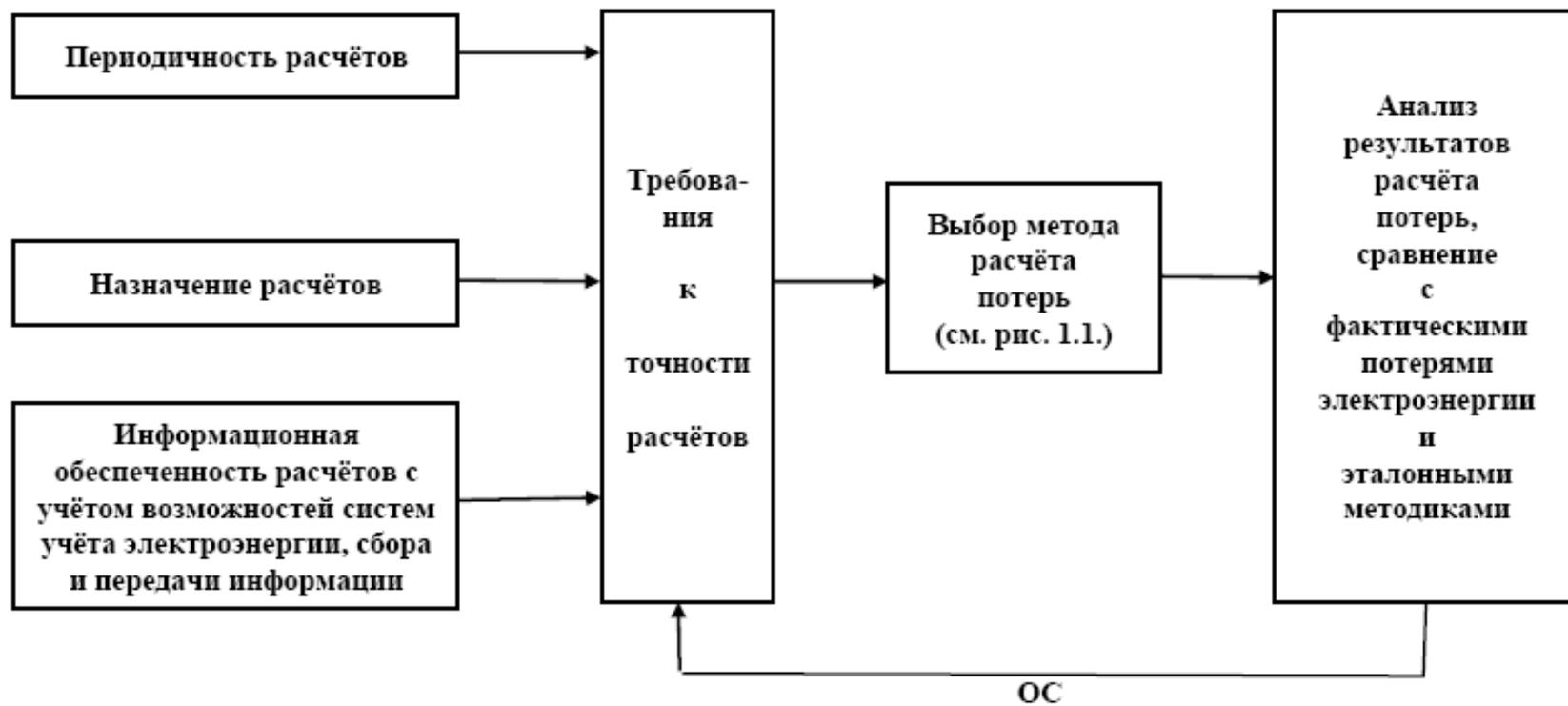


Рис. 1.3 Основные факторы, влияющие на выбор, точность, область применения и направления совершенствования методов расчёта потерь электроэнергии в электрических сетях

Цель ввода в действие Инструкции – создание современной методической и организационной основы для расчёта нормативов технологических потерь электроэнергии в электрических сетях 0,4-750 кВ для учёта этих нормативов в тарифе на услуги по передаче электрической энергии по электрическим сетям и для снижения потерь электроэнергии.

В соответствии с Инструкцией расчёты переменных (нагрузочных) потерь электроэнергии в зависимости от уровня напряжения электрической сети и наличия исходной информации для расчётов должны выполняться по методам (рис. 1.2):

- оперативных расчётов;
- расчётных суток;
- средних нагрузок;
- числа часов наибольших потерь мощности;
- оценки потерь по обобщённой информации.

Эти методы перечислены в порядке уменьшения их точности и соответствующего увеличения количества допущений в расчётах. Очевидно, чем выше уровень напряжения электрической сети, тем больше, как правило, объём и оперативность имеющейся исходной информации для расчётов потерь, тем более точный метод может и должен использоваться. Поэтому для сетей 110 кВ и выше практически обязательным на сегодняшний день становится метод оперативных расчётов с необходимостью повышения достоверности исходной информации о режимных параметрах – нагрузках и уровнях напряжения. Для преимущественно разомкнутых сетей 6-35 кВ допускается использование метода средних нагрузок (в исключительных случаях – метод числа часов наибольших потерь мощности при оценочных расчётах).

Для электрических сетей 0,4 кВ, в силу их большого количества, протяженности и слабой информационной обеспеченности в качестве основного метода Инструкцией рекомендован метод оценки потерь по обобщённой информации. В то же время, как было отмечено выше, уже

сегодня в электрических сетях этого класса напряжения с развитием розничных рынков электроэнергии и внедрением АИИС КУЭ бытовых потребителей вполне реальными и перспективными становятся поэлементные оперативные расчёты.

Анализ опыта расчётов и нормирования технологических потерь электроэнергии в соответствии с указанными приказами показал следующее [11]:

1. Минэнерго России сформирована база данных по электросетевому комплексу России, включающая в себя данные по протяженности электрических сетей по уровням напряжения, по количеству и установленной мощности силовых трансформаторов и их загрузке, балансовым показателям ПАО «ФСК ЕЭС», структурных подразделений ПАО «Россети» и наиболее крупных территориальных сетевых организаций (ТСО).

2. Практически во всех РСК и большей части ТСО созданы базы данных для расчётов и анализа технологических потерь, приобретены и активно используются соответствующие сертифицированные программные комплексы;

3. В ТСО сформировались квалифицированные группы (подразделения) по расчётам, анализу и снижению потерь электроэнергии;

4. Подготовлена работоспособная методология экспертизы (контроля и анализа) предоставляемых в Минэнерго России расчётных обоснований нормативов.

5. Выявились ряд проблем расчётов и нормирования, существенно затрудняющих работу, в том числе:

- трудоёмкость расчёта технологических потерь;
- трудоёмкость анализа со стороны Минэнерго России представленных исходных данных и результатов расчётов;
- стремление ряда сетевых организаций повысить нормативы потерь, отсутствие стимулов к их снижению;

- норматив технологических потерь электроэнергии утверждается в целом по сети без разбивки по уровням напряжения.

6. Перечисленные трудности и проблемы с нормированием технологических потерь на основе электротехнических расчётов вполне преодолимы и решаемы на основе:

- установления действенной системы экономического стимулирования персонала электрических сетей к снижению нормативов технологических потерь и фактических потерь в целом;

- обеспечения жёсткой связи системы нормирования технологических потерь и внедрения программ энергосбережения и повышения энергетической эффективности, одновременности контроля выполнения нормативов и этих программ;

- ужесточения контроля достоверности нормативов технологических потерь за счёт создания автоматизированной системы мониторинга результатов расчёта, анализа баз данных, в том числе на основе бенчмаркинга результатов расчёта технологических и фактических потерь, всего комплекса основных влияющих факторов, а не отдельных из них. Анализ должен основываться на классических электротехнических законах, а не на волевых субъективных решениях.

7. Как известно, практика отдельного расчёта и анализа технических и коммерческих потерь электроэнергии существует и в сетевых компаниях промышленно развитых стран. Намеченные в Минэнерго России, ПАО «ФСК ЕЭС» и ПАО «Россети» программы инновационного развития электросетевой инфраструктуры электроэнергетики России на базе внедрения интеллектуального учёта электроэнергии, активно-адаптивного управления режимами электрических сетей не только не отменяют расчёты и оптимизацию режимов электрических сетей, а, напротив, предполагают их активное использование для энергосбережения и повышения энергетической эффективности, в том числе, для анализа и нормирования потерь

электроэнергии. Только опираясь на расчеты режимов электрических сетей, можно:

- полноценно оценить влияние многочисленных факторов, влияющих на величину потерь;
- выделить в суммарной величине фактических потерь электроэнергии её технологическую и коммерческую составляющие;
- использовать результаты расчётов технологических потерь электроэнергии не только для их нормирования, но и для достоверного прогнозирования, а главное, для определения «очагов» технических и коммерческих потерь электроэнергии, разработки, обоснования и оценки эффективности мероприятий по снижению потерь. Не зная структуры потерь, нельзя разработать и внедрить эффективные программы снижения потерь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

2. Временная инструкция по расчёту и анализу потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем – М: СПО ОРГРЭС, 1976 – 56с.
3. Указания о расчёте расхода энергии на транзитные и межсистемные перетоки – М: СПО Союзтехэнерго, 1979 – 16с.
4. Казанцев В.Н., Кушнир Г.З., Слодарж В.Н. Инструкция по оптимальному управлению потоками реактивной мощности – М: СПО Союзтехэнерго, 1982 – 28 с.
5. Инструкция по расчёту технико-экономической эффективности и планированию мероприятий по снижению расхода электроэнергии на её транспорт в электрических сетях энергосистем. – М: СПО Союзтехэнерго, 1980 – 94с.
6. Клебанов Л.Д. Вопросы методики определения и снижения потерь электрической энергии в сетях – Л: Изд-во ГУ, 1973 – 72с.
7. Пospelов Г.Е., Сыч Н.М. Потери мощности и энергии в электрических сетях – М: Энергоиздат, 1981 – 26с.

8. Щербина Ю.В., Бойко Н.Д., Бутенко А.Н. Снижение технологического расхода энергии в электрических сетях. – К: Техника, 1981 – 104с.
9. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем /В.Э. Воротницкий, Ю.С. Железко, В.Н. Казанцев, В.Г. Пекелис, Д.Л. , Д.Л. Файбисович, Под ред. В.Н. Казанцева – М: Энергоиздат, 1983 – 368с.
10. Инструкция по расчёту и анализу технологического расхода электрической энергии на передачу по электрическим сетям энергосистем и энергообъединений (авт. В.Э. Воротницкий, Ю.С. Железко, В.М. Максимов, В.Н. Казанцев, Ю.М. Комлев, А.П. Шаманов, И.С. Щербаков) М: СПО Союзтехэнерго, 1987, И 34-70-030-87, - 38с.
11. Приказ Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 г. №326 «Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работ по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при её передаче по электрическим сетям» (с изменениями и дополнениями) base.garant.ru/195516/
11. Воротницкий В.Э., Михайлов В.В. Направления совершенствования нормирования потерь электроэнергии в электрических сетях. Энергоэксперт, 2013, №3, с.46-50.