

## **ПОДХОД К АЛГОРИТМИЗАЦИИ ВЫБОРА ТОЧКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЕТЯМ**

Г.Г. Гребенюк, А.А. Крыгин, С.М. Никишов

Отмечено, что принятие решений о подключении потребителей к энергосетям представляет собой одну из наиболее трудоемких проблем — как для потребителей электрической энергии, так и для энергетических предприятий и организаций. Показано, что выбор точки присоединения потребителя к энергосети имеет много вариантов решения, каждый из которых требует знания технологии передачи и распределения энергии в сетях, характеристик сетевого оборудования и др. Предложен системный подход, позволяющий ускорить и автоматизировать процесс принятия решений о технической возможности технологических присоединений энергоприемников потребителей к распределительным электрическим сетям.

**Ключевые слова:** электроснабжение, технологическое присоединение, алгоритмы выбора.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В условиях развития экономики страны, увеличения существующих электрических мощностей в различных отраслях народного хозяйства, появления новых производственных и энергетических объектов, объектов торговли, массового жилищного и коттеджного строительства остро встала задача ускорения принятия решений по технологическим присоединениям энергоприемных устройств потребителей к электрическим сетям. Те временные интервалы, которыми в настоящее время характеризуются процессы принятия решений о присоединении, неприемлемы и тормозят развитие народного хозяйства. В то же время длительность выработки этих решений объясняется необходимостью проведения достаточно сложного анализа схем и характеристик электрических сетей, выполняемого в настоящее время в ручном режиме специалистами энергоснабжающих и специализированных предприятий и организаций.

По этим причинам подключение потребителей к сетям в настоящее время представляет собой одну из наиболее болезненных проблем — как для

потребителей электрической энергии, так и для энергетических предприятий и организаций.

Основные задачи, возникающие в процессе принятия решений, заключаются в установлении технической возможности подключения к сети и выборе точки присоединения к ней энергоприемного устройства (ЭПУ) потребителя. Точкой присоединения к электрической сети называют место физического соединения ЭПУ потребителя с электрической сетью сетевой организации. Задача выбора точки присоединения имеет много вариантов решения, каждый из них требует знания технологии передачи и распределения энергии в сетях, характеристик сетевого оборудования, топологии сети и др. Как правило, для точки присоединения выбирается то сетевое устройство, которое электрически наиболее близко к ЭПУ потребителя. Однако при оптимизации решения этой задачи следует учитывать много других характеристик.

Анализ литературы по технологическим присоединениям показал, что работ, раскрывающих данную тематику довольно мало. В них отражены важные, но отдельные аспекты задачи [1—4], отсутствует комплексный подход к алгоритмизации выбора оптимальной точки присоединения с уче-



том наиболее значимых характеристик сети и ЭПУ потребителей.

Цель работы заключается в разработке алгоритмов выбора точки присоединения ЭПУ заявителя к электрической сети, пригодных для использования в системе поддержки принятия решений о технической возможности присоединения.

## 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРИСОЕДИНЕНИЯ ЭНЕРГОПРИНИМАЮЩИХ УСТРОЙСТВ К СЕТИ

В состав электрических сетей входят множество распределительных устройств (РУ) и множество трансформаторных подстанций (ТП). Распределительные устройства предназначены для приёма и распределения электрической энергии различного напряжения и служат для маршрутизации потоков энергии по линиям передачи и распределения от ее источников до потребителей. Трансформаторные подстанции предназначены для преобразования напряжения уровней напряжения, в их состав входят и РУ.

На рис. 1 представлен фрагмент структурной схемы распределительной сети электроснабжения городского района, содержащий центры питания ЦП1, ЦП2 и ЦП3, преобразующие напряжение 220 и 110 кВ в напряжение 6 и 35 кВ, распределительную подстанцию РП1, трансформаторные под-

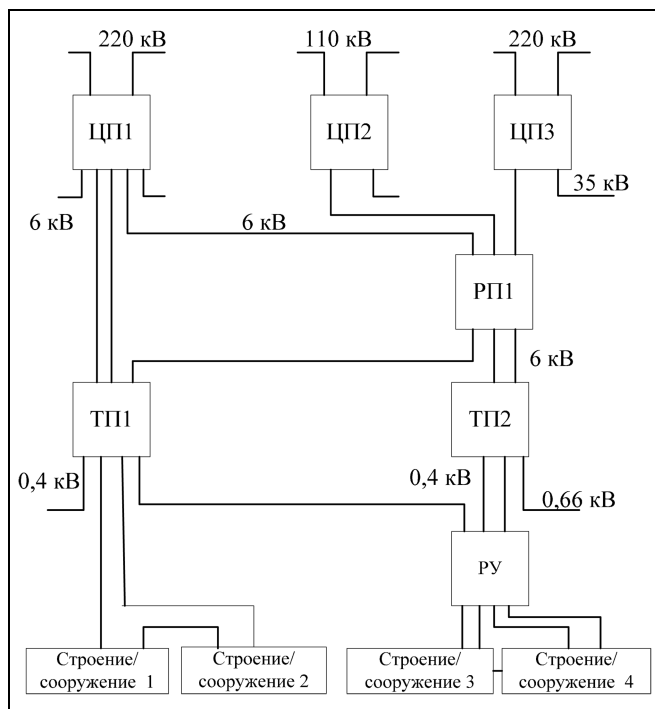


Рис. 1. Фрагмент структурной схемы распределительной сети электроснабжения городского района

станции ТП1 и ТП2, преобразующие напряжение 6 кВ в напряжение 0,4 кВ, распределительное устройство РУ и ЭПУ, располагающиеся в строениях/сооружениях 1—4. Нагрузка части потребителей изображена в виде отводов от центров питания и трансформаторных подстанций. В распределительном пункте РП1 и распределительном устройстве РУ осуществляется маршрутизация электроэнергии по нагрузкам без изменения напряжения. Центры питания получают энергию от генераторов электрических станций энергосистемы через, как правило, замкнутые системообразующие сети напряжением 110, 220 кВ и выше.

Абонент выбирает подключение к электрическим сетям на уровне высокого или низкого напряжения. На уровне низкого напряжения энергоустановки подсоединяются к местной электросети. На уровне высокого напряжения, как правило, присоединению к высоковольтной сети подлежит подстанция с низковольтной секцией. Энергоприемные устройства присоединяются к сетевым устройствам, которыми являются ячейки трансформаторных подстанций высокого и низкого напряжений, распределительных пунктов и устройств, наружных распределительных шкафов, а также к воздушным линиям, подвешенным к опорам, точнее, к ячейкам шкафа, устанавливаемого на опоры в месте присоединения.

На рис. 2. изображена упрощенная принципиальная схема электроснабжения городского района (основные обозначения соответствуют обозначениям на рис. 1; небольшими квадратиками обозначены устройства коммутации, обеспечивающие введение резервной схемы распределения энергии при авариях; ЛЛ1 — ЛЛ17 — линии электропередачи; Т1 — Т3 — трансформаторы).

В качестве устройств ввода, устанавливаемых в здании, служат вводно-распределительные устройства или главные распределительные щиты низкого напряжения.

Как правило, низковольтная часть системы распределения электроэнергии включает в себя ЭПУ переменного тока и распределительную электрическую сеть, состоящую из ТП напряжением 10(6)/0,4 кВ и низковольтной линии электропередачи.

Особенность задачи о присоединении заключается в необходимости анализа характеристик не только устройства, к которому подключается ЭПУ, но и сетевых устройств, от которых к нему передается энергия. Так ЭПУ, присоединяемое к сети 0,4 кВ, нагружает не только ТП и низковольтные линии питания (электропередачи), но и линии питания и устройства высоковольтной части распределительной сети, к которой подключены ТП.

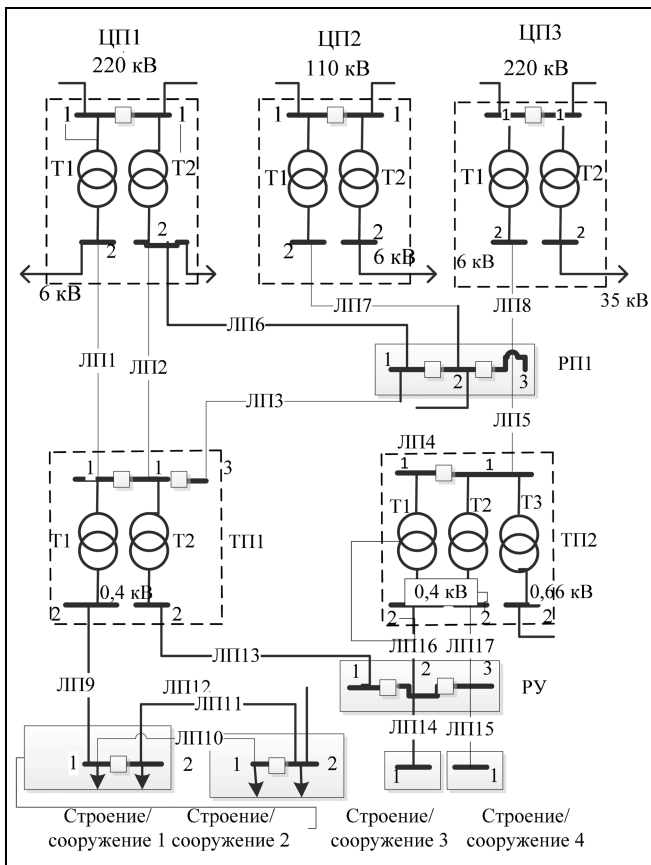


Рис. 2. Упрощенная принципиальная схема электроснабжения городского района

Поэтому в анализ возможности присоединения низковольтной ЭПУ входит также и анализ линий питания и устройств высоковольтной сети вплоть до центра питания.

## 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИСОЕДИНЕНИЙ

В постановлении Правительства [5] сформулированы в общем виде критерии наличия технической возможности присоединения к сети, которые требуют сохранения условий электроснабжения для уже присоединенных ЭПУ, отсутствия ограничений на присоединяемую мощность в объектах электросетевого хозяйства и необходимости реконструкции или сооружения новых объектов в смежных сетевых организациях для удовлетворения потребности заявителя.

Считается, что в случае несоблюдения любого из указанных критериев техническая возможность технологического присоединения отсутствует. Однако эти критерии не являются строгими, так как они не указывают конкретных границ технической

возможности присоединения. Сам механизм применения критериев, наличие ограничений на объекты электросилового хозяйства закрыты для заявителя и, кроме того, имеются противоречия в применении этих критериев на практике. Так, в соответствии с законодательством РФ, включение объектов электросилового хозяйства в инвестиционную программу уже означает появление технической возможности присоединения и служит основанием для заключения договора независимо от соответствия указанным критериям.

Принятие решения о присоединении должно основываться на четких показателях, согласующихся с перечисленными критериями и учитывающими все значимые факторы. Анализ документов [1, 5] позволил выделить значимые показатели для принятия решения о присоединении ЭПУ:

- расстояние от ЭПУ до точки присоединения;
- наличие свободных ячеек для присоединения;
- категория надежности энергосбережения;
- резерв мощности узлов питания;
- резерв пропускной способности питающих линий;
- потеря напряжения на питающих линиях;
- согласованность с инвестиционной программой;
- мощность и ток в послеаварийном режиме;
- мощность и ток с учетом действующих договоров о присоединении;
- мощность и ток с учетом заключенных договоров на присоединение;
- планируемая мощность и ток на конец года с учетом присоединенных потребителей, заключенных договоров на технологическое присоединение и реализации планов капитальных вложений (инвестиционных программ).

**Постановка задачи.** На основе известных характеристик объектов сети, места нахождения энергоприемного устройства и топологии сети разработать алгоритм выбора точки присоединения энергоприемного устройства, удовлетворяющей сформулированным показателям возможности технологического присоединения. ♦

Важно, что при выходе значения показателя на ограничение необходимо обратиться к программе инвестиций и проверить, входит ли анализируемый энергообъект в эту программу и удовлетворяют ли его параметры критериям. Если объект входит в инвестиционную программу, то необходимо учесть его характеристики после реализации этой программы. Например, может отсутствовать резерв пропускной способности линии, но ее реконструкция входит в программу инвестиций, в этом случае сроки ввода в эксплуатацию и характерис-



тики линии должны учитываться при принятии решения.

Все значимые показатели должны рассчитываться для тех объектов, условия электроснабжения которых изменяются при появлении дополнительной нагрузки на сеть в виде ЭПУ заявителя. Эти объекты находятся на маршруте передачи энергии от центра питания до присоединяемого ЭПУ. Об алгоритме поиска маршрутов передачи энергии будет сказано далее.

### 3. СПОСОБЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, ЗНАЧИМЫХ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ О ПРИСОЕДИНЕНИИ ЭПУ

**Расстояние от ЭПУ до точки присоединения** — показатель, важный для минимизации затрат заявителя на прокладку линий питания до точки присоединения.

Алгоритм поиска ближайших к строению/сооружению (с присоединяемым ЭПУ) узлов питания реализуется средствами геоинформационных систем (ГИС) и обеспечивает обнаружение объектов сети и получение их координат на электронной карте, находящихся внутри окружности заданного радиуса с центром в строении/сооружении.

В результате работы алгоритма определяются узлы питания — кандидаты на присоединение ЭПУ, ближайшие от строения/сооружения с присоединяемым ЭПУ (рис. 3).

С помощью ГИС определяются также расстояния между любыми объектами на карте, включая расстояния от присоединяемого ЭПУ до кандидата на точку присоединения.

**Категория надежности электроснабжения.** Потребители электрической энергии могут быть ус-

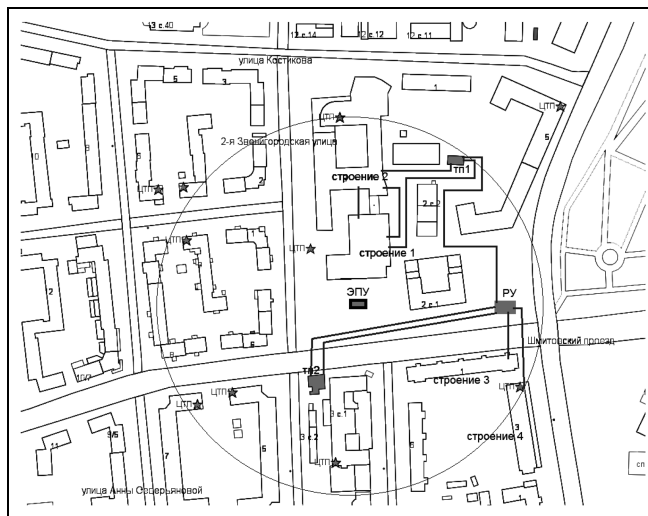


Рис. 3. Поиск узлов питания для присоединения ЭПУ на карте города

ловно разделены на три категории надежности электроснабжения (табл. 1) [6]. В составе I категории выделяется дополнительная особая группа потребителей, для которых устанавливается более двух независимых источников электроснабжения.

Алгоритм обеспечения заданной категории надежности электроснабжения заявителя заключается в выполнении анализа электрической схемы узла питания — кандидата на точку присоединения и схемы электроснабжения района, в результате которого на электронном носителе определяется число независимых источников, к которым может быть присоединено ЭПУ и, следовательно, категория надежности его электроснабжения.

**Состояние распределительного устройства.** При анализе электрической схемы узла питания определяется состояние распределительного устройства и наличие в нем свободных ячеек для присоединения дополнительной нагрузки.

**Резерв мощности узлов питания.** Ограничения на присоединение дополнительной мощности возникают, когда мощности вновь присоединяемого ЭПУ могут привести к дефициту мощности в других элементах сети, находящихся на маршруте передачи энергии к этому ЭПУ. Мощность трансформатора в послеаварийном режиме считается известной величиной. Резерв мощности узлов питания вычисляется как разность между установленной мощностью и каждой из мощностей, перечисленных в § 2.

**Резерв пропускной способности питающих линий.** Пропускная способность питающей линии — это максимальное значение тока, который она может пропустить для потребителей электрической

Таблица 1

Категории надежности электроснабжения

Категория	Число источников питания	Примечание
I особая группа	2	Третьим (вторым) независимым источником может быть электростанция, дизель-генераторная установка, индивидуальный блок питания и др.
	3	
II	2(1)	Рекомендуется питание от двух источников
III	1	Число источников питания не нормируется

энергии. Пропускная способность ограничивается допустимым током — паспортной характеристикой провода данной марки и сечения.

Для определения пропускной способности рассчитывается ток питающих линий и сравнивается с допустимым. Решение о присоединении принимается при наличии резерва пропускной способности, который вычисляется для расчетных, договорных и режимных токов, перечисленных в § 2. Ток линии в послеаварийном режиме считается известной величиной. Может учитываться и максимальный ток по данным режимного дня [1].

Резерв пропускной способности вычисляется как разность между допустимым током и каждым из перечисленных в § 2 токов или их сочетаниями.

Расчетный ток трехфазной нагрузки по заключенным договорам определяется исходя из суммарной полной мощности присоединенных ЭПУ, по формуле  $I = S/(\sqrt{3} U)$ , где  $S$  — суммарная полная мощность ЭПУ, присоединенных к линии.

Для однофазного приемника или группы приемников, присоединенных к одной фазе сети трехфазного тока расчетный ток,  $A$ , рассчитывается по формуле  $I = P/(U \cos \varphi)$ , где  $U$  — номинальное напряжение приемников, равное по величине фазному напряжению сети, к которой присоединяются приемники,  $B$ ;  $P$  — активная мощность, кВт,  $\varphi$  — угол сдвига фаз между фазным напряжением и током.

При расчете тока в послеаварийном режиме учитывается переход отключаемых потребителей I и II категории на питание от оставшегося в работе оборудования, на которое падает дополнительная нагрузка.

**Потеря напряжения на питающих линиях.** Одним из ограничивающих параметров распределительной сети служит максимальная длина кабеля, при которой при передаче максимального тока не превышает максимально допустимое падение напряжения. Он зависит от месторасположения точки присоединения ЭПУ на маршруте передачи энергии.

Алгоритм решения задачи включает в себя расчет потери напряжения по заданным характеристикам линии и сравнение расчетных данных с допустимыми значениями.

Падение напряжения в линии рассчитывается по формуле  $\Delta U = I Z_0 L$ , где  $\Delta U$  — падение напряжения в линии,  $I = S/(\sqrt{3} U)$  — ток в линии, определяемый ранее при оценке резерва пропускной способности питающих линий,  $L$  — длина линии; полное погонное сопротивление линии  $Z_0 = \sqrt{r_0^2 + x_0^2}$ ,  $r_0$ ,  $x_0$  — активное и реактивное погонные сопро-

тивления линии (определяются маркой провода). Как правило, вычислять потери напряжения следует с учетом токов в послеаварийном режиме.

Допустимое падение напряжения в линии определяются ГОСТ 13109—97, согласно которому допустимое отклонение напряжения составляет  $\pm 5\%$  на всем участке электроснабжения от трансформатора до потребителя.

**Согласованность с инвестиционной программой, планами развития и капремонта.** Как уже отмечалось, в соответствии с законодательством РФ включение объектов электросилового хозяйства в инвестиционную программу означает появление технической возможности технологического присоединения и служит основанием для заключения договора сетевой организации с заявителем.

Алгоритм решения задачи включает в себя поиск в инвестиционных программах объектов сети, входящих в маршруты передачи энергии от ЭПУ заявителя до центров питания, и их характеристик, а именно, сроки ввода в эксплуатацию, показатели по мощности и пропускной способности.

Если объект представляет собой трансформаторную подстанцию, то размер планируемого резерва мощности на конец года с учетом присоединенных потребителей, заключенных договоров на технологическое присоединение, поданных заявок на технологическое присоединение и реализации планов капитальных вложений (инвестиционных программ) используется для расчета показателей резерва мощности узлов питания. Если объект — линия питания, то размер планируемого резерва пропускной способности на конец года используется для расчета резерва пропускной способности линии.

#### 4. АЛГОРИТМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИСОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ ДВУХ ГРУПП РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Распределительные устройства переменного тока можно разделить на две группы: устройства напряжением до 1 кВ и устройства напряжением выше 1 кВ [5]. Соответственно будем рассматривать два случая технологического присоединения, когда входное напряжение присоединяемой электроустановки:

- 1) не более 1 кВ;
- 2) более 1 кВ.

Первый случай типичен для присоединения ЭПУ торговых предприятий, учреждений бытового обслуживания населения, административно-конторских и других помещений общественного назначения, размещаемых в жилых домах, ранее



подключенных к электросети. Важно, что присоединяемые электроустановки могут размещаться в зданиях/строениях либо уже присоединенных к сети (встроенные ЭПУ), либо еще не присоединенных к сети. Второй случай типичен для присоединения ЭПУ объектов капитального строительства, вводимых в эксплуатацию.

Процесс принятия решения о присоединении различается для этих двух случаев: в первом из них нет необходимости поиска объектов, на которые может повлиять дополнительная нагрузка в виде присоединяемой ЭПУ, так они находятся на известном маршруте передачи энергии к подключенному строению; во втором случае необходимо обнаружить все объекты, которые могут рассматриваться в качестве кандидатов на узел питания (точку присоединения) и объекты, входящие в маршруты передачи энергии к каждому кандидату.

Первый случай представляет собой частный случай более общего второго случая. Поэтому, если встроенное ЭПУ невозможно по каким-то показателям присоединить к общему вводно-распределительному устройству (узлу питания) строения по месту нахождения ЭПУ, то для этого ЭПУ следует искать внешний узел питания с подходящими характеристиками, т. е. искать решение с использованием алгоритмов присоединения ЭПУ, находящегося в строении, не подключенном к электрическим сетям. Соответственно этим двум случаям далее будем рассматривать два алгоритма решения задачи о технологическом присоединении к электрическим сетям — алгоритм А и алгоритм Б.

Энергообъекты, входящие в маршруты передачи энергии, оцениваются в результате анализа показателей, перечисленных в § 2 и 3. Такие показатели, как резерв мощности узлов питания, резерв пропускной способности питающих линий и потеря напряжения на питающих линиях, выступают в роли ограничений — их отсутствие (резерва) или превышение (потеря напряжения выше допустимого значения) означает невозможность присоединения к выбранному сетевому устройству, если энергообъект не внесен в инвестиционную программу, выполнение которой улучшит его показатели.

Рассмотрим рис. 4.

**Алгоритм А.** (Напряжение присоединяемой электроустановки не превышает 1 кВ). Последовательность операций представлена в виде в виде структурной схемы (рис. 4). Отметим, что результаты операций заносятся в информационные таблицы, которые используются для формирования решения о присоединении. Алгоритм А разделен на три части I, II и III, которым соответствуют три столбца блоков на рис. 4. В столбце I (первая

вертикаль) представлен алгоритм для электроустановок, размещаемых в зданиях/строениях, присоединенных к сети (встроенные ЭПУ). В части II (второй столбец) представлен алгоритм для электроустановок, размещаемых в зданиях/строениях, не присоединенных к сети. В части III (третий столбец) приведен алгоритм для анализа объектов сети высокого напряжения, через которые осуществляется питание ТП, определенных в частях I и II.

Анализ инвестиционных программ (определение показателя согласованности с инвестиционной программой) на предмет наличия в них объектов сети, входящих в маршруты передачи энергии от ЭПУ заявителя до центров питания (сроки ввода в эксплуатацию, показатели по мощности и пропускной способности), выполняется после расчета предыдущих показателей. Это желательно для накопления архива данных о возможностях сети и всестороннего обоснования решений. Однако лицо, принимающее решение, в случае резко негативной характеристики объекта может его исключить из дальнейшего анализа. Такая возможность в структурной схеме (см. рис. 4) представлена в виде штриховых стрелок. По ним осуществляется переход к анализу следующего объекта.

Решение задачи (см. рис. 4) начинается с анализа заявки на присоединение ЭПУ. Вначале рассматривается напряжение присоединяемого ЭПУ. В том случае, если напряжение меньше 1 кВ и ЭПУ находится внутри строения, подключенного к электросети, определяется маршрут от строения до трансформаторной подстанции, запас по мощности ТП и резерв пропускной способности линии питания. Далее проверяется категория надежности предполагаемой схемы подключения ЭПУ. Если в результате анализа оказывается, что ЭПУ может быть присоединено к вводно-распределительному устройству по низкому напряжению, проверяется возможность принятия нагрузки узлами питания по ВН.

Если напряжение ЭПУ меньше 1 кВ и находится внутри строения, не подключенного к электросети, начинается поиск ближайших ТП в круге заданного диаметра (см. § 3) и формируются маршруты от этих ТП до строения с ЭПУ. Затем эти маршруты проверяются на наличие запасов по мощности ТП и резервов пропускной способности линий питания. Также проверяются категория надежности каждой предполагаемой схемы подключения ЭПУ и расстояние от ЭПУ до ТП. Если рассмотрены все маршруты по низкому напряжению, проверяется возможность принятия нагрузки (для выбранных ТП) узлами питания по ВН.

При принятии нагрузки от ТП до центра питания формируются маршруты от каждой ТП до

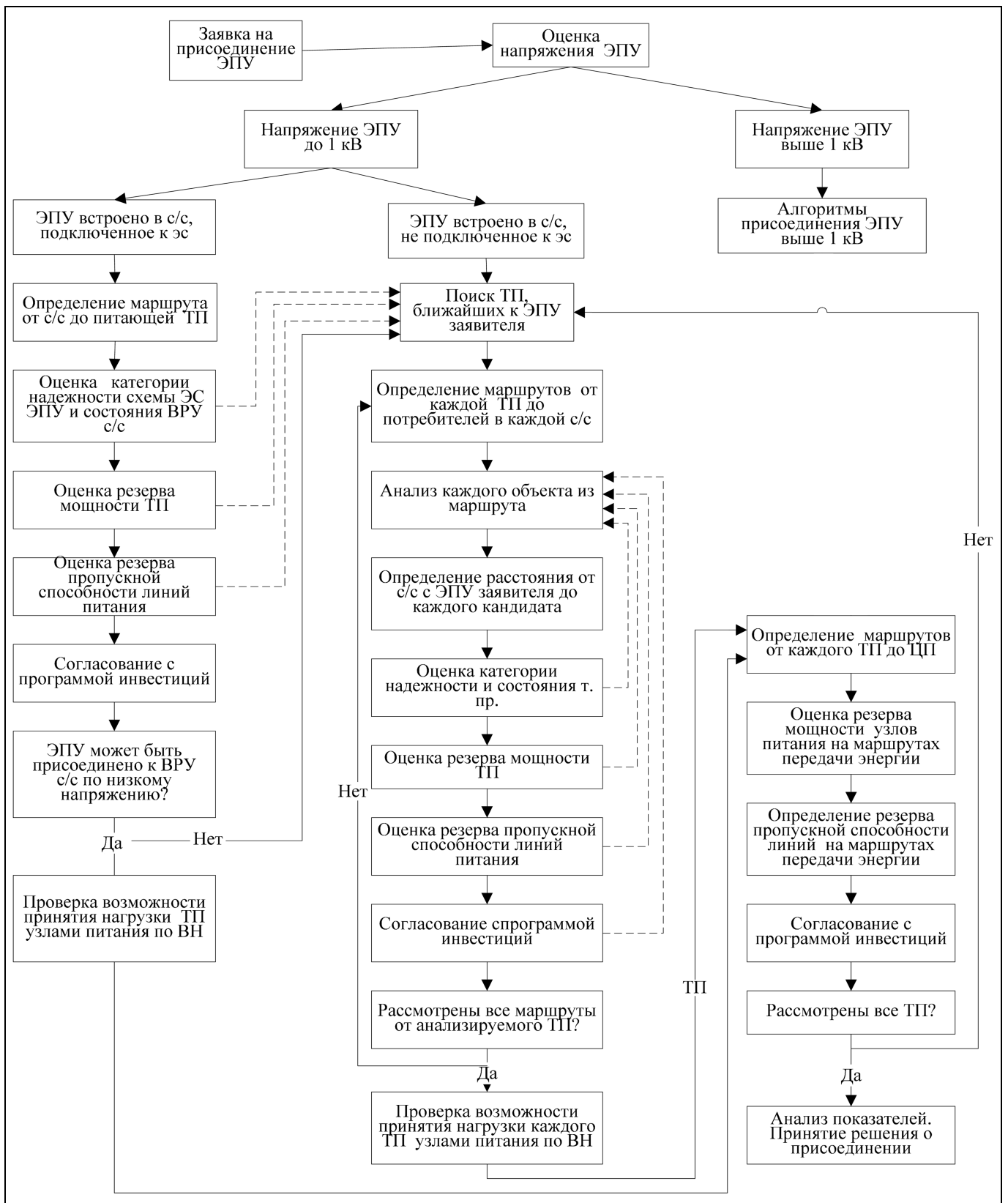


Рис. 4. Структурная схема алгоритма для принятия решения о присоединении электроустановки с входным напряжением до 1 кВ: с/с — строение или сооружение; т. пр — точка присоединения; эс — электроснабжение; ВН — высокое напряжение; ВРУ — вводно-распределительное устройство



центров питания, оцениваются резервы мощности узлов питания и определяются резервы пропускной способности линий.

После анализа всех показателей принимается решение о присоединении.

**Алгоритм Б.** Напряжение присоединяемой электроустановки более 1 кВ. Отличие алгоритма Б от алгоритма А заключается в другом типе точки присоединения. При подключении ЭПУ с напряжением больше 1 кВ точкой присоединения служат шины распределительного устройства или высоковольтной ТП.

## 5. ФОРМИРОВАНИЕ МАРШРУТОВ ПИТАНИЯ ЭНЕРГОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ

В разомкнутых сетях, к которым относятся распределительные сети от центров питания до вводов в строения/сооружения, энергия поступает от источника к потребителю по маршруту без образования контуров. Таким образом, каждый объект, через который проходит ток, имеет единственный маршрут к источнику питания, и маршрут от любого объекта до источника однозначно определяется положениями выключателей в сети.

Разомкнутые распределительные сети выполняются с резервированием. Нормальная схема питания предполагает известный маршрут передачи энергии от каждого центра питания к каждому ЭПУ. При аварии в системе электроснабжения автоматы включения резерва и противоаварийная автоматика формируют резервную схему питания. Как правило, в этом случае нагрузку ЭПУ в нормальной схеме принимают на себя объекты резервного маршрута. Например, в нормальной схеме часть энергоприемников строения/сооружения  $I$  (см. рис. 2) получает энергию от трансформатора  $T1$  подстанции  $ТП1$ . При аварии в линии  $ЛП9$  автомат включения резерва переключает нагрузку на трансформатор  $T2$  той же подстанции, который должен иметь резерв мощности для принятия дополнительной нагрузки.

В каждый момент времени маршруты передачи электроэнергии от источников к потребителям определяются конфигурацией сети, зависящей от режима работы энергосистемы. Конфигурация создается коммутирующими элементами — выключателями, имеющими два состояния: «отключено» и «включено».

После нахождения с помощью ГИС различных сетевых устройств-кандидатов на точку присоединения производится их оценка по системе критериев и ограничений, при этом оцениваются харак-

теристики трансформаторных подстанций и линий питания, входящих в маршруты передачи энергии.

Пусть с помощью ГИС определены кандидаты на точки присоединения и выбирается первый кандидат из списка возможных. В качестве примера такого кандидата рассмотрим распределительное устройство  $РУ$  со свободной точкой присоединения  $I$  (см. рис. 2, выделена темным), в дальнейшем обозначаемой  $РУ.1$ . Также предположим, что для этого кандидата посредством операций, описанных в § 3, определены категория надежности, допускаемая схемой электроснабжения городского района и состояние распределительного устройства (наличие/отсутствие свободных ячеек для подключения ЭПУ).

Для вычисления значений остальных критериев рассматриваются маршруты, содержащие выключатели только в положении «включено».

Рассмотрим маршруты и метод их нахождения, необходимые для оценки критериев и ограничений для выбранной точки.

**Основной маршрут.** При проектировании электросетей для точки присоединения определяется основной маршрут в нормальной схеме, соединяющий ее с источником питания. Основным маршрутом удобно находить на графе, вершины которого соответствуют объектам электросети, а дуги — их соединениям. На рис. 5 представлен граф, построенный по фрагменту сети электроснабжения, изображенному на рис. 2. На графе обозначение  $ТП2.T1.1$ , например, соответствует шине № 1 трансформатора  $T1$  на трансформаторной подстанции  $ТП2$  (см. рис. 2), точка  $РУ.1$  соответствует шине № 1 в распределительном устройстве  $РУ$  и т. д.

Основным маршрутом определяется с помощью обхода графа методом поиска в глубину [7] от выбранной точки подключения. При этом если вершина является выключателем в положении «выключено», то дальнейший поиск из этой вершины не проводится. Алгоритм заканчивает работу, когда очередная рассматриваемая вершина является источником. Проверка наличия резервов мощности подстанций, пропускной способности, потери напряжения в линиях производится в соответствии с операциями, описанными в § 3.

**Резервный маршрут.** Помимо основного маршрута поступления электроэнергии потребителю первой и второй категорий надежности должны иметь резервный маршрут, который также однозначно определяется положениями выключателей.

Для выбранного кандидата на сетевое устройство подключения ЭПУ —  $РУ$  с точкой присоединения  $I$ , обозначенной как  $РУ.1$  (см. рис. 5, выделена темным), в нормальной схеме имеем основной маршрут передачи энергии:  $РУ.1, ЛП 13, ТП 1.T2.2,$



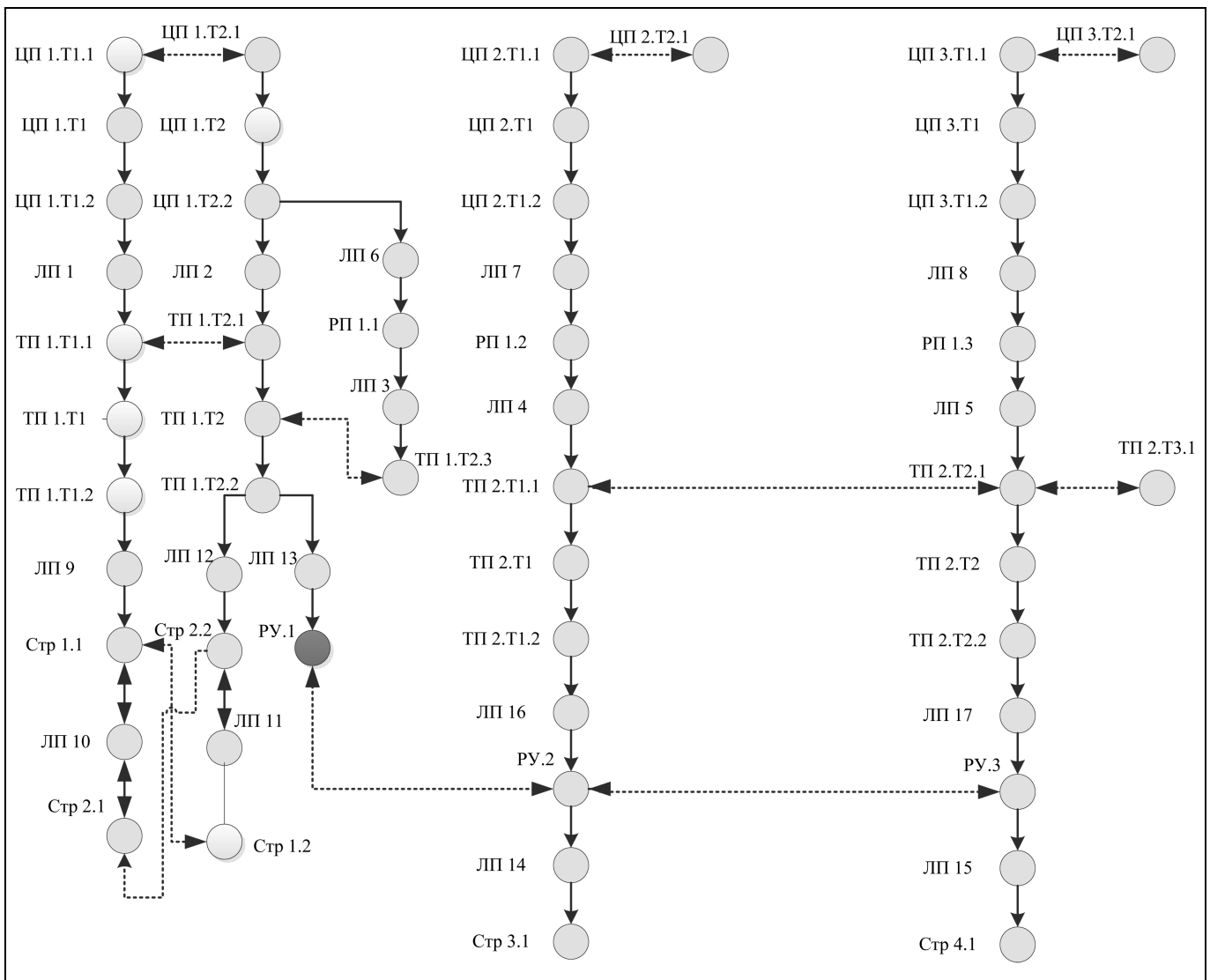


Рис. 5. Граф фрагмента сети

*ТП 1.Т1, ТП 1.Т2.1, ЛП 2, ЦП 1.Т2.2, ЦП 1.Т2, ЦП 1.Т2.1. Резервный маршрут: РУ.1, РУ.2, ЛП 16, ТП 2.Т1.2, ТП 2.Т1, ТП 2.Т1.1, ЛП 4, РП 1.2, ЛП 7, ЦП 2.Т1.2, ЦП 2.Т1, ЦП 2.Т1.1.*

## 6. ФОРМИРОВАНИЕ РЕШЕНИЯ О ВОЗМОЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИСОЕДИНЕНИЙ К СЕТИ ЭНЕРГОПРИЕМНИКОВ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Для каждого маршрута составляется информационная таблица, в которую заносятся значения показателей по каждому объекту основного и резервного маршрутов, вычисленных в результате выполнения операций в соответствии со схемами на рис. 4 или рис. 5. Результаты обработки инфор-

мационных таблиц вносятся в таблицу 2 для принятия решений (табл. 2).

Каждая строка этой таблицы соответствует одному кандидату на присоединение. Считается, что для выбранной точки присоединения отсутствует резерв мощности, пропускной способности или превышено падение напряжения, если хотя бы для одного объекта на основном и резервном маршрутах значения этих показателей превышают допустимую величину.

В табл. 2 «да» означает возможность присоединения по значениям анализируемых показателей, «нет» — отсутствие возможности присоединения. В соответствии с этой таблицей принимается решение о присоединении. Алгоритм принятия решения представлен на схеме рис. 6.

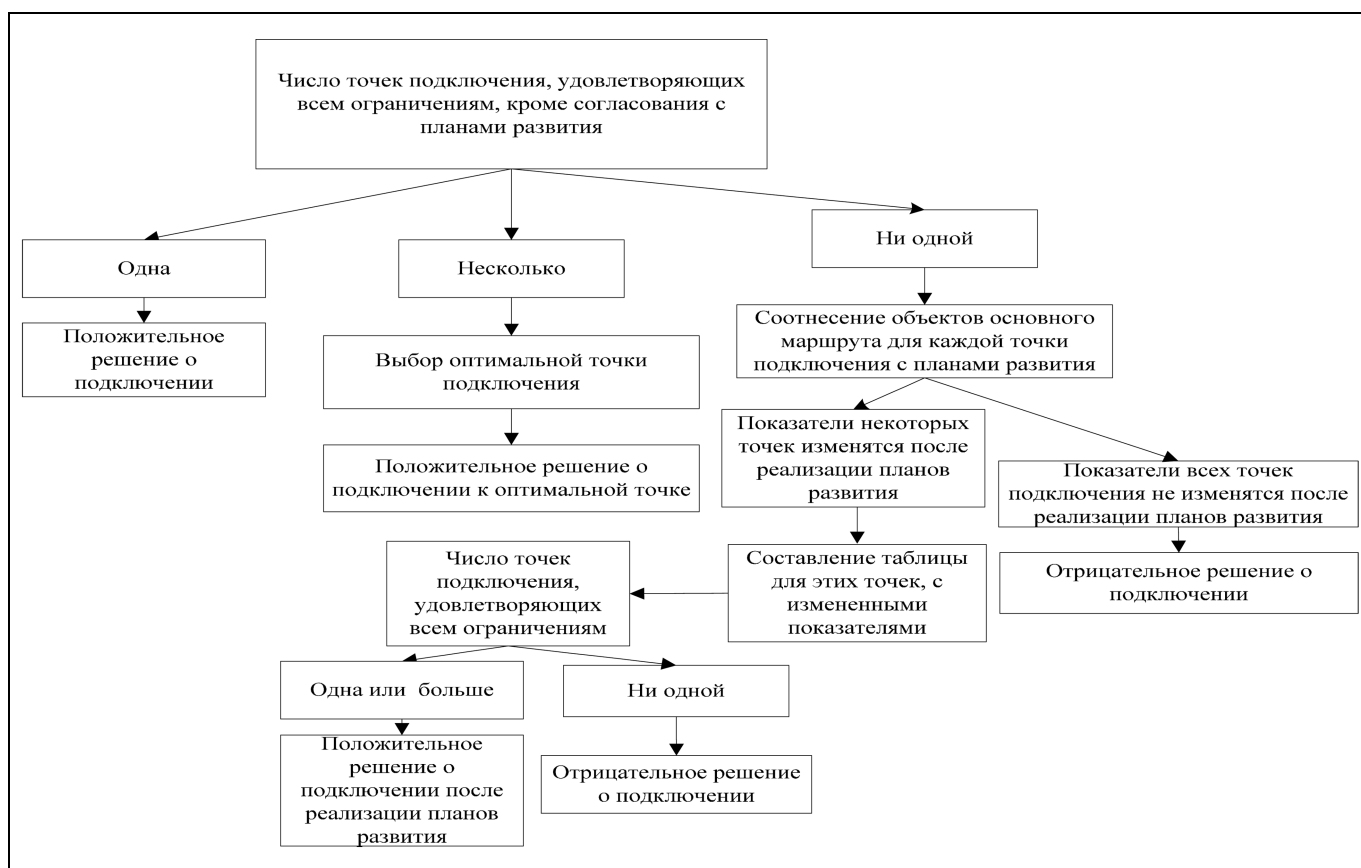


Рис. 6. Схема алгоритма принятия решения о подключении

Для принятия решения необходимо определить, существуют ли точки подключения, показатели которых удовлетворяют всем ограничениям. Если таких точек не найдено (см. рис. 6, правая часть схемы), то рассматриваются программы инвестиций (планы развития) и указанные в них значения показателей для энергообъектов, входящих в маршруты передачи энергии к точкам присоединения (см. табл. 2). Если значения показателей этих программ удовлетворяют всем ограничениям, то выносится положительное решение о подключении после реализации программ инвестиций.

Если существуют точки присоединения, для которых показатели удовлетворяют всем ограничениям (см. рис. 6, левая и средняя части схемы), то выносится положительное решение о подключении. В случае существования нескольких точек, удовлетворяющих всем ограничениям, ищется оптимальный вариант присоединения — выбор оптимальной точки.

Основным критерием такого выбора служит минимизация затрат на прокладку линии питания между ЭПУ и выбранным сетевым устройством (точкой присоединения). Эти затраты, как прави-

Таблица 2

Таблица для принятия решений

Точка присоединения	Расстояние, м	Категория	Состояние	Мощность	Ток	Падение напряжения	Инвестиционная программа
Т. пр.1.РУ	100	Да	Да	Да	Да	Да	Да
...	...	...	...	...	...	...	...
Т. пр. 2-Т1-П1	150	Да	Да	Нет	Да	Да	Да
...	...	...	...	...	...	...	...

ло, определяются расстоянием от ЭПУ до точки присоединения, так как стоимость линии питания и стоимость работ по прокладке подземного кабеля практически прямо пропорциональны расстоянию. Поэтому предпочтение отдается ближайшему к ЭПУ сетевому устройству.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При поступлении многочисленных заявок от потребителей на подключение энергоприемных устройств к электрической сети оператор (диспетчер) энергоснабжающей организации должен рассмотреть экономически обоснованные варианты выполнения присоединений, не нарушив временные ограничения на принятие решения. Существующий «ручной» режим анализа возможных точек присоединения требует высокой квалификации и отличается большой трудоемкостью, поэтому далеко не всегда потребители получают обоснованные ответы на заявки в заданные сроки, а энергоснабжающие организации — оптимальные схемы присоединения.

Предложенный подход позволяет алгоритмизировать решение задачи присоединений на основе систематизации показателей, значимых для принятия решения и анализа характеристик объектов сети, находящихся на маршрутах передачи энергии к потребителям. Алгоритмизация и соответствующие алгоритмы представляют собой первый шаг на пути автоматизации процесса принятия решения. На следующем шаге должно последовать создание системы поддержки принятия решений, позволяющей ускорить этот процесс и уменьшить влияние фактора субъективности в принятии решения.

1. Выполнен анализ задачи определения возможности технологических присоединений энергоприемников заявителя к электрической сети, в результате которого определены показатели, значимые для принятия решения о присоединении, особенности распределительных сетей и присоединяемых к ним энергоприемников.

2. Определены классы алгоритмов, учитывающие особенности распределительных сетей и присоединяемых к ним энергоприемников.

3. Разработаны алгоритмы, позволяющие ускорить и автоматизировать процесс принятия решений о технической возможности технологических присоединений к сети энергоприемников потребителей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Официальный сайт* МУПП «Волгоградские межрайонные электрические сети». — URL: <http://vmes.ru/clients/ability> (дата обращения: 12.03.2013).
2. *Официальный сайт* «МРСК Сибири» — «Хакасэнерго». — URL: <http://www.khakasenergo.ru/clients/tpkes/o-nalichii-moshnosti.html> (дата обращения: 12.03.2013).
3. *Официальный сайт* «МРСК Северного Кавказа» — «ОАО Нурэнерго». — URL: <http://www.nurenergo.ru/connect/> (дата обращения: 12.03.2013).
4. *Официальный сайт* «МРСК Северного Кавказа». — URL: [http://www.mrsk-sk.ru/customer/technical\\_connection/](http://www.mrsk-sk.ru/customer/technical_connection/) (дата обращения: 12.03.2013).
5. *Постановление* Правительства РФ «Правила технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, объектов по производству электрической энергии, а также объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих сетевым организациям и иным лицам, к электрическим сетям» № 861 (в ред. Постановления Правительства РФ от 05.10.2012 № 1015). — URL: [http://www.lenenergo.ru/clients/tech\\_add/](http://www.lenenergo.ru/clients/tech_add/) (дата обращения: 12.03.2013).
6. *Свод правил* по проектированию и строительству СП 31-110-2003 / Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. — М.: Госстрой России, 2004.
7. *Свами М., Тхуласираман К.* Графы, сети и алгоритмы. — М.: Мир, 1984. — 453 с.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Л.П. Боровских.*

**Георгий Григорьевич Гребенюк** — д-р техн. наук, вед. науч. сотрудник, ✉ [grebenuk@lab49.ru](mailto:grebenuk@lab49.ru),

**Андрей Александрович Крыгин** — ст. науч. сотрудник, ✉ [akrygin@lab49.ru](mailto:akrygin@lab49.ru),

**Сергей Максимович Никишов** — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, ✉ [nikishov@lab49.ru](mailto:nikishov@lab49.ru),

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, ☎ (495) 334-87-39.

## *Не забудьте подписаться!*

Подписку на журнал «Проблемы управления» можно оформить в любом почтовом отделении (подписной индекс 81708 в каталоге Роспечати или 38006 в объединенном каталоге «Пресса России»), а также через редакцию с любого месяца, при этом почтовые расходы редакция берет на себя. Отдельные номера редакция высылает по первому требованию.