

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ СЕТЕЙ ИЕРАРХИЧЕСКИ ОРГАНИЗОВАННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕВЫХ СИСТЕМ

В результате анализа свойств и особенностей существующих и проектируемых магистральных сетей (МС), проведенного в соответствии с [1, 2], можно выделить основные условия и ограничения, свойственные объектам такого класса. Ниже перечислены наиболее существенные из них.

1. Каждая выходная вершина $x \in V_0''$ графа G_0 МС N_0 одновременно является входной вершиной $x \in V_i'$ графа G_i какой-либо распределительной сети (РС) N_i , $i \in I$, и никаких других вершин граф G_0 не содержит:

$$\bigcup_{i \in I} V_i' = V_0'.$$

Данное ограничение выражает взаимосвязь между МС и РС в реальных инженерных сетевых системах (ИСС) [1, 2]. Исходя из ограничения 1 для РС нижнего уровня иерархии, сформулированного в [1, 2], и данного ограничения для МС верхнего уровня иерархии, можно заключить, что совокупность множеств исходных вершин РС $\{V_i', i \in I\}$ образует разбиение на множестве выходных вершин МС V_0'' .

2. Дуги графа G_0 МС N_0 не содержат пассивных элементов (ПЭ): $E_0'' = \emptyset$, где E_0'' — множество дуг графа G_0 МС N_0 , содержащих ПЭ. Это ограничение налагается в силу следующих причин. МС в силу функциональных особенностей конструктивно представляет собой сеть крупных трубопроводов, которая пропускает потоки относительно большой величины при относительно высоких напорах (потоки большой мощности) по сравнению с соответствующими величинами в РС.

Поэтому в рассматриваемой МС управление потокораспределением с помощью ПЭ приводит к существенным энергетическим потерям и в связи с этим является нецелесообразным.

Выполнение данного условия соответствует реализации принципа минимизации регулирующих воздействий в МС, который рассмотрен в [1, 2].

2. Граф G_0 МС N_0 , а следовательно и граф G_0 , не содержит дуг, соединяющих между собой входные вершины множества V_0 рассматриваемой МС.

Пусть какие-нибудь две входные вершины соединены дугой, представляющей нерегулируемый элемент (НЭ). В этом случае последовательная переменная (поток) в этой дуге определяется соотношением $q_j = 0$ вследствие равенства напоров в рассматриваемых входных вершинах. Отсюда следует, что соединять входные вершины такими дугами нецелесообразно. Другим видом дуг, которые в соответствии с ограничением 2, могут иметь место, являются дуги, содержащие активные элементы (АЭ). Такими дугами соединять входные вершины МС N_0 также нецелесообразно, поскольку фактически АЭ будет перекачивать поток из одного внешнего резервуара в другой.

Из проведенного анализа следует справедливость налагаемого условия в целом.

4. Все дуги графа G_0^* МС N_0 , инцидентные входным вершинам $x \in V_0$, содержат АЭ, причем никаких других АЭ МС N_0 не содержит: $E_0^a \subset E_0^*$, $E_0^a = \{xu, \forall x \in V_0, u \in V_0^* \setminus V_0'\}$; где V_0' и V_0^* — множество входных вершин и множество всех вершин графа G_0^* МС N_0 соответственно.

Такое расположение АЭ имеет место в реальных МС и обусловлено следующими причинами. Для напоров во входных вершинах $x \in V_0$ и в вершинах $u \in V_0^* \setminus V_0'$, не являющихся входными, графа G_0^* , имеет место соотношение: $\forall x \in V_0, \forall u \in V_0^* \setminus V_0', z_x < z_u$.

Направление потоков q_j в дугах $j = xu$, инцидентных входным вершинам, совпадают с направлением соответствующих дуг. Для реализации условия, когда потоки направлены от вершин с меньшими к вершинам с большими напорами, необходимо в соответствующие дуги установить АЭ. Этим и обусловлена необходимость установки АЭ во всех дугах графа G_0^* МС N_0 , инцидентных входным вершинам.

Проведенный на основании [1, 2] анализ реальных конструкций МС показывает, что АЭ располагаются только в дугах, инцидентных входным вершинам. Расположение АЭ в других дугах МС N_0 создает неравномерность распределения напоров в вершинах рассматриваемой МС, что ухудшает условия функционирования РС, а также уменьшает надежность МС N_0 .

5. Во множество дуг E_0^Γ , являющихся НЭ, входят все дуги графа G_0^* , не содержащие АЭ, а также все фиктивные дуги графа G_0 МС N_0 — все источники и все стоки: $E_0^\Gamma = E_0' \cup (E_0^* \setminus E_0^a) \cup E_0'' = E_0 \setminus E_0^a$.

Все дуги множества $E_o^* \setminus E_o^a$, являясь участками МС N_o , в которых в силу ограничений 1 и 2 отсутствуют как АЭ, так и ПЭ, представляют реальные НЭ и войдут во множество E_o^I . Поскольку в действительности потребление потока МС N_o из внешней среды происходит множеством входных вершин V_o' , сопротивление дуг — источников множества E_o' являются постоянными величинами.

Следовательно, множество E_o' целесообразно включить во множество E_o^I . Поскольку в выходных вершинах $x \in V_o''$ МС N_o происходит передача потока в РС N_i , $i \in I$, которые не содержат АЭ, то можно считать, что каждый сток МС N_o из множества E_o^I является НЭ. Это означает, что при рассмотрении МС N_o все РС N_i , $i \in I$, можно заменить стоками $j \in E_o''$, обладающими такими сопротивлениями, что установившееся потокораспределение в МС N_o остается неизменным. При этом множество E_o'' включим во множество E_o^I . Кроме перечисленных, никаких других дуг множество E_o^I не содержит.

Пример моделирующего графа топологической структуры МС, удовлетворяющего перечисленным выше ограничениям 1—5, приведен в [1, 2].

6. При всех возможных установившихся потокораспределениях в МС не существует двух вершин $x, u \in V_o'''$, для которых одновременно были бы справедливы следующие соотношения: $z_x < z_o^*$, $z_u > z_o^{**}$; где z_o^* и z_o^{**} — соответственно нижняя и верхняя границы области значений напоров в промежуточных вершинах МС N_o .

Рассматриваемое ограничение необходимо для создания допустимых режимов функционирования РС, подключенных к данной МС.

Используя перечисленные в данной работе ограничения, налагаемые на МС N_o , формализуем взаимосвязь между напорами z_x в вершинах $x \in V_o^* \setminus V_o'$ и координатами ω_j вектора состояния АЭ $U_o^a \in \{U_o^a\}$ в рассматриваемой МС N_o .

Пусть в МС имеет место установившееся потокораспределение. Тогда при фиксированном значении вектора состояния НЭ G_o напор z_x в любой вершине $x \in V_o^* \setminus V_o'$ является функцией координат ω_j , $j \in E_o^a$, вектора состояния АЭ U_o^a МС N_o : $z_x = z_x(U_o^a) = z_x(\omega_j, j \in E_o^a)$.

Областью определения каждой такой функции z_x , $x \in V_o^* \setminus V_o'$, является область возможных значений вектора U_o^a — конечное множество $\{U_o^a\}$. При этом имеет место следующее утверждение.

При фиксированном значении вектора Γ_o все $z_x, x \in V_o^* \setminus V_o$, являются ограниченными и возрастающими функциями по любому параметру ω_j , принимающему значения на вполне упорядоченном конечном множестве Ω_j при условии, что все остальные параметры закреплены. Доказательство справедливости данного утверждения содержится в [1, 2].

Для реализации процесса оперативного управления МС N_o определим степень влияния всех АЭ рассматриваемой МС на напоры z_x для $\forall x \in V_o^*$.

С этой целью для $\forall x \in V_o^*$ упорядочим множество E_o^a следующим образом.

1. Обозначим кратчайший путь из вершины $u \in V_o$ в вершину $x \in V_o^*$ как $P(u, x)$. Тогда для вершины $x \in V_o^*$ полагаем $j < k$, если $P(u^{(1)}, x) < P(u^{(2)}, x)$, где $j, k \in E_o^a$; $u^{(1)}, u^{(2)} \in V_o$; $j \in P(u^{(1)}, x)$; $k \in P(u^{(2)}, x)$.

2. Если для различных $j, k \in E_o^a$, входящих в состав кратчайших путей соответственно $P(u^{(1)}, x)$ и $P(u^{(2)}, x)$, выполняется равенство $P(u^{(1)}, x) = P(u^{(2)}, x)$, то полагаем $j < k$, когда $|\Omega_j| < |\Omega_k|$.

3. В случае равенства $P(u^{(1)}, x) = P(u^{(2)}, x)$ и $|\Omega_j| = |\Omega_k|$ для $j, k \in E_o^a$ упорядочение $j < k$ производится по конструктивным параметрам АЭ, находящихся в дугах j и k .

Предположим, что все АЭ МС N_o занумерованы последовательными натуральными числами. В таком случае каждой промежуточной вершине $x \in V_o^*$ графа G_o МС N_o соответствует вектор, обозначаемый D_x , компонентами которого являются номера АЭ, расположенные в порядке, соответствующем рассматриваемой промежуточной вершине $x \in V_o^*$ МС N_o .

Построенная в настоящей работе модель оперативно управляемой МС может быть использована при синтезе глобальной системы оперативного управления иерархически организованной ИСС.

Выводы

На основании выделения существенных свойств и характерных особенностей функционирования формализованы МС, являющиеся локальными сетями высшего уровня иерархии в составе иерархически организованных ИСС. Сформулировано утверждение, устанавливающее взаимосвязи между управляющими параметрами и параметрами уста-

новившихся потокораспределений в рассматриваемых МС. Полученные зависимости могут быть использованы для алгоритмизации локальных процессов оперативного управления МС в иерархически организованных ИСС.

Литература

1. *Леви Л. И.* Декомпозиция в задачах моделирования процессов оперативного управления иерархически организованными инженерными сетевыми системами. — Луганск: Изд-во ВУГУ, 1996. — 122 с.

2. *Леви Л. И.* Иерархическая декомпозиция в задачах оперативного управления инженерными сетевыми системами. Дис... д-ра техн. наук: 05.13.07 — Луганск, 1999. — 342 с.