

Решение задачи потокораспределения гидравлических сетей в условиях недостоверных исходных данных

А.О. Хуснутдинов

Новосибирский государственный технический университет

Новосибирск, Россия

evolext@gmail.com

В.С. Карманов

Новосибирский государственный технический университет

Новосибирск, Россия

karmanov@corp.nstu.ru

Аннотация—Работа посвящена решению проблемы расчета характеристик коммунальных сетей, в частности, выполнения гидравлических расчетов, в условиях отсутствия или искажения исходных данных. Предложена и исследована методика, позволяющая замещать пропуски в исходных данных на основе анализа данных по аналогичным или близким объектам.

Ключевые слова— коммунальные сети, водоснабжение, расчет потокораспределения, восстановление данных.

1. ВВЕДЕНИЕ

Согласно данным Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства России, на момент весны 2020 года общая протяженность коммунальных сетей в России превышает 900 тыс. км., около 58% из них находится в изношенном состоянии [2]. Таким образом, существует необходимость в реконструкции и модернизации действующих коммунальных систем.

Для создания оптимальных конфигураций коммунальных систем, специалисты сферы ресурсообеспечения используют программные модели коммунальной инфраструктуры, что позволяет им автоматизировать большую часть работы, а также сократить число ошибок и неточностей в расчетах. При моделировании, примерно в 40% проектов, специалисты сталкиваются с важной проблемой – информация по характеристикам объектов коммунальных систем имеет пропуски (до 70% объектов) или искажения (до 100% объектов, в зависимости от срока службы системы), это приводит к тому, что расчеты по модели выполнить либо совсем невозможно, либо полученные результаты не будут соответствовать действительности.

Разработать методику расчета характеристик коммунальных систем при их моделировании, позволяющую решать задачу в условиях отсутствия или искажения исходных, а также провести исследование точности её программной реализации.

2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Термин «коммунальные сети» объединяет собой такие инженерные объекты, как сети водо-, тепло-, газоснабжения, водоотведения и другие. Несмотря на особенности, присущие каждому отдельному виду коммунальных сетей, для расчёта их характеристик используются похожие методы, учитывающие эти особенности. Дальнейшее изложение будет вестись на примере сетей водоснабжения, однако предлагаемый подход также применим и для сетей другого вида.

Расчет потокораспределения в сети является основным для коммунальных сетей, в частности, для

водопроводных сетей он заключается в определении величин расхода и потерь напора на всех участках сети.

Методы расчета базируются двух законах Кирхгофа [1]:

1) сумма расходов, втекающих в каждый узел равна нулю (или утечке);

2) сумма падений напора на всех участках, образующих замкнутый контур, равна нулю (или сумме действующих напоров).

Также применяется эмпирическая зависимость падения напора на участках сети от функции расхода вида:

$$\Delta H = Sf(q), \quad (1)$$

где ΔH – значения падений напора на всех участках, S – гидравлические сопротивления участков, q – значения расхода на участках сети, $f(q)$ – функция потерь от расхода, в частности, для водопроводных сетей имеет квадратичный вид.

Классическая задача распределения потока гидравлической сети может быть записана как [4]:

$$A^T H = Sf(q), \quad (2)$$

с начальными условиями вида

$$Aq = Q, \quad (3)$$

где A – матрица инцидентности графа сети без последней строки, H – напор на узлах сети, Q – расходы (утечки) в узлах.

При решении системы (2) могут быть неизвестны отдельные компоненты вектора расхода в узлах Q . В реальной системе величина расхода имеет вероятностный характер – её значения зависят от разных факторов, воздействие которых заранее предсказать невозможно.

Имея информацию по множеству аналогичных, с точки зрения технической конфигурации, коммунальных систем, можно применять статистические методы для замещения неизвестных значений характеристик объектов моделируемой сети. Например, использовать статистические критерии согласия эмпирического распределения неизвестной случайной величины с некоторым теоретическим для последующего выбора возможных замещающих значений.

Предлагается следующий алгоритм замещения неизвестной величины Q_i для некоторого i -узла:

1) подобрать данные о величине расхода на некоторых аналогичных, с точки зрения коммунальной конфигурации, рассматриваемому узлах;

2) с помощью некоторого критерия согласия определить по сформированной выборке теоретическое распределение $F(q)$ случайной величины расхода;

3) для неизвестной величины расхода, выбрать замещающее значение, определяемое видом выбранного распределения $F(q)$;

4) с помощью выбранного метода решения нелинейных систем уравнений выполнить гидравлический расчёт.

3. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТА

Исследуем точность предлагаемой методики решения задачи потокораспределения на типовой схеме сети водоснабжения, являющееся обобщением действующих систем водоснабжения небольших муниципальных образований. В качестве типовых объектов были выбраны данные по населённым пунктам Новосибирской области численностью до 1000 человек.

Средние характеристики сетей выбраны следующими: обобщённая схема водоснабжения состоит из одного источника – скважины; 80 потребителей водоснабжения с различными типовыми коммунальными конфигурациями (которые складываются из числа поливочных установок, наличия водонагревательного оборудования и числа кранов забора воды); а также 18 промежуточных узлов, обеспечивающих правильное функционирование водопроводной сети.

Объектам обобщённой сети зададим типовые значения основных гидравлических характеристик: расхода и напора – для узлов и коэффициентов сопротивления – для участков, далее выполним гидравлический расчёт значений расхода и потерь напора на участках сети.

Исследовать точность предложенной методики будем при разном количестве отсутствующих данных по потребителям – от 5 до 50%. В качестве замещающих значений могут использоваться различные характеристики модельных распределений, полученных после обработки выборки статистических данных – это могут быть теоретические и выборочные моменты, квантильные характеристики и другие величины. Для примера выберем математические ожидания случайной величины расхода, формулы для определения которых будут зависеть от выбранных законов распределения.

Полученные результаты сравним с найденными ранее точными результатами величин расхода на участках по значениям максимальной абсолютной погрешности и максимальной относительной погрешности среди всех участков. Графики изменения максимальной абсолютной и максимальной относительной погрешностей для различных пар выбранных распределений приведены на Рис. 1 и Рис. 2 соответственно.

Из полученных графиков следует вывод, что даже при более точном выборе вида распределения неизвестной случайной величины, неточность результатов может достигать до 15% и более. Следовательно, задача сбора качественных данных и их обработка современными математическими методами продолжает оставаться актуальной.

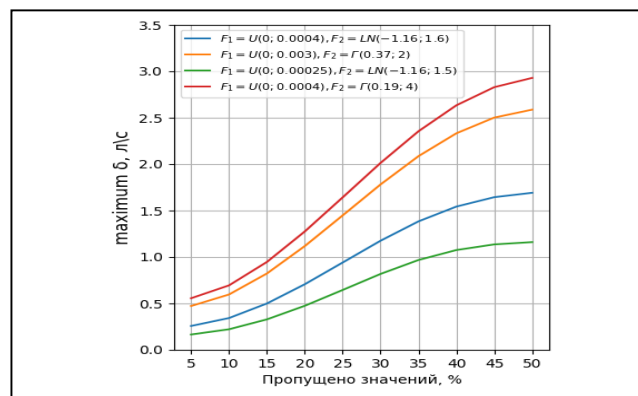


Рис. 1. Изменение максимальной абсолютной погрешности рассчитанных значений расхода

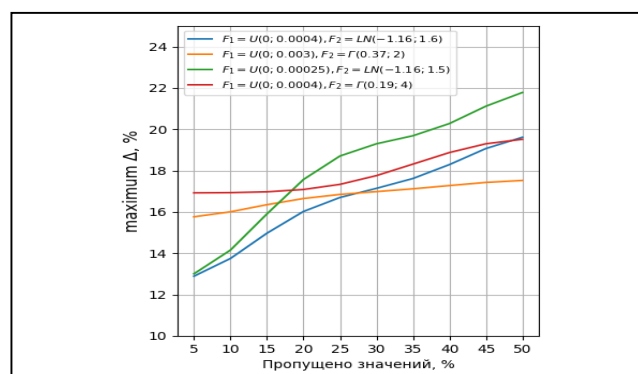


Рис. 2. Изменение максимальной относительной погрешности рассчитанных значений расхода

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной работе была предложена методика расчета неизвестных характеристик объектов коммунальных систем при их моделировании в условиях отсутствия части исходных данных, которая была реализована в виде программного модуля и исследована на типовой задаче потокораспределения в водопроводной сети.

На следующем этапе работы стоит рассмотреть иные методы замещения неизвестных характеристик объектов и провести аналогичное исследование погрешности результатов гидравлического расчёта.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Антропов, Н.Р. Идентификация параметров гидравлического сопротивления модели гидравлической цепи / Н.Р. Антропов, Е.Д. Агафонов // Сибирский журнал науки и технологий. – 2017. – Т. 18, № 3. – С. 492-498.
- [2] Минстрой сообщил об износе коммунальных сетей в России на 58% [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.interfax.ru/business/700998> (01.02.2022).
- [3] Якшин, С.В. Аналитический метод решения задачи потокораспределения тепловой сети. Вестник Иркутского государственного технического университета / С.В. Якшин. – 2021. – Т. 25, № 1. – С. 80-96. DOI: 10.21285/1814-3520-2021-1-80-96.
- [4] Korelstein, L. Modernization of Todini Global Gradient Algorithm for hydraulic analysis of networks with choked flow / L. Korelstein // E3S Web of Conferences. – 2020. – № 219. – P. 01003.
- [5] Khan, W.A. Numerical and simulation analysis comparison of hydraulic network problem base on higher-order efficiency approach / W.A. Khan // Alexandria Engineering Journal. – 2021. – Vol. 60. – P. 4889-4903.