

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ ГРАФОВ

В.О. Румянцев

*Научный руководитель к.т.н., доцент К.В. Сызранцева
Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия*

В настоящее время современные технологии проектирования и эксплуатации трубопроводных сетей необходимо дополнять методами высокоточного математического моделирования, которые гарантируют выработку научно-обоснованных рекомендаций по повышению эффективности работы трубопроводной системы [5].

Высокая точность моделирования необходима для максимально возможного удовлетворения современных требований к достоверности параметров функционирования трубопроводных систем, которые предъявляются в отраслях топливно-энергетического комплекса. Однако при моделировании часто приходится использовать неточную информацию о состоянии и характеристиках трубопроводов, вследствие чего появляется необходимость производить оптимизационные расчеты с целью планирования режимов работы газотранспортной системы. В процессе эксплуатации трубопроводов изменяются коэффициенты гидравлического сопротивления из-за образования гидратов, конденсата, отложения шлама в полости трубы. С течением времени ухудшаются прочностные характеристики трубопроводов, что приводит к снижению максимально допустимого давления газа. Применяя современный метод построения математической модели с помощью теории графов, можно построить высокоточную модель газотранспортной системы, которая позволяет добиться оптимального функционирования трубопроводных сетей при нормальной эксплуатации и в аварийных ситуациях [3].

На данный момент существуют сложные технологии перекачки с возможностью многовариантных подключений входящих и выходящих магистральных трубопроводов между резервуарными парками, которые расположены на одной технологической площадке. На таких объектах оперативно детерминировать все возможные подключения между источниками и приемниками потоков в зависимости от состояния запорной арматуры является сложной и актуальной задачей. Адекватным аппаратом моделирования сложных технологических структур транспортирования газового конденсата с целью последующей высокоточной обработки потоков и управления технологическими процессами является теория графов [2]. Структурная модель системы транспорта газа может быть представлена ориентированным графом, объектами которого являются дуги: трубопроводные участки, газоперекачивающие аппараты, аппараты воздушного охлаждения, линейная запорная арматура с характерными им свойствами (параметрами) – диаметром трубы, длиной.

Моделируемые объекты включают в себя состав и типы оборудования реальной системы транспорта газа ООО «Газпром переработка», работа которых изложена в технологическом регламенте предприятия (ТР-6400-20806-07-2013) [6], а граф схемы – их технологические связи. Узлы графа представляют собой места, где могут сходить соединения объектов моделирования между собой [4]. Так как граф определяется или его смежностями, или его инцидентиями. Указанную информацию удобно представлять в матричной форме. Для обработки в электронно-вычислительной машине матричная форма преобразуется в список взвешенных дуг ориентированного графа [7]. Такая форма организации данных дает преимущества, которые позволяют производить оптимизацию данных для реализации следующих алгоритмов: визуализации топологии трубопроводных конструкций, определению угрозы перекрытия потоков и получению параметров работы трубопроводной системы, необходимых для определения оптимальной стратегии управления технологическими процессами транспортирования продуктов.

Рассмотрим фрагмент технологической схемы ООО «Газпром переработка» (рис. 1).

Применив метод описания технологической схемы в виде ориентированного графа, получаем следующий граф объекта (рис. 2). На этом рисунке вершины обозначены 1А...6А, которые представляют собой приемные резервуары Р-1201/1А...6А на технологической схеме (рис. 1). Свойствами данных вершин являются: привязка к реальному резервуару и тип вершины (резервуар).

Вершины с обозначением 1А/1...6А/5 представляют задвижки, которым соответствуют номера на рисунке 1. Свойствами данных вершин являются: соответствие реальной задвижки и тип вершины (задвижка).

Вершины с литерой У, представляют собой технологические трубопроводы, которые выступают в качестве связующих элементов вершин графа в соответствии с технологическим регламентом объекта.

Построенный граф, который представлен на рисунке 2, может служить для обработки информации на автоматизированном рабочем месте оператора или диспетчера, что в свою очередь позволит улучшить восприятие получаемой информации с помощью визуализации потоков газового конденсата и определения запертых участков газопровода (путем определения досягаемости от технологических трубопроводов, начинающихся с литеры У).

Для решения других задач с помощью которых можно производить высокоточные вычисления. Был выбран алгоритм Флойда – Уоршелла. Данный алгоритм является эффективным для нахождения всех кратчайших путей в плотных ориентированных графах, когда имеет место большое количество пар ребер между парами вершин. Данный алгоритм в свою очередь позволит оптимально управлять технологическими процессами как в штатном режиме работы, так и в аварийной ситуации. Так же существует алгоритм Дейкстры, но из-за большого константного фактора и невозможности работать с плотными графами, этот алгоритм не подходит для выполнения нашей задачи. Алгоритм Флойда – Уоршелла представляет ориентированный граф объекта G ,

$G = (V, E), |V| = n$, где V – непустое множество вершин, E – множество пар различных вершин, дуги графа

Введем обозначения d_{ij}^k – длина кратчайшего пути i от j до, которые проходят только через вершины $1 \dots k$, а d_{ij}^0 – длина (вес) ребра (i, j) . Существует два варианта значения $d_{ij}^k, k \in (1, \dots, n)$: кратчайший путь между j, j не проходит через вершину k ; существует более короткий путь между i, i проходящий через k , тогда он сначала идет от i до k , а потом от k до j . Для нахождения значения функции достаточно выбрать минимум из двух обозначенных значений.

Решив для полученного орграфа (рис. 2) задачу о кратчайшем пути, мы тем самым найдём кратчайший вершинный путь из одной вершины ориентированного графа в конечную заданную вершину.

Изложенный выше алгоритм был реализован в программной среде MATLAB в виде функции и помещён в инструментарий Graph Theory Toolbox [1]. Результат работы программы представлен на рисунке 3.

Таким образом, предложенные математические методы и отработанная программная реализация этих методов позволяют получать более технологичные диспетчерские решения, способствуя снижению энергетических затрат на транспортировку газа.

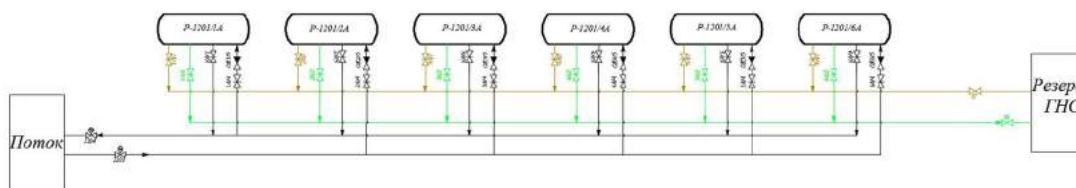


Рис. 1. Фрагмент технологической схемы резервуарного парка

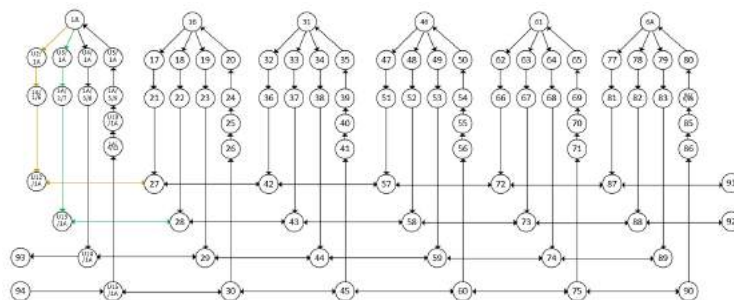


Рис. 2. Ориентированный граф фрагмента технологической схемы

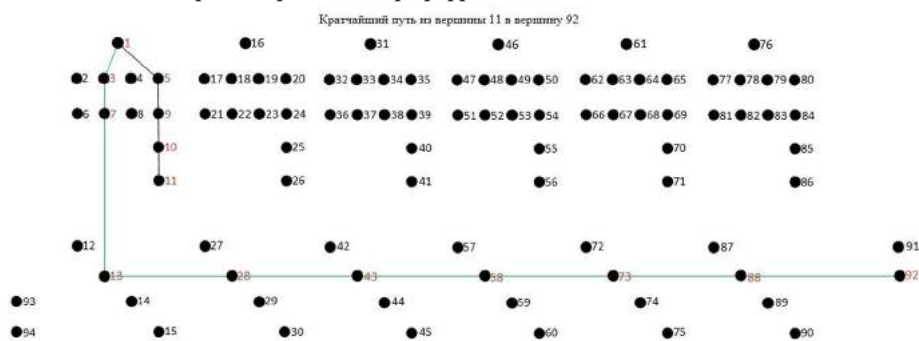


Рис. 3. Работа программы нахождения кратчайшего пути ориентированного графа

Литература

1. Иглин С.П. Математические расчеты на базе MATLAB. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 640 с.
2. Меренков А.П., Хасилев В.А. Теория гидравлических цепей. – М.: Наука, 1985. – 279 с.
3. Румянцев В.О. Функциональная модель системы математического моделирования газотранспортной системы // Новые технологии нефтегазовому региону: Труды Международной научно-практической конференции. – Тюмень, 2016. – Т. 3. – С. 79 – 82.
4. Румянцев В.О. Применение теории графов в системе транспорта газа // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно – энергетическом комплексе: Труды Всероссийской научно – практической конференции студ., аспирантов и молодых ученых. – Тюмень, 2015. – С. 260 – 262.
5. Селезнев В.Е., Алешин В.В., Прялов С.Н. Математическое моделирование трубопроводных сетей и систем каналов: методы, модели и алгоритмы. – М.: МАКС Пресс, 2007. – 695 с.
6. ТР-6400-20806-07-2013 Технологический регламент головной насосной станции ООО «Газпром переработка».
7. Харари Ф. Теория графов. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 300 с.