PolotskSU

УДК 004

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО СТАЦИОНАРНОГО ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТИРОВКИ ГАЗА НА МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДАХ

канд. техн. наук, доц. Д.О. ГЛУХОВ, ст. преп. Т.М. ГЛУХОВА,
ст. преп. А.Н. ЯНУШОНОК, ст. преп. А.П. АНДРИЕВСКИЙ
(Полоцкий государственный университет, Беларусь)

В диспетчерском управлении газотранспортной системы (ГТС) существует актуальная задача определения количества газа, находящегося в газотранспортной системе. Диспетчеризация обеспечивает согласованную работу различных звеньев управляемого объекта в целях повышения технико-экономических показателей и лучшего использования производственных мощностей. При диспетчеризации количество газа, находящегося в ГТС, необходимо знать непрерывно или хотя бы дискретно, через заданные промежутки времени. Эта проблема является следствием решения более общей задачи: определения режимов транспорта газа по газотранспортной системе при целом ряде определенных критериев.

Проблема автоматизации контроля и управления описанными процессами представляет собой многофакторную задачу. Специфика решаемой задачи состоит в наличие, как правило, сложных нелинейных трансцендентных зависимостей между параметрами ГТС и их большое количество требует выполнения большого объема вычислений за ограниченное время. В настоящее время разработка и оптимизация алгоритмов, учитывающих особенности таких систем в моделях сетей транспортировки газа имеет значительное научное и практическое значение. Исследования в данном направлении приводят к формулировкам новых подходов и методик, экономический эффект от применения которых заключается в увеличении скорости работы и принятия решений диспетчерами транспортных управлений, повышения точности и оперативности вычисляемых параметров, характеризующих режимы транспорта газа, что, в свою очередь, позволяет экономить денежные ресурсы предприятий. Примером такой ситуации, может выступать необходимость корректного определения запаса газа находящегося на участке магистрального газопровода перед его стравливанием при проведении ремонтных работ или с целью прогнозирования необходимого запаса газа в определенном фрагменте магистрального газопровода для удовлетворения нужд потребителей на заданный период.

На данном этапе нами рассматривается математическое обеспечение учета запаса газа на магистральном газопроводе, в том числе математическая модель газотранспортной системы, учитывающая особенности магистрального газопровода ОАО «Газпром трансгаз Беларусь» (наличие реверсных участков, влияние климатических зон и др.). При этом необходимо учитывать положения действующих нормативных документов [1–5].

Нами разработаны алгоритмы моделирования и расчета следующих компонентов модели газотранспортной системы, необходимых для рассмотрения неизотермического стационарного процесса транспортировки газа [6–8]:

1. Математическая модель линейного участка газотранспортной системы
2. Определение давлений и температур в промежуточных точках магистрального трубопровода

PolotskSU

3. Расчет коэффициента гидравлической эффективности
4. Моделирование процесса теплопередачи от газа в грунт
5. Моделирование температуры грунта
6. Расчет относительной плотности газа по воздуху
7. Определение запаса в шлейфах подключения и внутренних коммуникациях компрессорных цехов

Определим основные положения, требующиеся для дальнейшего изложения:

а) линейным участком (ЛУ) является часть трубопровода, на которой нет разветвлений, смены диаметра и толщины стенки трубы.

б) дополнительными условиями выделения ЛУ могут быть границы раздела между газотранспортными предприятиями, линейно-производственными управлениями (ЛПУ) или иные технологические обстоятельства.

в) расчетным участком является часть многониточной системы магистральных газопроводов:

1. от границы раздела между предприятиями до КС;
2. от КС до КС;
3. межсистемные перемычки от точки подключения до точки подключения.

Для определения запаса газа Q, млн.м^3, в трубопроводах в пределах газотранспортной системы используется формула:

$$Q = \sum_{i=1}^{K} \sum_{j=1}^{N_i} Q_{ij},$$

где K – число расчетных участков; N_i – число ЛУ, из которых состоит i-ый расчетный участок; Q_{ij} – запас газа на j-ом линейном участке i-ого расчетного участка.

Для определения запаса газа на ЛУ при стандартных условиях используется формула (млн.м^3) [3]:

$$Q_{ij} = \frac{V_{ij} \cdot P_{ij}^{cp} \cdot T_{cm}}{P_{cm} \cdot Z_{ij}^{cp} \cdot T_{ij}^{cp} \cdot 10^6},$$

где V_{ij} – геометрический объем j-го линейного участка газопровода на i-ом расчетном участке, м3; P_{ij}^{cp} – среднее давление j-го линейного участка газопровода на i-ом расчетном участке, МПа; Z_{ij}^{cp} – средний коэффициент сжимаемости j-го линейного участка газопровода на i-ом расчетном участке; T_{ij}^{cp} – средняя температура газа j-го линейного участка газопровода на i-ом расчетном участке, К; $T_{cm} = 293{,}15\ \text{К}$ – температура газа при стандартных условиях; $P_{cm} = 0{,}01325\ \text{МПа}$ – давление газа при стандартных условиях. Геометрический объем, м3, линейного участка газопровода определяется по формуле:

$$V_{ij} = \frac{\pi \cdot 10^{-3}}{4} d_{вн}^2 \cdot L,$$

PolotskSU

где $d_{вн}$ – внутренний диаметр трубы, мм; L – длина линейного участка газопровода, км.

Среднее давление линейного участка газопровода определяется по формуле, МПа:

$$P_{ср} = \frac{2}{3}\left(P_н + \frac{P_к^2}{P_н + P_к}\right),$$

где $P_н = P_{н1} + 0{,}0980665$ и $P_к = P_{к1} + 0{,}0980665$ – абсолютное давление соответственно в начале и в конце линейного участка газопровода, МПа; $P_{н1}$ и $P_{к1}$ – избыточное давление соответственно в начале и в конце линейного участка газопровода, МПа.

При наличии замеров температуры газа в начале и конце ЛУ, а также при наличии данных для определения температуры грунта ЛУ, допускается рассчитывать среднюю температуру, по формуле [4]:

$$T_{ср} = T_{гр} + \frac{T_н - T_к}{\ln\left(\frac{T_н - T_{гр}}{T_к - T_{гр}}\right)},$$

где $T_{гр}$ – температура грунта на глубине заложения оси газопровода, К; $T_н$ – температура газа в начале нитки газопровода, К; $T_к$ – температура газа в конце нитки газопровода, К.

При отсутствии замеров температуры газа хотя бы на одной границе линейного участка необходимо рассчитывать среднюю температуру ЛУ.

Приведем алгоритм определения гидравлического и температурного состояния газотранспортной сети:

Модель ЛУ включает взаимосвязанный гидравлический и тепловой расчеты. Для упрощения решения будут разделены эти расчеты. Тогда укрупненный алгоритм расчета выглядит следующим образом:

1. Предполагаем известным тепловой режим (например: можно задать константой температуру газа по всей системе и т.п.).

2. Имеем нелинейную систему уравнений (1), (2) и (3), описывающую гидравлический режим ГТС. Решение этой системы дает распределение расходов и давлений по ГТС.

3. Задается температура газа во всех узлах с замерами температуры.

4. Рассчитывается температура газа в конце каждого ЛУ, для которого определена температура в начале ЛУ, с одновременным пересчетом коэффициента гидравлического сопротивления λ.

5. Пересчитывается температура газа в тех узлах сети, в которых известны температуры всех входящих в него потоков газа и отсутствуют замеры температур по формуле:

$$t_r = \frac{\sum\limits_{i \in L_r^+} t_{ir} \frac{|Q_i| + Q_i}{2} + \sum\limits_{j \in L_r^-} t_{jr} \frac{|Q_j| - Q_j}{2} + t_{qr} \frac{|q_r| + q_r}{2}}{\sum\limits_{i \in L_r^+} \frac{|Q_i| + Q_i}{2} + \sum\limits_{j \in L_r^-} \frac{|Q_j| - Q_j}{2} + \frac{|q_r| + q_r}{2}},$$

PolotskSU

где t_r – температура газа r-ом узле после смешивания;

t_{ir} – температура в конце входящего в узел r i-го ЛУ;

t_{jr} – температура в начале выходящего из узла r j-го ЛУ;

t_{qr} – температура газа заданного притока (отбора) в узел r.

6. Шаги 4-5 повторяются до тех пор, пока не будут рассчитаны температуры во всех узлах сети. В случае, если граничные условия по температуре заданы не на всех входах, то можно применять модели температурного расчета, определяющие температуру в начале ЛУ по известной температуре в конце. Если замеров температур недостаточно для определения расчетных температур во всех узлах ГТС – для ЛУ с неизвестными температурами в начале и конце при расчете запаса газа $T_{ij\,cp}$ считается равной температуре грунта.

7. Проверяем критерий остановки итерационной процедуры — значение нормы вектора невязки.

8. Если критерий остановки выполнен, то решение получено, если нет, то переходим к шагу 2.

Заключение. В ходе проведенных исследований нами разработана математическая модель газотранспортной сети при стационарном неизотермическом режиме транспортировки газа с учетом особенностей, присущих газотранспортной магистральной сети ОАО «Газпром трансгаз Беларусь», разработан базовый алгоритм температурного и гидравлического расчета сети транспортировки газа для стационарного неизотермического процесса транспортировки на основе метода простой итерации. Выполнена формализация задачи оптимизации модели сети транспортировки газа. Разработаны алгоритмы оптимизации модели сети транспортировки газа, существенно снижающие размерности расчетной задачи. Проведен анализ и разработана классификация методов контроля качества расчетной схемы и результата расчета, выполнена программная реализация инструментов контроля качества в рамках программного комплекса расчета запаса газа ОАО «Газпром трансгаз Беларусь». Разработаны алгоритмы и программные модули методов контроля качества получаемых решений, данные методы интегрированы в программный комплекс расчета запаса газа;

Литература

1. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Общие положения. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации : ГОСТ 30319.0-96. – Минск, 1996.
2. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств природного газа, его компонентов и продуктов его переработки. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации ; с учетом Изменения № 1 (протокол № 22 от 06.11.2002) : ГОСТ 30319.1-96. – Минск, 1996.
3. Нормы технологического проектирования магистральных газопроводов : СТО Газпром 2-3.5-051-2006. – М., 2006.
4. Строительная климатология. Міністэрства архітэктуры і будаўніцтва Рэспублікі Беларусь : СНБ 2.04.05–2000. – Мінск, 2001.
5. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Государственный строительный комитет СССР : СНиП 2.02.04-88. – М., 1990.

PolotskSU

6. Глухов, Д.О. Комбинированный алгоритм решения системы нелинейных уравнений газодинамической задачи для сетей транспортировки газа / Д.О. Глухов, С.А. Авилкин, А.Ф. Оськин / Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. С. Фундаментальные науки. – 2011. – № 4. – С. 8–13.
7. Глухов, Д.О. Комбинированный алгоритм решения системы нелинейных уравнений газодинамической задачи для сетей транспортировки газа с использованием локальных эвристик / Д.О. Глухов, С.А. Авилкин / Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. С. Фундаментальные науки. – 2011. – № 12. – С. 9–15.
8. Программный комплекс расчета запаса газа в газотранспортной системе ОАО «Газпром трансгаз Беларусь». Опыт эксплуатации / Д.О. Глухов [и др.] // Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта : сб. тезисов VIII междунар. науч.-техн. конф., 25–28 ноября 2014 г., Новополоцк / редкол. : В.К. Липский [и др.]. – Новополоцк : ПГУ, 2014. – С. 143–144.