

Так как значения давления P_n и P_k , а также синус уклона трассы $(y_k - y_n)/L$ одинаковы для параллельных нитей, то коэффициент f для них также имеет одинаковое значение. Опираясь на этот факт, выявлено, что при наличии лупинга через основной канал проходит

$$\omega = [1 + (k_o/k_n)^{\theta/(2+n)} \cdot (D_d/D_o)^{(5+n+\theta)/(2+n)}]^{-1}$$

часть из общего расхода M . Тривиальный случай одинаковых гидравлических показателей параллельных каналов ($k_o = k_n$, $D_d = D_o$) приводит к значению $\omega = 1/2$.

Подобную задачу можно ставить и для случая N параллельных нитей. Если i -я труба имеет диаметр D_i и эквивалентную шероховатость k_i , то ее пропускная способность составляет:

$$M_i = f D_i^{(5+n+\theta)/(2+n)} / k_i^{\theta/(2+n)}, \quad (i = 1 \dots N),$$

что представляет

$$\omega_i = \frac{D_i^{\frac{5+n+\theta}{2+n}}}{k_i^{\frac{\theta}{2+n}}} \bigg/ \sum_{j=1}^N \frac{k_j^{\frac{\theta}{2+n}}}{D_j^{\frac{5+n+\theta}{2+n}}} \quad \text{часть из общего расхода } M.$$

Хужаев Исматулла Кушаевич — канд. физ.-мат. наук, ст. научный сотрудник, Садуллаев Рахматулло — д-р техн. наук, проф., зав. лабораторией института математики и информационных технологий АН Рuz,

Арифжанов Абдулла Шамхатович — канд. техн. наук, зам. директора НИИ "Алгоритм-инжинеринг" АН Рuz, Контактный телефон (998 71) 169-03-22. E-mail: aarifjanov@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ ДОБЫЧИ ГАЗА И ПЕРЕРАБОТКИ ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА

М.Х. Прилуцкий (ННГУ им. Н.И.Лобачевского), В.Е. Костюков (РФЯЦ-ВНИИЭФ)

Представлен комплекс математических моделей, формализующих процессы добычи газа и его переработки. Сформулированы оптимизационные задачи добычи газа и переработки газового конденсата, предложены алгоритмы их решения. Описанные математические методы положены в основу диалоговых программных средств поддержки принятия решений при добыче газа и переработке газового конденсата.

Введение

В современных условиях эффективность и экономичность функционирования единой системы газоснабжения России является важнейшим фактором снижения затрат и повышения надежности поставок газа. Такой результат достигается за счет совершенствования технологий управления процессами добычи, транспорта и переработки газа (газового конденсата). Будем различать два класса возникающих здесь задач: планирования и оперативного управления. Задачи планирования должны давать ответы на вопросы о возможностях системы, определять планы производства, согласующие объемы добычи с потребностями. Решение задач планирования должно осуществляться как на верхнем уровне — Центральном производственно-диспетчерском департаменте ОАО "Газпром", так и на уровне диспетчерских управлений газодобывающих и газотранспортных обществ. Задачи управления заключаются в выработке управляющих воздействий на систему, которые позволяют наилучшим образом поддерживать найденные на уровне планирования решения. Задачи оперативного управления должны решаться на уровне диспетчерских служб установок

Если параллельные каналы имеют одинаковые гидравлические показатели, то получим формулу $\omega_i = 1/N$.

Таким образом, выявлено, что при гидравлическом расчете распределение расхода сжимаемой и несжимаемой сред между параллельными каналами описывается одной и той же зависимостью, хотя распределение давления по длине трубопровода в первом случае имеет экспоненциальную зависимость, а во втором случае — линейную зависимость.

Из представленных формул легко составляются необходимые зависимости для управления процессом транспортировки, исходя из показателей одной из параллельных нитей.

Список литературы

1. Бобровский С.А., Щербаков С.В., Гусейн-Заде М.А. Движение газа в газопроводах с путевым отбором. М.: Наука, 1972.
2. Грачев В.В., Щербаков С.Г., Яковлев Е.Е. Динамика трубопроводных систем. М.: Наука, 1987.
3. Коротаев Ю.П., Ширковский А.И. Добыча, транспорт и подземное хранение газа. М.: Недра, 1997.

предварительной подготовки газа, установок комплексной подготовки газа, компрессорных станций, а также на уровне операторов технологических установок. Диспетчер (оператор) должен не только принимать правильные технологические и технические решения, но и оценивать экономические затраты от воплощения этих решений, поэтому кроме задач оперативного управления техническими и технологическими параметрами, на уровне оперативного управления должны решаться и задачи бюджетирования.

Задача рационального распределения объемов добычи газа по кустам газовых скважин и газовым скважинам

Газовый промысел обслуживает газовое месторождение, объекты добычи которого по геолого-техническим и территориальным признакам разделяются на несколько куполов, каждый из которых состоит из ряда кустов газовых скважин. Режимы работы всех скважин заранее определены, и все расчеты проводятся с учетом этих режимов. Предполагается, что начальное пластовое давление купола известно. Объем добычи газа из скважины регулируется системой кранов-регуляторов. В общем случае функция, опре-

деляющая устьевое давление газа скважины от объема добытого газа является квадратичной монотонно убывающей [1]. Так как изменение пластового давления газа происходит достаточно медленно, то предположим, что на выбранном интервале планирования можно пренебречь квадратичной составляющей и считать, что функции, определяющие зависимость забойного давления скважины от объема добываемого газа на заданном интервале времени, линейные.

Добытый в скважинах газ по газосборным сетям поступает на установки предварительной подготовки газа, каждая из которых обслуживает отдельный газовый купол. С установок предварительной подготовки газ поступает на установку комплексной подготовки газа, откуда поступает в магистральный газопровод. Предполагаются известными интервальные ограничения для элементов системы, связанные с объемами добычи и значениями давления газа.

Основной особенностью рассматриваемой системы является то, что все скважины одного куста сообщаются между собой общими коллекторами, а с обслуживающей их установкой предварительной подготовки газа посредством газосборной сети, тем самым при различных давлениях на выходе сообщающихся скважин эти давления выравниваются. При этом, если на скважине определен режим работы, обеспечивающий заданное давление газа на выходе, то изменение давления скважины из-за выравнивания давления во всей системе скважин нарушает допустимый технологический режим, что может привести к аварийным ситуациям.

Требуется определить максимально возможный объем газа, который может быть получен каждым куполом, объемы газа, которые должны добывать отдельные скважины при условии, что давление на выходе скважин каждого купола должны быть по возможности близки друг к другу.

Общая математическая модель

Исходные параметры модели. Пусть I – множество куполов газовых скважин; J_i – множество скважин i -го купола, $i \in I$, K – множество технологических режимов, обеспечивающих добычу газа в скважинах. Обозначим через q_{ij}^- , q_{ij}^+ – минимально допустимый и максимально возможный объемы добычи газа j -й скважиной i -го купола, $j \in J_i$, $i \in I$; $r_{(ji)^-}$, $r_{(ji)^+}$ – минимальная и максимальная пропускная способность газопровода, соединяющего j -ю скважину i -го купола с установкой предварительной подготовки газа, обслуживающей i -й купол скважин, $j \in J_i$, $i \in I$; V_i^- , V_i^+ – минимально возможный и максимально допустимый объем газа, который может переработать установка предварительной подготовки газа, обслуживающая i -й купол газовых скважин, $i \in I$; P_{ji}^- , P_{ji}^+ – минимально допустимое и максимально возможное давление на выходе j -й скважины i -го купола, $j \in J_i$, $i \in I$; Q_i^- , Q_i^+ – минимально допустимое и максимально возможное давление на входе установки предварительной подго-

товки газа, обслуживающей i -й купол газовых скважин, $i \in I$. Пусть $\varphi_{ij}^k(x)$ – функции, определяющие зависимость давления на выходе j -й скважины i -го купола при k -м технологическом режиме работы скважины, от объема добываемого газа, $j \in J_i$, $i \in I$, $k \in K$; $\varphi_j^k(x)$ – функции, определяющие зависимость давления газа на входе установки предварительной подготовки газа, обслуживающей i -й купол газовых скважин в зависимости от объема газа поступившего на установку, $i \in I$.

Варьируемые параметры модели. Обозначим через x_{ij}^k – объем добычи газа на j -й скважине i -го купола при использовании заранее определенного k -го технологического режима работы скважины $j \in J_i$, $i \in I$, $k \in K$.

Ограничения математической модели.

Объем добычи газа j -ой скважиной i -го купола должен принадлежать сегменту возможных значений, учитывающему как производительности скважин, так и пропускные способности газопроводов:

$$\max(q_{ji}^-, r_{(ji)^-}) \leq x_{ij}^k \leq \min(q_{ji}^+, r_{(ji)^+}), j \in J_i, i \in I. \quad (1)$$

Ограничения на возможные объемы переработки газа установками предварительной подготовки газа:

$$V_i^- \leq \sum_{j \in J_i} x_{ijk} \leq V_i^+, i \in I. \quad (2)$$

Значения величин давления на выходе скважин должны удовлетворять сегменту возможных давлений:

$$P_{ji}^- \leq \varphi_{ij}^k(x_{ij}^k) \leq P_{ji}^+, j \in J_i, i \in I. \quad (3)$$

Значения величины давления на входе установки предварительной подготовки газа должны удовлетворять сегменту возможных давлений:

$$Q_i^- \leq \varphi_i \left(\sum_{j \in J_i} x_{ijk} \right) \leq Q_i^+, i \in I. \quad (4)$$

Построенная математическая модель включает систему линейных двусторонних ограничений, из которых (1)-(2) являются ограничениями транспортного типа.

Постановка многокритериальной задачи

В качестве частных критериев оптимальности рассмотрим:

- максимизацию объема добычи газа каждым куполом:

$$F_i(X) = \sum_{j \in J_i} x_{ijk} \rightarrow \max, i \in I; \quad (5)$$

- давление на выходе скважин каждого купола должно быть по возможности близко друг другу:

$$R_i(X) = \min_{j \in J_i} [\varphi_{ij}^k(x_{ijk})] \rightarrow \max, i \in I. \quad (6)$$

Полученная задача (1)-(6) является многокритериальной с линейными ограничениями, линейными (5) и нелинейными критериями (6).

Алгоритм решения задачи. При представленной постановке исходная задача распадается на $|I|$ бикритериальных задач, каждая из которых соответствует подсистеме, состоящей из скважин одного купола и уста-

новки предварительной подготовки газа, обслуживающей эти скважины [2]. Алгоритм решения задачи для одного купола основан на построении взаимозависимой совокупности систем линейных алгебраических двусторонних неравенств транспортного типа, для решения которых предлагается применить хорошо зарекомендовавший себя релаксационный метод ортогональных проекций Агмона-Мощкина [3].

Задача оптимального управления процессом переработки газового конденсата

Рассматривается производственная система, которая из сырья (газовый конденсат), используя различные технологические установки, производит готовую продукцию (бензин АИ-80, бензин АИ-92, дизельное топливо, газ пропан, газ бутан и др.) [4-5]. Процесс производства нефтепродуктов из газового конденсата можно условно разбить на две стадии: переработка газового конденсата (сырья) в полуфабрикат; получение из полуфабриката нефтепродуктов (продуктов производства). По составу газоконденсата можно условно выделить несколько групп, которые будем отождествлять с различными полуфабрикатами. Для каждого полуфабриката предполагается известным, какие продукты производства могут быть из него изготовлены. В начале планируемого периода задан план по продуктам производства. Невыполнение плана влечет за собой штрафные санкции. Готовая продукция отправляется заказчику, причем график отгрузки продукции должен быть заранее спланирован, так как это связано со своевременным поступлением под погрузку различных видов транспорта – автотранспорта, железнодорожного или водного. Требуется так управлять процессом производства нефтепродуктов из газоконденсата, чтобы наилучшим образом выполнить плановые задания по продуктам производства и обеспечить эффективное функционирование производственной системы.

Будем моделировать процесс переработки газового конденсата, управляемый однородной марковской цепью с доходами. Пусть I – множество различных типов газоконденсата, J – множество различных полуфабрикатов, K – множество продуктов производства, T – множество тактов планирования. Обозначим через $P = \|P_{ij}\|$ – матрицу вероятностей переходов марковской цепи, где P_{ij} – вероятность того, что из газоконденсата с номером i будет получен полуфабрикат с номером j ,

$$P_{ij} \geq 0, \sum_{j \in J_i} P_{ij} = 1, i \in I.$$

Пусть $h(j) = (h_1^j, h_2^j, \dots, h_{|K|}^j)$ – вектор, определяющий выпуск продуктов из полуфабриката с номером j , где h_k^j – количество продукта с номером k , которое будет произведено из полуфабриката с номером j ,

$$\sum_{k=1}^{|K|} h_k^j = V_0, j \in J, h_k^j \geq 0, k \in K.$$

Предположим, что существует конечное число различных наборов векторов $h(j)$, множество которых обо-

значим через H , $H \subseteq R_+^{|K|}$, где $R_+^{|K|}$ – множество $|K|$ мерных векторов с действительными неотрицательными компонентами. Пусть $\pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{|K|})$ – вектор-план, где π_k – количество продукта с номером k , которое необходимо выпустить в планируемом периоде, $k \in K$. Обозначим через c_k – доход, который система получит, если будет выпущена единица запланированного продукта с номером k , g_k – доход, который система получит за единицу выпущенного незапланированного (или сверхпланового) продукта с номером k , $g_k \leq c_k$, $k \in K$; d_i – затраты на использование единицы газового конденсата с номером i , $i \in I$.

Множество состояний марковской цепи разобьем на два подмножества: основные и вспомогательные. Множество основных состояний обозначим через $S = \{s \mid S_k \geq 0 \text{ – целые, } k \in K\}$, где S_k – количество продукта с номером k , которое будет произведено в системе. Вспомогательным состоянием назовем пару (s, j) , где $s \in S$, $j \in J$. Множество управлений системой разобьем на два подмножества:

- управления в основных состояниях – выбор типа газоконденсата из множества I ,
- управления во вспомогательных состояниях – множество H векторов $h(j)$ – выбор программы выпуска продуктов из полуфабриката с номером j , $j \in J$.

Функцию дохода обозначим через $q(s, \pi, h(j))$. Управляемая марковская цепь функционирует по следующей схеме. Из основного состояния s система под воздействием управления i с вероятностью P_{ij} переходит во вспомогательное состояние (s, j) , при этом переходе система приобретает "доход" – d_i , $s \in S$, $i \in I$, $j \in J$. Из вспомогательного состояния (s, j) под воздействием управления $h(j)$ система детерминировано переходит в новое основное состояние s^1 , где $S_k^1 = S_k + h_k^j$, $k \in K$. При этом переходе система приобретает доход, определяемый функцией $q(s, \pi, h(j))$, $s \in S$, $k \in K$, $j \in J$ (определяется, какой продукт и в каком количестве будет произведен из полученного полуфабриката с номером j ; система приобретает доход, который складывается из двух составляющих: доход за запланированные продукты, и доход за сверхплановые продукты).

Система функционирует $|T|$ тактов. Относительно рассматриваемой системы поставим следующую задачу: при заданном состоянии системы и числе тактов функционирования определить оптимальную стратегию управления процессом изготовления продуктов из газоконденсата в некотором классе стратегий. Оптимальность в рассматриваемой модели соответствует максимизации математического ожидания полного суммарного дохода, который получит система за время своего функционирования. Под стратегией будем понимать функции $v(s, t)$ и $w(s, j, t)$ определенные соответственно на множествах $S \times T$ и $S \times J \times T$ со значениями из множеств I и H , где \times – знак прямого произведения множеств. При заданных стратегиях управления марковской цепью $v_0(s, t)$ и $w_0(s, j, t)$ пусть $\phi(s, t)$ и $\phi(s, j, t)$ – математические ожидания полного

суммарного дохода, который получит марковская цепь из основного и вспомогательного состояний, если к ней будут применены управления, определяемые заданной стратегией. Тогда справедливы следующие рекуррентные соотношения:

$$\varphi(s, t) = d_{v_0(s, t)} + \sum_{j \in J} p_{v_0(s, t)} \phi(\bar{s}, j, t),$$

$\phi(s, j, t) = q(s, \pi, w(s, j, t) + \varphi(s^1, t-1))$, используя которые можно находить математическое ожидание полного суммарного дохода, который получит марковская цепь, если к ней будут применены управления, задаваемые функциями $v_0(s, t)$ и $w_0(s, j, t)$.

Используя принцип оптимальности динамического программирования, можно показать, что оптимальная стратегия для рассматриваемой марковской цепи всегда существует. Пусть $v(s, t)$ – математическое ожидание полного суммарного дохода, который получит система в основном состоянии при t тактах, оставшихся до конца функционирования, при оптимальном выборе управлений, а $\mu(s, j, t)$ – математическое ожидание полного суммарного дохода, который получит система во вспомогательном состоянии (s, j) при t тактах, оставшихся до конца функционирования, при оптимальном выборе управлений. Тогда, применив принцип оптимальности динамического программирования, получим:

$$v(s, t) = \max_{i \in I} (d_i + \sum_{j \in J} p_{ij} \phi(s, j, t)),$$

$$\mu(s, j, t) = \max_{h(j) \in H} (q(s, \pi, h(j)) + v(s^1, t-1)).$$

Эти рекуррентные соотношения с учетом граничных доходов $v(s, 0) = 0$, $s \in S$ позволяют определять оптимальную стратегию управления процессом производства нефтепродуктов из газоконденсата.

Костюков Валентин Ефимович – канд. техн. наук, доцент, генеральный директор РФЯЦ-ВНИИЭФ.
Нижегородского государственного университета им. Н.И.Лобачевского.

Контактный телефон (831) 434-23-43 E-mail: pril@iani.unn.ru

На основании построенных математических моделей и разработанных алгоритмов на языке С# в среде Microsoft.NET.Framework 2.0 созданы диалоговые программные системы, реализующие интерактивные программные средства решения оптимизационных задач добычи и переработки газа (газового конденсата) [6].

Проверка адекватности представленных результатов осуществлялась на моделях реальных объектов – газодобывающего предприятия ООО "Ноябрьскгаздобыча", Сургутского завода стабилизации конденсата ООО "Сургутгазпром".

Список литературы

1. *Коротяев Ю.П., Ширковский А.И.* Добыча, транспорт и подземное хранение газа. М.: Недра, 1984.
2. *Прилуцкий М.Х., Васильев Е.В., Костюков В.Е.* Многокритериальная задача распределения производительности купола по газовым скважинам// Системы управления и информационные технологии. 2007. №3.2(29).
3. *Прилуцкий М.Х.* Многокритериальные многоиндексные задачи объемно-календарного планирования// Известия академии наук. Теория и системы управления. 2007. №1.
4. *Прилуцкий М.Х., Костюков В.Е.* Оптимизационные задачи объемно-календарного планирования для нефтеперерабатывающих предприятий// Системы управления и информационные технологии. 2007. №2.1(28).
5. *Прилуцкий М.Х., Костюков В.Е.* Поточковые модели для предприятий с непрерывным циклом изготовления продукции // Информационные технологии. 2007. №10.
6. *Прилуцкий М.Х., Шумилов В.Б., Афраймович Л.Г., Старостин Н.В., Филимонов А.В.* Оптимизационные задачи объемно-календарного планирования для предприятий по переработке газового конденсата // Электронный журнал "Исследовано в России". 031. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2008/031.pdf>.

Прилуцкий Михаил Хаимович – д-р техн. наук, проф.

Новые Ethernet-коммутаторы MOXA PowerTrans PT-7000 для энергетики и транспорта

Компания "Ниеншанц-Автоматика", официальный дистрибьютор MOXA Inc. в России, представляет новые коммутаторы Industrial Ethernet – серию PowerTrans PT-7000. Оборудование новой серии полностью соответствует требованиям, предъявляемым к системам связи энергетической и транспортной отрасли. По параметрам надежности, резервирования и электромагнитной совместимости оборудование отвечает стандартам:

- IEC 61850-3, IEEE 1613 – сети и системы связи на энергетических подстанциях;
- NEMA TS2 – системы управления дорожным движением;
- EN50121-4 – железнодорожный транспорт. Электромагнитная совместимость.

В серию PT-7000 входят две модели - коммутатор с базовыми функциями управления PT-7324 (до 24 портов Ethernet) и интеллектуальный модульный коммутатор PT-7728 (до 28 портов Ethernet). Модель PT-7728 обладает всеми современными функциями сетевого управления и поддерживает кольцевое резервирование сетей связи по протоколу Turbo Ring с временем восста-

новления 20 мс. Построение резервированных сетей возможно как по "витой паре", так и по оптоволокну.

Оба коммутатора характеризуются следующими основными особенностями: модульное безвентиляторное исполнение; поддержка стандартов Fast Ethernet 10/100 и Gigabit Ethernet; передача данных по "витой паре" и оптоволокну; монтаж в стойку 19", высота 1U; электропитание постоянного или переменного тока; работа в расширенном температурном диапазоне -40...85 °С.

Указанные свойства позволяют применять коммутаторы PowerTrans PT-7000 в системах АСУТП электростанций, в АСУ распределения энергии на подстанциях, в системах мониторинга электрического и теплофикационного оборудования. Устойчивость к температурным воздействиям и вибрационному фону обеспечивает стабильную работу PowerTrans в интеллектуальных системах управления на автомобильном и железнодорожном транспорте, а также на ответственных участках систем автоматизации производства.

[Http://www.nnz-ipc.ru](http://www.nnz-ipc.ru)