

МЕХАНИЗМЫ ПРИНЯТИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЯНОГО ПОПУТНОГО ГАЗА¹

С.Н. Васильев, Ф.Т. Алескеров, А.А. Иванов, В.И. Якуба

Дан анализ проблем утилизации нефтяного попутного газа. Предложен метод оптимального распределения затрат на прокладку трубопровода, предусматривающий финансирование нефтяными компаниями и возможное участие государства. Построена многокритериальная модель выбора оптимальных альтернатив утилизации нефтяного попутного газа. Создан программный комплекс, реализующий разработанные алгоритмы.

Ключевые слова: утилизация нефтяного попутного газа, трубопровод, многокритериальный выбор, экономический механизм, сценарный анализ.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема утилизации попутного газа на нефтяных месторождениях в России актуальна. Если в Норвегии попутный газ утилизируется полностью, то в нашей стране, даже на самых технологически развитых нефтяных месторождениях, степень утилизации попутного газа не превышает 40 %, а зачастую равна нулю.

Несмотря на ряд мер законодательного характера, принятых государством и регионами и призванных повысить степень утилизации попутного газа, активных шагов со стороны нефтедобывающих предприятий в этом направлении не предпринимается. Это связано с региональными особенностями добычи и, прежде всего, с удаленностью скважин от соответствующей инфраструктуры.

Объемы добычи и сжигания нефтяного попутного газа (НПГ) в России довольно трудно оценить.

По данным Министерства природных ресурсов и экологии РФ, из 55 млрд. м³ ежегодно добываемого в России НПГ лишь 26 % (14 млрд. м³) направляется в переработку, 47 % (26 млрд. м³) идет на нужды промыслов либо списывается на технологические потери и 27 % (15 млрд. м³) сжигается

в факелах [1]. По подсчетам Министерства, из-за недостаточной степени переработки НПГ бюджет ежегодно теряет около 13 млрд. долл. Имеются в виду не прямые потери, исчисленные исходя из стоимости самого НПГ, а потери, связанные с недополучением более дорогостоящей продукции на предприятиях нефтехимической промышленности, в том числе продукции, которая могла бы быть экспортирована в другие страны.

Основной объем сжигания нефтяного газа приходится на Западную Сибирь, где добывается более 80 % российской нефти. Уровень утилизации газа здесь ниже, чем в других районах страны в силу более слабой инфраструктурной освоенности и большей удаленности месторождений от газоперерабатывающих заводов (ГПЗ).

1. АНАЛИЗ ПРИЧИН СЖИГАНИЯ НЕФТЯНОГО ПОПУТНОГО ГАЗА

Причины сжигания НПГ в России определяются тем, что исторически развитие добывающей и перерабатывающей отраслей не было скоординировано.

Можно выделить следующие причины сжигания НПГ в России [2, 3].

- Технические причины:
— отсутствие необходимой производственной и технологической инфраструктуры;

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке программ № 14 и № 23 Президиума РАН.



- несовершенство методики и техники измерения, учета и оценки ресурсов НПГ;
 - системы сбора и утилизации НПГ ориентированы на централизованные схемы поставки.
 - Экономические причины:
 - неадекватное налогообложение газовой отрасли в сопоставлении с условиями добычи «нового» природного газа и НПГ (в целом система налогообложения в газовом секторе экономики страны не учитывает качественные различия характеристик добываемых углеводородов и не принимает во внимание различные горно-геологические условия их добычи);
 - повышенная капиталоемкость процессов сбора и направления на утилизацию НПГ по сравнению с природным газом.
 - Организационно-институциональные причины:
 - отсутствие заинтересованности ряда нефтяных компаний в ведении бизнеса, связанного со сбором, утилизацией и использованием НПГ;
 - отсутствие гарантий доступа сухого отбензиненного газа к газотранспортной системе;
 - неэффективность существующей в России системы государственного контроля и мониторинга за ходом выполнения лицензионных соглашений (достижение определенных уровней утилизации НПГ);
 - конкуренция между различными государственными структурами.
- Кроме того, себестоимость НПГ выше, чем природного газа, так как:
- значительно меньше дебиты нефтяных скважин по газу по сравнению с дебитами газовых скважин;
 - меньше давление НПГ;
 - присутствуют значительные объемы жидких углеводородов, что требует повышенных энергетических и материальных затрат на сбор, переработку и компрессирование НПГ для подачи потребителям в систему магистральных газопроводов;
 - необходимо сооружение более разветвленной системы газосборных промысловых трубопроводов.
- Существуют следующие потери и угрозы для государства в связи со сжиганием НПГ:
- экономические: доход от нефтепродуктов выше в 1,5 раза, а от нефтехимической продукции в 5—10 раз, чем от сырой нефти; НПГ содержит наиболее высокую долю ценных сырьевых компонентов (этан, пропан, бутан, пентан), чем другие газы извлекаемые из недр;
 - экологические: загрязнение окружающей среды, основным источником которого является сжигание НПГ. По Киотскому протоколу это может вылиться в прямые финансовые потери.

2. АНАЛИЗ ПОЗИЦИЙ ЗАИНТЕРЕСОВАННЫХ СТОРОН — ГОСУДАРСТВА И НЕФТЯНЫХ КОМПАНИЙ [4]

На федеральном и региональном уровне отсутствует понимание, что для решения проблем утилизации, а именно, эффективного использования НПГ со стороны государства необходим комплексный подход, включающий в себя:

- определение критериев эффективности использования НПГ и места ресурсов НПГ в системе газоснабжения страны;
- разработку процедур принятия решений по выбору вариантов утилизации НПГ (или разрешения на его сжигание) в зависимости от конкурентных экономических и иных условий;
- применение механизмов лицензирования на право пользования недрами для реализации выбранных вариантов утилизации НПГ и мониторинга данного процесса;
- применение мер экономического стимулирования и принуждения;
- сбалансированную ценовую политику;
- создание недискриминационных условий для поставок НПГ и продуктов его переработки на рынок.

Особо важно отметить, что проблему утилизации НПГ невозможно решить, опираясь только на методы принуждения, штрафов и санкций.

Нефтяным компаниям невыгодно утилизировать НПГ, так как для этого требуются вложения капитала в строительство систем сбора НПГ, газопроводов и др. Нефтяным компаниям было бы выгодно, если часть расходов взяли бы на себя государство и нефтехимические компании, но на практике это маловероятно.

Немалые надежды возлагаются на изменение порядка ценообразования на НПГ и сжиженные газы, но рынок НПГ является рынком монопольного покупателя — «Сибур», поэтому неочевидно, что «Сибур» согласится покупать газ по ценам, устраивающим нефтяников. Но даже, если нефтяные компании будут развивать собственные ГПЗ или найдут взаимоприемлемые условия работы с «Сибуром», у нефтяников нерешенной остается проблема с доступом сухого отбензиненного газа в газотранспортную систему «Газпрома».

Поэтому потенциально эффективные планы и проекты нефтяных компаний по утилизации НПГ и развитию газопереработки может обрести реальные черты только при сочетании определенных условий:

- повышение цен на НПГ до экономически обоснованного уровня;
- обеспечение беспрепятственного доступа продукции (в частности, сухого отбензиненного газа) на рынок;

— применение мер стимулирования инвестиционных проектов по утилизации НПГ.

Можно показать, что только при выработке электроэнергии максимальные убытки при утилизации выше, чем при сжигании. В остальных случаях предприятию выгодно утилизировать, нежели сжигать нефтяной попутный газ.

Отметим, что с 1 января 2012 г. началось повышение платы за сверхлимитное (более 5 %) сжигание НПГ.

3. МОДЕЛЬ ПЛАТЕЖЕЙ ЗА ОБЪЕКТЫ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ (ТРУБОПРОВОДЫ)

Таким образом, серьезная проблема в утилизации НПГ состоит в том, что на собственные нужды промысла используется только часть НПГ, другая же часть должна перекачиваться на ГПЗ. В регионах с хорошо развитой инфраструктурой решение этой проблемы не столь затратное; в малоосвоенных же регионах стоимость трубопровода может составить 1,3—1,5 млн долл. за 1 км [4].

Будем моделировать задачу распределения затрат следующим образом. Пусть (N, M, C, T) — четырехместный кортеж, где N — множество участников (владельцев месторождений), $M = (t_1, t_2, \dots, t_m)$, m — натуральное число, обозначает число секций трубопровода, связывающего месторождения с ГПЗ; $C: M \rightarrow R_+$ — функция затрат, которая описывает затраты на строительство каждой секции трубопровода; $T: N \rightarrow 2^M$ — отображение, показывающее секции трубы, используемые каждым участником. Считается, естественно, что множество секций, используемых каждым участником, связано, т. е. $\forall i \in N$ существуют $a_i, b_i \in M$, $a_i \leq b_i$ и $T(i) = \{t \in M \mid a_i \leq t \leq b_i\}$ и $\bigcup_{i \in N} T(i) = M$.

За основу модели можно взять игровые модели оценки платежей [5—8].

Пример 1. Пусть владельцы месторождений 1—4 будут строить трубопровод к ГПЗ так, как показано на рис. 1. Тогда $T(1) = \{t_2, t_3, t_6\}$, $T(2) = \{t_1, t_2, t_3, t_6\}$, $T(3) = \{t_5, t_6\}$, $T(4) = \{t_3, t_4, t_6\}$. ♦

Напомним некоторые определения игр с трансферабельной полезностью — (N, c) , где N — множество участников, $c: 2^N \rightarrow R$ — характеристическая функция игры, $c(\emptyset) = 0$.

Дележ $x \in R^n$, где $x_i \in R$, обозначает платеж участника i . Если S — коалиция участников из N , то

$$x(S) = \sum_{i \in S} x_i$$

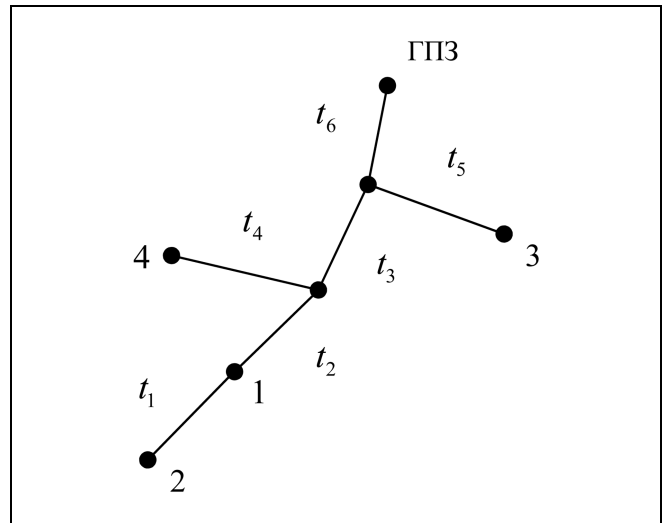


Рис. 1. Схема трубопровода от месторождений к газоперерабатывающему заводу

Дележ x называется эффективным, если $x(N) = c(N)$ и индивидуально рациональным, если $x_i \leq c(\{i\})$ для любого i .

Кортеж (N, M, C, T) будем называть описанием трубопровода.

Свяжем описание трубопровода с игрой (N, c) следующим образом. Если S — коалиция из N , то

$$T(S) = \bigcup_{i \in S} T(i),$$

т. е. это множество секций трубы, используемых коалицией S . Кроме того, определим

$$c(S) = \sum_{t \in T(S)} C(t),$$

где $c(S)$ — затраты коалиции S .

Далее обсудим три возможных решения по распределению затрат в этой модели. Обозначим через $\xi_i(N, M, C, T)$ — размер затрат, которые должен понести участник i .

Первое решение — это распределение стоимости строительства каждой секции $C(t)$ трубопровода равным образом между всеми, кто ею пользуется. Иначе говоря,

$$\xi_i^{eq}(N, M, C, T) = \sum_{t \in T(i)} \frac{C(t)}{\text{card}(\{j \in N \mid t \in T(j)\})},$$

где card — число элементов множества, в данном случае, соответствий участника секции трубопровода.

Можно показать, что решение ξ^{eq} совпадает с ценой Шепли для соответствующей кооперативной игры [9].



Другое естественное решение — это распределить общие затраты пропорционально индивидуальным затратам, т. е.

$$\xi_i^{prop}(N, M, C, T) = \frac{c(\{i\})}{\sum_{j \in N} c(\{j\})},$$

где $C(\{j\})$ — затраты участника j .

Можно показать, что решение ξ_i^{prop} является компромиссно приемлемым решением [8].

Рассмотрим на примерах два случая: полного долевого финансирования строительства трубопровода для НПП участниками; частичного финансирования затрат со стороны государства.

Пример 2. Полное доленое финансирование. Пусть затраты на строительство секций трубопровода таковы, как это показано в табл. 1. Рассчитаем величины ξ_i^{eq} и ξ_i^{prop} для всех i .

Итак,

$$\xi_1^{eq} = \frac{c(t_2)}{\text{card}(\{1, 2\})} + \frac{c(t_3)}{\text{card}(\{1, 2, 4\})} + \frac{c(t_6)}{\text{card}(\{1, 2, 3, 4\})} = \frac{2}{2} + \frac{4}{3} + \frac{3}{4} = 3\frac{7}{12} = 3,58,$$

$$\xi_2^{eq} = \frac{c(t_1)}{1} + \frac{c(t_2)}{2} + \frac{c(t_3)}{3} + \frac{c(t_6)}{4} = \frac{3}{1} + \frac{2}{2} + \frac{4}{3} + \frac{3}{4} = 5\frac{7}{12} = 5,58,$$

$$\xi_3^{eq} = \frac{1}{1} + \frac{3}{4} = 1\frac{3}{4} = 1,75,$$

$$\xi_4^{eq} = \frac{4}{3} + \frac{2}{1} + \frac{3}{4} = 3\frac{7}{12} = 3,58.$$

Для расчета ξ_i^{prop} заметим, что $C(N) = 15$. Тогда, $c(\{1\}) = C(t_2) + C(t_3) + C(t_6) = 9$, $c(\{2\}) = C(t_1) + C(t_2) + C(t_3) + C(t_6) = 12$, $c(\{3\}) = 4$; $c(\{4\}) = 9$.

Теперь,

$$\xi_1^{eq} = \frac{c(1)}{4} c(N) = \frac{9}{34} 15 = 3,97; \quad \xi_2^{eq} = \frac{12}{34} 15 = 5,29,$$

$$\sum_{j=1} c(j)$$

$$\xi_3^{eq} = \frac{4}{34} 15 = 1,77, \quad \xi_4^{eq} = \frac{9}{34} 15 = 3,97.$$

В рамках сформулированного подхода, каждый из участников будет согласен платить не более рассчитанных значений затрат, при условии, что он обязан участ-

вовать в строительстве. Как видим, участники 1, 4 и 2 вынуждены нести затраты по строительству дорогой секции 3 трубопровода, кроме того, участник 2 полностью оплачивает строительство секции 1, которой пользуется только он. ♦

Указанная схема распределения затрат может быть обобщена на случай, когда с разных месторождений поступает газ разного качества, например, газ с более и менее высоким содержанием тяжелых углеводородов.

Рассмотрим обобщение модели пропорционального дележа на случай, когда каждый участник не полностью использует общий ресурс. А именно, будем дополнительно предполагать, что задан коэффициент использования секции трубопровода — функция $u: N \times M \rightarrow R_+$, так что u_{ij} означает долю пропускной способности секции t_j , используемой участником i . Обозначим через ξ_{ij}^{prop} часть стоимости секции t_j , которая должна возмещаться участником i .

Если секция используется участниками не полностью, формально можно построить пропорциональный дележ, который будет удовлетворять соотношению

$$\xi_{ij}^{prop} = \frac{u_{ij}}{\sum_i u_{ij}} c_j,$$

где c_j — стоимость j -й секции.

Однако обратим внимание, что участники не захотят оплачивать эту стоимость, особенно если значение $\xi_{ij}^{prop} - u_{ij} \xi_{ij}^{prop}$ очень велико.

Пример 3. Софинансирование со стороны государства. Пусть стоимость j -й секции равна 4, ею пользуются два участника, 1 и 2, и коэффициент использования равен 0,3 и 0,5 соответственно. Если «разложить» эту стоимость на обоих участников пропорционально использованию, то участник 1 должен будет заплатить

$$\frac{0,3}{0,3 + 0,5} 4 = 1,5, \text{ а участник 2 — } \frac{0,5}{0,3 + 0,5} 4 = 2,5.$$

Так, в нашем примере $\xi_{1j}^{prop} - u_{1j} c_j = 1,5 - 1,2 = 0,3$, $\xi_{2j}^{prop} - u_{2j} c_j = 2,5 - 2 = 0,5$, т. е. превышение для каждого составит не менее 20 %.

В этой ситуации предлагается ввести еще одного участника — федеральный центр и/или регион, который возьмет на себя финансирование разницы между стоимостью проекта и затратами участников. Для координации целей по утилизации НПП в конкретных регионах предлагается создать ОАО «Утилизация НПП — регион», в котором часть акций должна принадлежать государству/региону. Особенно это касается тех регионов, в которых объекты общего пользования, такие как ГПЗ или газопровод, будут загружены не сразу, а по мере освоения месторождений. Соответственно, финансирование

Таблица 1

Затраты на строительство секций трубопровода

Секция	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
Затраты	3	2	4	2	1	3

таких проектов должно поддерживаться государством, и прибыль должна делиться пропорционально вложениям. Кроме того, имеет смысл размещение акций на бирже в целях привлечения средств граждан под гарантии государства.

Этому участнику (обозначим его номером 0) приписывается разность между 1 и суммой коэффициентов использования секции, т. е.

$$u_{0j} = 1 - \sum_i u_{ij}$$

Тогда, пропорциональный дележ стоимости с учетом коэффициента использования секции j будет выглядеть так:

$$\xi_{ij}^{prop} = \frac{u_{ij}}{\sum_{i=0} u_{ij}} c_j$$

а всего участник i должен будет выплатить величину

$$\xi_i^{prop} = \sum_j \xi_{ij}^{prop}$$

Рассмотрим пример, приведенный в табл. 2. В левом столбце этой таблицы показаны значения стоимости

Таблица 2

Стоимость секций трубопровода и значения коэффициентов их использования

Стоимость	Секция	Участники				
		1	2	3	4	ОАО
3	t_1	0	0,8	0	0	0,2
2	t_2	0,4	0,1	0	0	0,5
4	t_3	0,4	0,1	0	0,2	0,3
2	t_4	0	0	0	0,9	0,1
1	t_5	0	0	0,9	0	0,1
3	t_6	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1

Таблица 3

Значения дележа стоимости секций трубопровода между участниками

Секция	Участники				
	1	2	3	4	ОАО
t_1	0	2,4	0	0	0,6
t_2	0,8	0,2	0	0	1
t_3	1,6	0,4	0	0,8	1,2
t_4	0	0	0	1,8	0,2
t_5	0	0	0	0,9	0,1
t_6	0,9	0,9	0,6	0,3	0,3
Итого	3,3	3,9	0,6	3,8	3,4

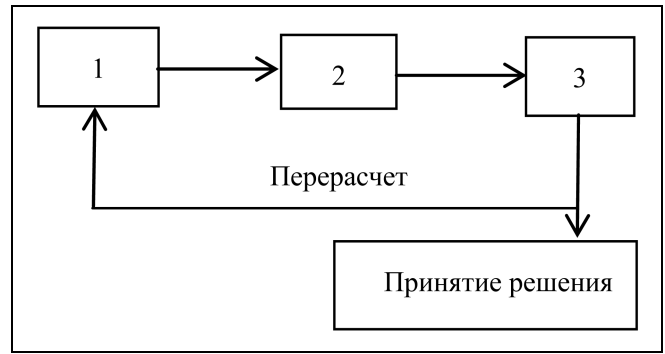


Рис. 2. Двухступенчатая модель принятия решений

секций $t_1 - t_6$. В столбцах 3—6 приведены значения коэффициентов использования соответствующих секций участниками 1—4. В последнем столбце табл. 2 показаны значения коэффициентов использования для ОАО.

В табл. 3 приведены значения дележа стоимости секций между участниками. Так, по первой секции, стоимость которой равна 3, участник 2 оплачивает 2,4, а ОАО — 0,6.

Указанная модель может использоваться для финансирования строительства любых объектов общего пользования, необходимых для утилизации НПГ. ♦

4. МОДЕЛЬ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧЕ УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЯНОГО ПОПУТНОГО ГАЗА

Предлагается следующая модель:

- 1) решение оптимальной задачи о распределении ресурсов между различными способами утилизации НПГ для отдельных компаний;
- 2) решение задачи о распределении платежей при строительстве объектов общего пользования для переработки НПГ, например, трубопроводов;
- 3) перерасчет параметров.

Сама схема принятия решений приведена на рис. 2.

Аналогичная двухступенчатая модель принятия решений исследовалась в работе [10]. Расширение такого рода моделей может учитывать и ограничения на экологическую нагрузку территорий, и тогда модифицировать платежи можно согласно схемам, предложенным в работе [11].

Различные варианты утилизации природного газа в месте добычи, различные варианты прокладки трубопровода, различная стоимость отдельных «звеньев» трубопровода определяют различные варианты утилизации НПГ. Эти варианты предлагается оценивать по многим критериям.

Структура модели многокритериального выбора представлена на рис. 3.

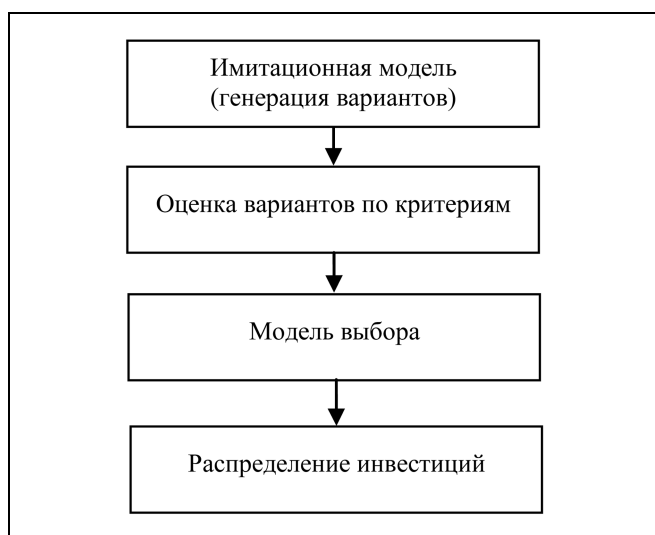


Рис. 3. Структура модели многокритериального выбора

Использование такой общей модели позволяет учесть не только стоимость утилизации НПП, но и важнейшие экологические характеристики территории.

5. МОДЕЛЬ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА

Указанные выше варианты утилизации НПП от группы скважин предлагается оценивать по следующим критериям:

1) экологическая эффективность — остаточное количество сжигаемого газа после проведения трубопровода;

2) стоимость;

3) размер нарушения природного баланса при прокладке трубопровода, который оценивается по объему воздействия на природную среду, а именно, на почвенно-растительный покров, водный бассейн. Если трубопровод прокладывается вдоль существующих трубопроводных систем, то в соответствующих местах размер воздействия принимается равным нулю. Измеряется в квадратных километрах территории, которая подвергается воздействию.

Все критерии 1—3, очевидно, минимизируются.

В качестве модели выбора предлагается принять пороговую модель агрегирования, разработанную в Институте проблем управления РАН [12—14]. Для этого все данные сначала переводятся в ранговую форму. А именно, строятся значения показателей для каждого варианта, и экспертно определяется степень выраженности показателя в трехградационной шкале. Например, для показателя стоимости степень выраженности по-

казателя может иметь вид: низкая, средняя и высокая стоимость. Возможно представление данных с более высокой точностью, например, в шкале из m рангов.

Переход к ранговой шкале позволяет сделать модели более устойчивыми к малым искажениям исходной информации, которые неизбежно возникают вследствие ее неполноты.

При переходе к ранговой модели будем предполагать, что большие ранговые оценки соответствуют меньшему значению показателя. Это связано с тем, что, согласно устоявшейся традиции, критерии обычно максимизируются.

Для агрегирования применяется следующая пороговая модель (случай трехградационных ранжировок).

Пусть $v_1(x)$ — число участников, для которых альтернатива x является наилучшей в их предпочтениях, т. е. имеет ранг 1, $v_2(x)$ — число участников, для которых альтернатива x является второй наилучшей, т. е. имеет ранг 2. Затем альтернативы упорядочиваются лексикографически. Говорят, что альтернатива x доминирует альтернативу y если $v_1(x) < v_1(y)$ или, если $v_1(x) = v_1(y)$, но $v_2(x) < v_2(y)$. Другими словами, в первую очередь сравниваются количества последних мест в упорядочениях для каждой альтернативы, в случае, когда они равны, идет сравнение количества вторых мест. Выбором служат альтернативы, недоминируемые по V .

Иная модель агрегирования, которая может использоваться в поставленной задаче, приведена в работе [15].

6. ИМИТАЦИЯ И СЦЕНАРНЫЙ АНАЛИЗ В ЗАДАЧЕ ПРОКЛАДКИ ТРУБОПРОВОДА

В качестве модели для решения задачи была выбрана модель в виде дерева (графа без циклов), при этом предполагалось, что существует единственный путь от источника добычи до конечной точки.

В рассматриваемой модели каждая скважина, каждая промежуточная точка и конечный пункт назначения представлены в виде вершин графа. В роли ребер выступают либо секции трубопровода, либо насосные станции, которые характеризуются своей стоимостью.

Объем НПП, транспортируемый от конкретной скважины, рассчитывается как разность между объемом добычи и объемом переработки НПП на месте для данной скважины.

Таким образом, ставится задача нахождения путей от каждой скважины до пункта назначения, при условии, что такой пункт единственный. В ре-

шении данной задачи применялся метод обхода графа (поиск) в ширину. С его помощью находился путь от каждой вершины-скважины к вершине-стоку. После этого для каждого участка трубопровода была вычислена его загруженность, т. е. подсчитано суммарное количество проходящих через него за единицу времени нефтепродуктов.

Следующим шагом стал подсчет для каждого маршрута от скважины к вершине-стоку его стоимости. Для этого использовались данные, полученные на предыдущем шаге, о загруженности каждого участка трубопровода. Суммировались по каждому участку доли скважины в общем потоке по участку трубы (частное от деления потока нефтепродуктов текущего источника на общий поток нефтепродуктов через данный участок трубопровода), умноженные на стоимость участка трубы, которая приходится на владельцев скважин (общая стоимость участка трубы минус стоимость, которая платится ОАО «Утилизация НПП — регион»).

7. ТЕСТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ

Описание программного комплекса. Предложенные модели реализованы в виде программного комплекса, представляющего собой расчетный модуль со средствами интерактивной работы пользователя. Комплекс разработан с помощью средств VS2010 на языке C#.

Описание процедуры тестирования. Случайным образом генерируется граф-дерево с 1000 листьями. Глубина каждого листа (число ветвей до достижения магистрали) изменялась от 2 до 5. Стоимость каждой ветви (ребра графа-дерева) — случайное число от 0,7 до 1,2 (соответствует равномерному распределению). Магистраль, к которой выводятся (подключаются) ветви, считается построенной, расходы на нее не учитываются.

Выбрано пять компаний-владельцев скважин. Емкость каждой скважины — целое случайное число от 1 до 10. Стоимость одной ветви распределяется между собственниками источников пропорционально прокачиваемому количеству вещества (НПП).

Алгоритм генерации графа. Требуется случайно сгенерировать дерево на 1000 вершин. Известно, что в дереве должна быть так называемая «главная магистраль». Если удалить ее из графа, то он распадется на несколько несвязанных между собой компонентов. При решении предполагается, что такая магистраль уже построена. Таким образом, требуется лишь сгенерировать некоторое число

графов (которые, очевидно, являются корневыми деревьями) так, чтобы суммарное число листьев на всех этих поддеревьях было равно 1000.

Предположим, что число таких поддеревьев (малых корневых деревьев) ровно 200. Тогда остается распределить 1000 скважин по этим поддеревьям (компонентам). Для каждой скважины генерировался ее ресурс (количество НПП, которое можно из нее извлечь, от 1 до 10), владелец (1 из 5), глубина (число ветвей до магистрали) и принадлежность к одному из 200 компонентов графа.

Алгоритм решения задачи. После генерации 1000 вершин, соответствующих скважинам, каждая из которых принадлежит одному из поддеревьев, обрабатывается каждое из этих поддеревьев. На основе информации о глубине каждой вершины каждого поддерева восстанавливается структура корневого дерева. Для него рассчитывается стоимость прокачки для каждой из вершин (скважин) на основе долевого (по прокачиваемому объему) вклада. Стоимость каждой ветви — сгенерированное случайное число от 0,7 до 1,2. Для каждой ветви подсчитывается, из скольких скважин будет проводиться прокачка через эту ветвь. Доля затрат владельца скважины равна

$$\frac{\text{емкость источника}}{\text{общее количество качаемого через трубу НПП}} \times \text{стоимость трубы.}$$

С помощью поиска в ширину определяется, из каких источников по каким секциям трубопровода будет прокачиваться НПП. Поиск в ширину по графу запускается по очереди, стартуя из каждого источника. В результате строится путь прокачки. Далее отмечаются ребра графа (ветви), через которые этот путь (из очередного источника) проходит. После работы такого алгоритма для каждого источника для каждой ветви получается список источников, которые будут использовать для прокачки данную ветвь. Затем рассчитываются доли вложений для владельца каждой скважины, исходя из приведенной формулы.

Для каждого владельца скважин рассчитываются его суммарные вложения как сумма вкладов для всех его скважин.

Результат работы программы: число скважин 1000, число ветвей 1704, общая стоимость 1612,19 (табл. 4).

Как видим, предложенный подход допускает сценарный анализ возможных реализаций проекта строительства трубопровода для утилизации НПП. Возможен расчет различных вариантов затрат для нефтедобывающих предприятий при определен-



Таблица 4

Расчет затрат участников строительства трубопровода

Участник	Число скважин	Распределение вложений при разных долях государства		
		доля государства, %		
		5	10	15
1	173	245,6	232,7	219,8
2	203	304,9	288,8	272,8
3	193	298,6	282,9	267,2
4	235	374,7	355,0	335,3
5	196	307,7	291,5	275,3
Государство	—	80,6	161,2	241,8

ных параметрах бюджета, или, с другой стороны, расчет требуемых затрат бюджета при заданной доле участия государства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная модель позволяет оценить эффект утилизации НПП в статике, т. е. в том случае, когда не учитывается изменение дебита НПП по скважинам. Изменения дебита можно моделировать, используя средние значения за T лет.

В настоящее время построен программный комплекс, в котором применен линейный алгоритм с алгоритмической сложностью $O(N)$, где N — число скважин.

Программный комплекс позволяет выбирать наиболее эффективную схему утилизации НПП, оценивать эффективный маршрут транспортировки НПП с месторождения с учетом потребности других производителей, использовать аукционные процедуры типа Викри [16] для определения наиболее эффективной схемы инвестиций в прокладку трубопровода для утилизации НПП, строить модели справедливого распределения прибыли, возникающей в результате утилизации НПП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Книжников А.Ю., Пусенкова Н.Н. Проблемы и перспективы использования попутного нефтяного газа в России / Проект «Экология и Энергетика. Международный контекст». — М., 2009. — ИМЭМО РАН. — Вып.1.
2. Андреева Н.Н. Пути повышения уровня использования попутного нефтяного газа / Центральная комиссия по разработке полезных ископаемых. Заседание 20.10.2005. — URL: www.oil-info.ru/lit/CKR/Doklad.pdf (дата обращения 27.01.2012).
3. Крюков В.А., Силкин В.Ю., Токарев А.Н., Шмат В.В. Как потушить факелы на российских нефтепромыслах: институ-

туциональный анализ условий комплексного использования углеводородов (на примере попутного нефтяного газа). — Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2008. — 340 с.

4. Бочаров В. В. Инвестиционный менеджмент. — СПб.: Питер, 2000. — 160 с.
5. Moulin H. Axiomatic Cost and Surplus — Sharing // Handbook of Social Choice and Welfare, Arrow, Sen and Suzumura (eds.), Edition 1. — 2001. — Vol. 1, ch. 6. — P. 289—357.
6. Moulin H, Sprumont Y. On demand responsiveness in additive cost sharing // Journal of Economic Theory. — 2005. — N 125. — P. 7—36.
7. Moulin H, Sprumont Y. Fair allocation of production externalities: Recent results // Revue d'économie politique. — 2005. — N 117. — P. 18—37.
8. Tijs S. Bounds for the core and the τ -value // Game Theory and Mathematical Economics / O. Moeshin, B. Pallashke (eds.). — Amsterdam, 1981. — P. 123—132.
9. Shapley L.S. A value for n -person games // Contributions to Theory of Games II (Annals of Mathematics Studies, 28) / Ed. by H.W. Kuhn and A.W. Tucker. — Princeton, 1953. — P. 307—317.
10. Aleskerov F., Cinar Y. 'q-Pareto-scalar' Two-stage Extremization Model and its Reducibility to One-stage Model // Theory and Decision. — 2008. — Vol. 65, iss. 4. — P. 325—338.
11. Васильев С.Н. Гармонизация интересов сторон при платежах предприятий за загрязнение // Моделирование и управление процессами регионального развития / Под ред. С.Н. Васильева. — М.: Физматлит, 2001. — 432 с.
12. Алескеров Ф.Т., Юзбашев Д.А., Якуба В.И. Пороговое агрегирование трехградационных ранжировок // Автоматика и телемеханика. — 2007. — № 1. — С. 147—152.
13. Алескеров Ф.Т., Якуба В.И. Метод порогового агрегирования трехградационных ранжировок // Докл. академии наук. — 2007. — Т. 413, № 2. — С. 181—183.
14. Aleskerov, F., Chistyakov V., Kaliyagin V. The threshold aggregation // Economic Letters. — 2010. — N 107. — P. 261—262.
15. Алескеров Ф.Т., Субочев А.Н. Об устойчивых решениях в ординальной задаче группового выбора // Докл. академии наук. — 2009. — Т. 426, № 3. — С. 318—320.
16. Vickrey W. Counterspeculation, Auctions, and Competitive Sealed Tenders // Journal of Finance. — 1961. — Vol. 16, iss. 1. — P. 8—37.

Статья представлена к публикации членом редколлегии чл.-корр. РАН Д.А. Новиковым.

Васильев Станислав Николаевич — академик РАН, директор, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, ☎ (495) 334-89-10, ✉ snv@ipu.ru,

Алескеров Фуад Тагиевич — д-р техн. наук, зав. лабораторией, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, ☎ (495) 334-88-69, ✉ alesk@ipu.ru; зав. кафедрой, Национальный исследовательский университет — Высшая школа экономики,

Иванов Александр Александрович — инженер, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, ☎ (495) 334-88-69, ✉ gcrp@ipu.ru; стажер-исследователь, Национальный исследовательский университет — Высшая школа экономики,

Якуба Вячеслав Иванович — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, ☎ (495) 334-88-69, ✉ yakuba@ipu.ru, г. Москва.