

# РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМОВ ПРИНЯТИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО УТИЛИЗАЦИИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА

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

## 1. Введение

Проблема утилизации попутного газа на нефтяных месторождениях в России весьма актуальна. Если в Норвегии попутный газ утилизируется полностью, то у нас даже в самых технологически развитых нефтяных месторождениях степень утилизации попутного газа не превышает 40%, а зачастую равна 0.

Несмотря на ряд мер законодательного характера, принятых государством и регионами и призванных повысить степень утилизации попутного газа, работы в этом направлении активно не ведутся. Это связано с региональными особенностями добычи и, прежде всего, с удаленностью скважин от соответствующей инфраструктуры.

Реальные объемы добычи и сжигания нефтяного попутного газа (ПНГ) в России трудно оценить.

Объемы сжигаемого газа на факельных установках постоянно растут (с 7,4 млрд м<sup>3</sup> в 2001 г. до 14,1 млрд м<sup>3</sup> в 2006 г., т. е. в 1,9 раза).

По данным МПР, из 55 млрд м<sup>3</sup> ежегодно добываемого в России ПНГ лишь 26% (14 млрд м<sup>3</sup>) направляется на переработку, 47% (26 млрд м<sup>3</sup>) идет на нужды промыслов либо списывается на технологические потери и 27% (15 млрд м<sup>3</sup>) сжигается в факелах [7].

По подсчетам МПР, из-за недостаточной степени переработки ПНГ бюджет ежегодно теряет около 13 млрд долл. При этом имеются в виду не прямые потери, исчисленные исходя из стоимости самого ПНГ, а потери, связанные с недополучением более дорогостоящей продукции на предприятиях нефтехимической промышленности, в том числе продукции, которая может быть экспортирована в другие страны.

Основной объем сжигаемого 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 месторождения от ГПЗ.

## 2. Анализ причин сжигания ПНГ [4, 8]

Причины сжигания ПНГ в России определяются тем, что исторически развитие добывающей и перерабатывающей отраслей происходило порознь.

Можно выделить следующие причины сжигания ПНГ в России.

### 1) *Технические причины:*

- отсутствие необходимой производственной и технологической инфраструктуры;
- несовершенство методики и техники измерения, учета и оценки ресурсов ПНГ;
- системы сбора и утилизации ПНГ ориентированы на централизованные схемы поставки.

### 2) *Экономические причины:*

- неадекватное налогообложение газовой отрасли в сопоставлении с условиями добычи «нового» природного газа и ПНГ (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 ПНГ по сравнению с природным газом.

### 3) *Организационно-институциональные причины:*

- отсутствие заинтересованности ряда нефтяных компаний в ведении бизнеса, связанного со сбором, утилизацией и использованием ПНГ;
- отсутствие гарантий доступа сухого отбензиненного газа (СОГ) к газотранспортной системе (ГТС);
- неэффективность существующей в России системы государственного контроля и мониторинга за ходом выполнения лицензионных соглашений (достижение определенных уровней утилизации ПНГ);
- конкуренция между различными государственными структурами.

Себестоимость ПНГ выше, чем у природного газа, так как

- а) дебиты нефтяных скважин по газу значительно меньше по сравнению с дебитами газовых скважин;

б) меньше давление ПНГ;

в) присутствуют значительные объемы жидких углеводородов, что требует повышенных энергетических и материальных затрат на сбор, переработку и компрессирование ПНГ для подачи потребителям в систему магистральных газопроводов;

г) необходимость сооружения более разветвленной системы газосборных промысловых трубопроводов.

Потери и угрозы для государства в связи со сжиганием ПНГ:

1) экономические: доход от нефтепродуктов и от нефтехимической продукции выше, чем от сырой нефти, в 1,5 раза и в 5-10 раз соответственно. ПНГ содержит наиболее высокую долю ценных сырьевых компонентов (этан, пропан, бутан, пентан) из всех газов, извлекаемых из недр;

2) экологические: загрязнение, основным источником которого является сжигание ПНГ. По Киотскому протоколу, это может вылиться в прямые финансовые потери.

### **3. Анализ позиций заинтересованных сторон по утилизации ПНГ [5, 9]**

#### *1) Государство*

На федеральном и региональном уровнях отсутствует понимание того, что для решения проблем утилизации, а точнее, эффективного использования ПНГ со стороны государства необходим комплексный подход, включающий

а) точное определение критериев эффективности использования ПНГ и места ресурсов ПНГ в системе газоснабжения страны;

б) разработку процедур принятия решений по выбору вариантов утилизации ПНГ (или разрешения на его сжигание) в зависимости от конкурентных экономических и иных условий;

в) применение механизмов лицензирования на право пользования недрами для реализации выбранных вариантов утилизации ПНГ и мониторинга данного процесса;

г) применение мер экономического стимулирования и принуждения;

д) сбалансированную ценовую политику;

е) создание недискриминационных условий для поставок ПНГ и продуктов его переработки на рынок.

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

## *2) Нефтяные компании*

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

Немалые надежды возлагаются на изменение порядка ценообразования на ПНГ и сжиженные газы. Однако рынок ПНГ является рынком монопольного покупателя в лице «СИБУРа», поэтому не очевидно, 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 останется проблема с доступом СОГ в ГТС «Газпрома».

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

- а) повышение цен на ПНГ до экономически обоснованного уровня;
- б) обеспечение беспрепятственного доступа продукции (в частности – СОГ) на рынок;
- в) применение мер стимулирования инвестиционных проектов по утилизации ПНГ.

Можно показать, что только в процессе выработки электроэнергии максимальные убытки утилизации выше, чем при сжигании. В остальных случаях предприятию выгодно утилизировать, а не сжигать нефтяной попутный газ.

Следует отметить, что с 2012 г. предполагается введение высокой платы за сжигание ПНГ.

#### 4. Модель платежей за объекты общего пользования (трубопроводы)

Таким образом, серьезная проблема утилизации ПНГ состоит в том, что на собственные нужды промысла используется только часть ПНГ, 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 составлять 1.3–1.5 млн. долларов за 1 км [4].

Будем моделировать задачу распределения затрат следующим образом. Пусть

$(N, M, C, T)$  – четырехместный кортеж, где  $N$  – множество участников (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, используемых каждым участником. При этом, естественно, считается, что множество секций, используемое каждым участником, связно, т.е.

$$\text{а) } \forall i \in N \text{ существуют } a_i, b_i \in M, a_i \leq b_i \text{ и } T(i) = \{t \in M \mid a_i \leq t \leq b_i\}$$

и

$$\text{б) } \bigcup_{i \in N} T(i) = M.$$

За основу модели можно взять игровые модели оценки платежей [12–14, 16].

**Пример.** Пусть четыре месторождения 1–4 будут проводить трубопровод к ГПЗ так, как это показано на рис. 1.

$$\begin{aligned} \text{Тогда} \quad & T(1) = \{t_2, t_3, t_6\} \\ & T(2) = \{t_1, t_2, t_3, t_6\} \\ & T(3) = \{t_5, t_6\} \\ & T(4) = \{t_3, t_4, t_6\} \end{aligned}$$

Напомним, что 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

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

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.

Мы 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  $S$ .

Ниже мы обсуждаем три возможные решения по распределению затрат в этой модели. Обозначим через  $\xi_i(N, M, C, T)$  — величину затрат, которые должен понести участник  $i$ .

Первое решение — это распределение стоимости строительства каждой секции трубопровода равным образом между всеми, кто пользуется этой секцией. Иначе говоря,

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

Можно показать, что решение  $\xi^{eq}$  совпадает с ценой Шепли для соответствующей кооперативной игры [15].

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

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

Можно показать, что решение  $\xi^{prop}$  является компромиссно приемлемым решением [16].

**Пример.** Пусть затраты на строительство секций трубопровода таковы, как это показано в табл. 1. Рассчитаем величины  $\xi_i^{eq}$  и  $\xi_i^{prop}$  для всех  $i$ .

Итак,

Таблица 1

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

$$\xi_1^{eq} = \frac{c(t_2)}{\text{card}(\{t_1, t_2\})} + \frac{c(t_3)}{\text{card}(\{1, 2, 4\})} + \frac{c(t_6)}{\text{card}(\{1, 2, 3, 4\})} = \frac{2}{2} + \frac{4}{3} + \frac{3}{4} = 3\frac{7}{12} = 3.58$$

$$\xi_2^{eq} = \frac{c(t_1)}{1} + \frac{c(t_2)}{2} + \frac{c(t_3)}{3} + \frac{c(t_6)}{4} = \frac{3}{1} + \frac{2}{2} + \frac{4}{3} + \frac{3}{4} = 5\frac{7}{12} = 5.58$$

$$\xi_3^{eq} = \frac{1}{1} + \frac{3}{4} = 1\frac{3}{4} = 1.75, \quad \xi_4^{eq} = \frac{4}{3} + \frac{2}{1} + \frac{3}{4} = 3\frac{7}{12} = 3.58.$$

Для расчета  $\xi_i^{prop}$  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,

$$\xi_1^{eq} = \frac{c(1)}{\sum_{j=1}^4 c(j)} c(N) = \frac{9}{34} 15 = 3.97; \quad \xi_2^{eq} = \frac{12}{34} 15 = 5.29;$$

$$\xi_3^{eq} = \frac{4}{34} 15 = 1.77; \quad \xi_4^{eq} = \frac{9}{34} 15 = 3.97.$$

Указанная схема распределения затрат может быть обобщена на случай, когда с разных месторождений поступает газ разного качества, например газ с более или 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  $\xi_{ij}^{prop}$  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  $j$ -ой 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.** Пусть стоимость  $j$ -ой 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  $\frac{0.3}{0.3+0.5} 4 = 1.5$ , а участник 2 – величину  $\frac{0.5}{0.3+0.5} 4 = 2.5$ .

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. 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:

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

а всего участник  $i$  должен будет выплатить величину

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

Для координации целей по утилизации ПНГ в конкретных регионах предлагается создать ОАО «Утилизация ПНГ – регион», в котором часть акций должна принадлежать государству/региону. В большей степени это касается тех регионов, где объекты общего пользования, такие как ГПЗ или газопровод, будут загружены не сразу, а по мере освоения месторождений. Соответственно, финансирование таких проектов должно поддерживаться государством и прибыль должна исчисляться пропорционально вложениям.

Кроме того, имеет смысл размещать акции на бирже с целью привлечения средств граждан под гарантию государства.

Рассмотрим пример, приведенный в табл. 2. В левом столбце этой таблицы показаны значения стоимости секций  $t_1 - t_6$ . В таблице приведены значения коэффициентов использования соответствующих секций участниками 1–4. В последнем столбце табл. 2 даны значения коэффициентов использования для ОАО.

Таблица 2

Стоимость	Секция/участники	1	2	3	4	ОАО
3	t <sub>1</sub>	0	0	0	0	0.2
			.8			
2	t <sub>2</sub>	0	0	0	0	0.5
		.4	.1			
4	t <sub>3</sub>	0	0	0	0	0.3
		.4	.1		.2	
2	t <sub>4</sub>	0	0	0	0	0.1
					.9	
1	t <sub>5</sub>	0	0	0	0	0.1
				.9		
3	t <sub>6</sub>	0	0	0	0	0.1
		.3	.3	.2	.1	

В табл. 3 приведены значения дележа стоимости секций между участниками. Так, по первой секции, стоимость которой равна 3, участник 1 оплачивает 2.4, а ОАО – 0.6.

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

Таблица 3

Секции\участники	1	2	3	4	ОАО
t <sub>1</sub>	0	2.4	0	0	0.6
t <sub>2</sub>	0.8	0.2	0	0	1
t <sub>3</sub>	1.6	0.4	0	0.8	1.2
t <sub>4</sub>	0	0	0	1.8	0.2
t <sub>5</sub>	0	0	0	0.9	0.1
t <sub>6</sub>	0.9	0.9	0.6	0.3	0.3
ИТОГО	3.3	3.9	0.6	3.8	3.4

## 5. Модель двухступенчатого принятия решений в задаче по утилизации ПНГ

Предлагается следующая модель.

1. Решение оптимальной задачи о распределении ресурсов при реализации различных способов утилизации ПНГ для отдельных компаний.
2. Решение задачи о распределении платежей при строительстве объектов общего пользования для переработки ПНГ, например трубопроводов.
3. Перерасчет параметров.

Сама схема принятия решений приведена на Рис. 2.

Аналогичная модель двухступенчатого принятия решений исследовалась в [7]. Расширение такого рода моделей может учитывать и ограничения на экологическую нагрузку территорий, и тогда модифицировать платежи можно согласно схемам, предложенным в [3].

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

Структура модели многокритериального выбора представлена на рис. 3.

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

## **6. Многокритериальная модель**

Указанные выше варианты утилизации ПНГ от группы скважин предлагается оценивать по следующим критериям.

1. Экологическая эффективность – остаточное количество сжигаемого газа после проведения трубопровода.
2. Стоимость.
3. Степень нарушения природного баланса при прокладке трубопровода, которая оценивается по степени воздействия на природную среду – почвенно-растительный покров и водный бассейн. Если трубопровод прокладывается вдоль существующих трубопроводных систем, то в соответствующих местах степень воздействия принимается равной 0. Измеряется в кв. км. территории, которая подвергается воздействию.

Все критерии 1) – 3) очевидно минимизируются.

В качестве модели выбора предлагается использовать пороговую модель агрегирования, разработанную в Институте проблем управления РАН.

Для её использования 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 показателя 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 её неполноты.

При переходе к ранговой модели будем предполагать, что большие ранговые оценки соответствуют меньшему значению показателя.

Это связано с тем, что, согласно существующей практике, критерии обычно максимизируются.

#### *6.1. Пороговая модель агрегирования (случай трехградационных ранжировок).*

Пусть  $v_1(x)$  — число участников, для которых альтернатива  $x$  является наихудшей в их предпочтениях, т.е. имеет ранг 1,  $v_2(x)$  — число участников, для которых альтернатива  $x$  является второй наихудшей, т.е. имеет ранг 2. Затем альтернативы упорядочиваются лексикографически. Говорят, что альтернатива  $x$   $V$ - 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 являются альтернативы, недоминируемые по  $V$ .

Иная модель агрегирования, которая может использоваться в поставленной задаче, приведена в [1].

### **7. Имитация и сценарный анализ в задаче прокладки трубопровода**

В качестве модели для решения задачи была выбрана модель дерева (графа без циклов), т.к. гарантировалось, что существует только единственный путь от источника добычи до конечной точки.

В модели каждая скважина, каждая промежуточная точка и конечный пункт назначения представлялись в виде вершины графа. В роли ребер выступают трубы. Так как насосные станции при решении задачи нахождения стоимости пути существенно не отличаются от труб, то каждая насосная станция была заменена на трубу эквивалентной стоимости.

Так как количество пунктов переработки на скважине можно подсчитать и заменить на одно число – возможность переработки на месте, то в данной программе устройства переработки заменены на характеристику «переработка на месте» для каждой скважины. Таким образом, можно вычислить объем ПНГ, который будет транспортироваться от этой скважины, как разность добычи и переработки на месте.

В результате первоначальной задачей становится задача нахождения пути от каждой скважины до пункта назначения. В силу того что существует единственный путь, отпадает потребность в оптимизации стоимости трубопровода (вариант прокладки трубопровода единствен по условию задачи). Таким образом, искомый путь от каждой скважины до пункта назначения единствен. Поэтому можно использовать любой способ нахождения пути в графе от одной вершины к другой.

В решении данной задачи использовался обход графа (поиск) в ширину. С его помощью находился путь от каждой вершины-скважины к вершине-стоку.

В результате запуска процедуры обхода в ширину для каждой вершины графа был найден маршрут от каждой скважины до вершины-стока. После этого для каждого участка трубы было подсчитано суммарное количество проходящих через нее 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 трубы.

Для расчета распределения инвестиций был введен еще один участник – федеральный центр и/или регион в виде ОАО, о котором предполагается, что он возьмет на себя финансирование разницы между стоимостью проекта и затратами участников (см. Отчет 2009 г.). Механизм подсчета заключался в суммировании 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), умноженной на стоимость участка трубы, которая приходится на владельцев скважин (общая стоимость участка трубы минус стоимость, которая платится ОАО).

## **8. Тестирование модели**

### *Описание решения*

Случайным образом генерировался граф-дерево. Было задано 1000 листьев. Глубина каждого листа (количество 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 выводились (подключались) ветви, считалась построенной, расходы на нее не учитывались.

Было выбрано 5 компаний – владельцев скважин. Емкость каждой скважины – целое случайное число от 1 до 10. Стоимость одной ветви распределялась между собственниками источников пропорционально прокачиваемому количеству вещества.

### *Алгоритм генерации графа*

Нам требуется случайно сгенерировать дерево на 1000 вершин. Мы знаем, что в дереве должна быть так называемая «главная магистраль». Если мы удалим ее из графа, то он распадется на несколько компонент связности. При решении мы учитывали, что эта магистраль уже построена. Таким образом, нам требуется лишь сгенерировать некоторое количество компонент связности (которые, очевидно, являются корневыми деревьями) так, чтобы суммарное количество листьев на всех этих поддеревьях было равно 1000.

Наша генерация строилась из предположения, что таких поддеревьев (малых корневых деревьев) ровно 200. Тогда нам остается распределить 1000 скважин по этим кусочкам. Для каждой скважины генерировался ее ресурс (сколько из нее можно качать, от 1 до 10), владелец (1 из 5), глубина (количество ветвей до магистрали) и принадлежность к 1 из 200 компонент связности.

### *Алгоритм решения задачи*

После генерации 1000 скважин, каждая из которых принадлежала одному из поддеревьев, начиналась обработка каждого из поддеревьев. На основе глубин каждой скважины этого поддерева восстанавливалась структура этого корневого дерева. Для него рассчитывались стоимости прокачки для каждой из скважин на основе долевого (по прокачиваемому объему) вклада. Стоимость каждой ветви – сгенерированное случайное число от 0.7 до 1.2. Для каждой ветви просматривалось, из скольких скважин будет проводиться прокачка через эту ветвь. Доля затрат владельца скважины равна

$$\frac{\text{ёмкость источника}}{\text{общее количество качаемого через трубу вещества}} * \text{стоимость трубы}$$

Для определения того, из каких источников по каким трубам будет прокачиваться ПНГ, использовался поиск в ширину. Поиск в ширину по графу запускался по очереди из каждого источника. В результате строился путь прокачки. Далее отмечались ребра графа (ветви), через которые этот путь (из очередного источника) проходит. После работы такого алгоритма для каждого источника получаем для каждой ветви список источников, которые будут использовать для прокачки данную ветвь. Далее производился расчет долей вложений для владельца каждой скважины, исходя из вышеприведенной формулы.

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

### *Результаты*

Результат работы программы: количество скважин: 1000, количество ветвей: 1704, общая стоимость: **1612,19**

У кого сколько скважин (владельцы пронумерованы числами от 1 до 5):

Номер владельца	Количество скважин
1	173
2	203
3	193
4	235
5	196

Распределение вложений от каждой компании при доле государства 5%

Вкладчик	Сумма инвестиций
1	245,6
2	304,9
3	298,6
4	374,7
5	307,7
Государство	80,6

Распределение вложений от каждой компании при доле государства 10%

Вкладчик	Сумма инвестиций
1	232,7
2	288,8
3	282,9
4	355,0
5	291,5
Государство	161,2

Распределение вложений от каждой компании при доле государства 15%

Вкладчик	Сумма инвестиций
1	219,8
2	272,8
3	267,2
4	335,3
5	275,3
Государство	241,8

## 9. Заключение

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

В настоящее время построен программный комплекс, использующий линейный алгоритм с алгоритмической сложностью  $O(N)$ , где N – количество скважин. На 1000 скважинах работает мгновенно, на 10 тыс. скважин работает 4 секунды.

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

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Алескеров Ф.Т., Субочев А.Н.* Об устойчивых решениях в ординальной задаче группового выбора// ДАН. 2009. Т. 426, №3. С. 318-320.
2. *Алескеров Ф.Т., Юзбашев Д.А., Якуба В.И.* Пороговое агрегирование трехградационных ранжировок// Автоматика и телемеханика. 2007. №1. С. 147-152.
3. *Алескеров Ф.Т., Якуба В.И.* Метод порогового агрегирования трехградационных ранжировок// ДАН. 2007. Т. 413, №2. С. 181-183.
4. *Андреева Н.Н.* Пути повышения уровня использования попутного нефтяного газа. Доклад на заседании ЦКР.
5. *Бочаров В.В.* Инвестиционный менеджмент. СПб: Питер, 2000. 160 с.
6. *Васильев С.Н.* Гармонизация интересов сторон при платежах предприятий за загрязнение// Моделирование и управление процессами регионального развития/ Под ред. С.Н. Васильева. М., 2001. 432 с.
7. *Книжников А.Ю., Пусенкова Н.Н.* Проблемы и перспективы использования попутного нефтяного газа в России// Институт мировой экономики и международных отношений РАН. Вып. 1 (рабочие материалы: ежегод. обзор проблемы в рамках проекта «Экология и энергетика. Международный контекст» ИМЭМО РАН и Фонда дикой природы России).
8. *Крюков В.А., Силкин В.Ю., Токарев А.Н., Шмат В.В.* Как потушить факелы на российских нефтепромыслах: институциональный анализ условий комплексного использования углеводородов (на примере попутного нефтяного газа). Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2008. 340 с.
9. Налоговый кодекс РФ.
10. *Aleskerov F., Chistyakov V., Kaliyagin V.* The threshold aggregation// Econ. Lett. 2010. Vol. 107. P. 261-262.
11. *Aleskerov F., Cinar Y.* (2007) 'q-Pareto- scalar' Two-stage Exstremization Model and its Reducibility to One-stage Model, Theory and Decision, 291-304.
12. *Moulin H.* (2002). 'Axiomatic Cost and Surplus – Sharing', Handbook of Social Choice and Welfare, Arrow, Sen and Suzumura (eds.), North-Holland.
13. *Moulin H., Sprumont Y.* (2005). 'On demand responsiveness in additive cost sharing', Journal of Economic Theory 125, 7-36.

14. *Moulin H., Sprumont Y. (2007). 'Fair allocation of production externalities: Recent results', Revue d'economie politique 117, 7-36.*
15. *Shapley L.S. (1953). 'A value for n-person games', in Contributions to Theory of Games II (Annals of Mathematics Studies, 28) ed. by H.W. Kuhn and A.W. Tucker. Princeton University Press 307-317.*
16. *Tijs S. (1981). 'Bounds for the core and the  $\tau$ -value', in: Moeshin O, Pallashe B (eds.), Game Theory and Mathematical Economics. North Holland Publishing Company: Amsterdam, 123-132.*
17. [ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org)
18. [www.garant.ru](http://www.garant.ru)

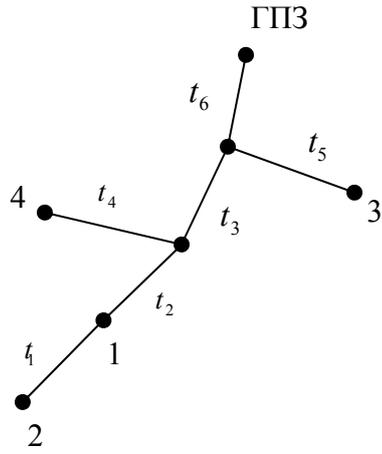


Рис. 1.

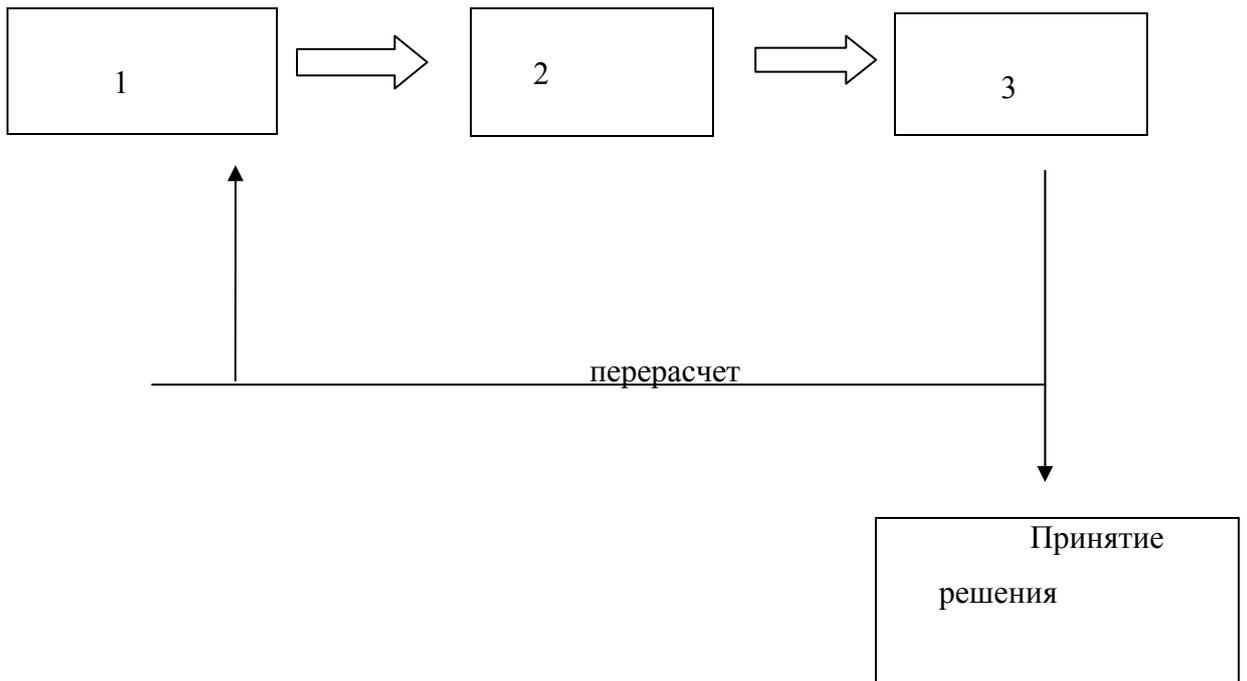


Рис. 2. Двухступенчатая модель принятия решений

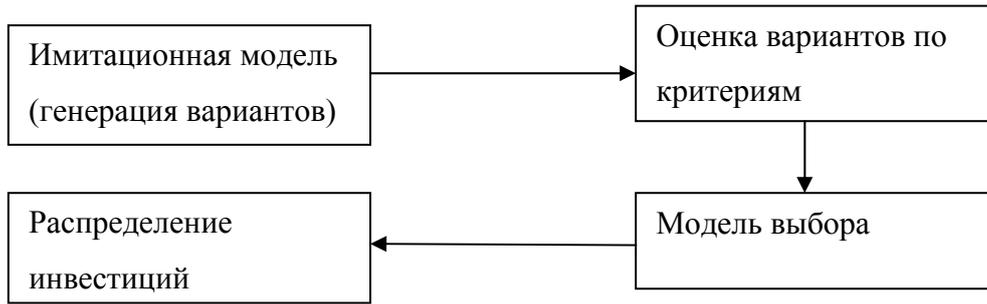


Рис. 3