

## Об эффективности инвестиционных проектов извлечения, реализации и хранения гелиевого ресурса на Чаяндинском нефтегазоконденсатном месторождении

Александр Ларионов<sup>1\*</sup>, Никита Павлов<sup>1</sup>, Кюннэй Попова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, Якутск, Россия

<sup>2</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия

### Информация о статье

Поступила в редакцию:

11.04.2017

Принята

к опубликованию:

13.07.2017

УДК 330.322.14:

553.981.2(571.56-13)

JEL O 25

### Ключевые слова:

гелий, Восточная газовая программа, подземное хранилище, экспорт газа, мембранная технология, газопереработка, «Сила Сибири».

### Keywords:

Helium, Eastern gas program, underground storage, gas export, membrane technology, gas processing, "Siberia Power".

### Аннотация

В связи с расширением промышленного освоения уникальных по содержанию гелия газовых месторождений Восточной Сибири показана проблема эффективного использования и сохранения гелия как ресурса, имеющего стратегическое значение. Проведен сравнительный анализ возможных вариантов извлечения, реализации и сохранения гелиевого ресурса. Предложена экономико-математическая модель, которая позволяет оценивать эффективность инвестиционных проектов с учетом неопределенности влияющих факторов.

### Investment projects valuation for the extraction, sale and conservation of helium resources at the Chayandinskoye oil and gas condensate field of the Sakha Republic

Aleksandr Larionov, Nikita Pavlov, Kunay Popova

### Abstract

The construction of the main gas pipeline "Siberia's Power" in the short term gives rise to the industrial development of unique helium gas deposits in Eastern Siberia. The problem of the effective use and conservation of helium as the strategic importance resource, requires a prompt decision. The article describes three possible schemes for separation of helium from natural gas, storage and transportation helium extracted from East Siberian fields.

The first scheme was proposed and started to be realized by Gazprom. It is based on the idea of re-injection of the unclaimed share of helium back into the field using membrane technology. This scheme has a minimizing capital expenditures and operating costs, but at the same time, the re-injection of helium concentrate has some high losses than the specially storage with slow response on the conjuncture. There are also high risks of helium technological losses in the medium and long term.

\* Автор для связи: E-mail: sasha.larionov@gmail.com

DOI: dx.doi.org/10.24866/2311-2271/2017-3/124-136

*The second scheme assumes the storage of helium concentrate in used reservoir of the gas field. This scheme has minimal technological risks, but full-scale geological exploration is required to find a suitable field. The issue of development of the deposit still remains open.*

*The third scheme is based on the formation of the operational storage of helium concentrate using salt caverns. Based on the unique experience gained during the construction and operation of the underground helium storage facility near the city of Orenburg, it is possible to implement this scheme. But at the same time, it is worth taking into account the large investment for this project realization.*

*In general, each scheme has the different levels of expected capital expenditures and operating costs, technological and operational risk. In this regard, it was comparative analyzed of possible version and it was proposed an economic-mathematical model that allows to evaluate the effect of options taking into account the uncertainty of the influencing factors.*

С 70-х годов прошлого столетия центром газодобычи является Западная Сибирь. Но с расширением освоения месторождений в Восточной Сибири и строительством газотранспортных систем, поставляющих газ в страны АТР, начинается принципиально новый виток развития газовой промышленности России. Восточная газовая программа – это не только освоение новых нефтегазоносных провинций и диверсификация экспортных поставок газа, но, в первую очередь, это формирование газоперерабатывающих и газохимических кластеров, которые, базируясь на сырьевой базе газовых месторождений Восточной Сибири с высоким содержанием гомологов метана и гелия, призваны поднять газовую промышленность страны на инновационный уровень развития [1].

В настоящее время Газпром ведет работу по освоению ряда месторождений на территории Республики Саха (Якутия) и в Иркутской области, осуществляет строительство экспортно-ориентированного магистрального газопровода «Сила Сибири» и газоперерабатывающего завода в Амурской области. ПАО «Сибур Холдинг» рассматривает возможность строительства газохимического комплекса, технологически связанного с амурским заводом Газпрома.

Комплексное освоение месторождений востока России невозможно без решения проблем длительного хранения гелия [2]. Рассматриваются три основных способа создания базовых хранилищ гелиевого концентрата: а) в соляных кавернах, б) в малых истощенных газовых месторождениях, в) посредством возврата гелиевого концентрата в один из блоков (участков, пластов) разрабатываемого месторождения.

Гелиевая программа, реализуемая ПАО «Газпром», представленная в данной работе как вариант 1, предусматривает мембранное выделение гелиевого «концентрата», а также создание подземного хранилища гелия путем возврата его в газовые залежи месторождения на площадке Чаяндинского месторождения (далее на площадках Ковыктинского и Тас-Юряхского месторождений). На этапе эксплуатации мембранная установка в составе природного газа оставит столько гелия, сколько его потребуется для дальнейшего криогенного извлечения на газоперерабатывающем заводе (ГПЗ) в г. Свободный Амурской области. Остальной гелий будет вновь закачиваться в пласт. Жидкий гелий из ГПЗ будет доставляться на побережье Тихого океана в специальных криогенных контейнерах. Размещение завода по выделению гелия в Свободном заметно сократит время доставки жидкого гелия автомобильным транспортом до портов (рис. 1).

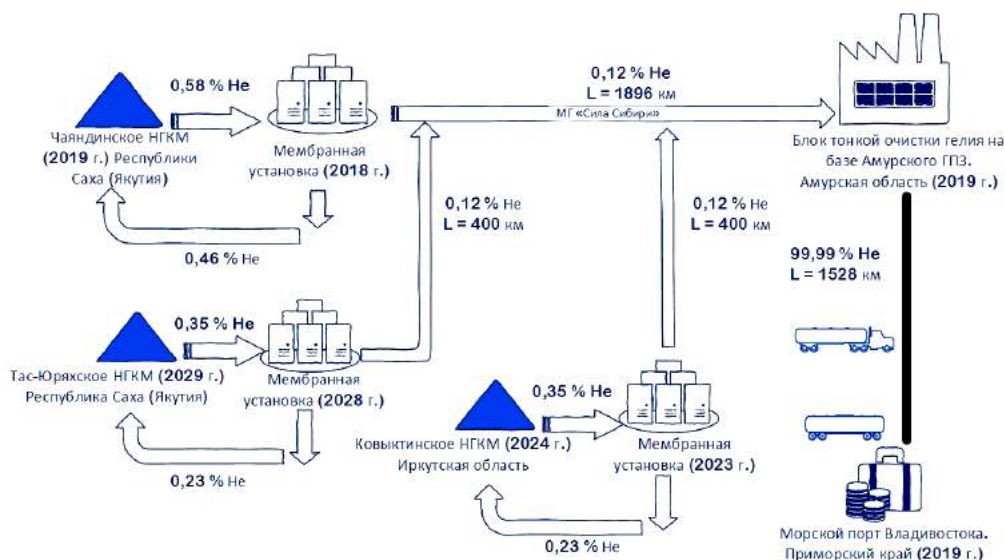


Рис. 1. Схема сохранения гелиевого ресурса путем обратной закачки природного газа, обогащенного гелием, в разрабатываемый блок (участки, пласты) месторождения с использованием мембранной установки

В то же время данный подход имеет ряд проблем. Обратная закачка в основное разрабатываемое месторождение сопровождается высокими потерями по сравнению с хранением гелия в специально разработанных хранилищах, что связано с негерметичностью фонда скважин на месторождении из-за высокой проникающей способности гелия. Опыт США по созданию гелиохранилища в Клиффсайде показал, что реализация этого проекта имеет существенные недостатки. При планировании и разработке хранилищ следует учитывать, что режимы работы скважин и их размещение оказывают значительное влияние на способность пласта обеспечить необходимые дебиты и концентрации гелия. К примеру, были предприняты попытки вести добычу только на двух скважинах северной части. Но оказалось, что эти скважины были связаны с остальными скважинами и происходило быстрое заполнение метаном, а значит снижение количества (потеря) гелия [3]. Следовательно, необходимо учитывать взаимодействие скважин и влияние прискваженной зоны, а также растекание гелиевого концентрата по пласту и подтягивание его к забоям добывающих газовых скважин. В подобных условиях требуется вести тщательный мониторинг состава добываемого газа и создать сеть контрольных и наблюдательных скважин. Таким образом, рассматриваемый механизм многолетней закачки ПГОГ в слабо дренируемые области разрабатываемых газовых залежей через нагнетательные скважины и его хранения – не столь оперативен и может сопровождаться большими потерями. С учетом этих недостатков предполагается, что пласты-коллекторы, расположенные непосредственно на разрабатываемых месторождениях, могут служить лишь временным хранилищем попутного газа.

Увеличение запасов гелия путем создания единого централизованного подземного хранилища гелиевого концентрата (ПХГК) является приоритетным направлением развития гелиевой промышленности. Строительство подземных хранилищ гелия принесет весомые выгоды не только поставщикам, но и потребителям гелия, позволяя им надежно балансировать резкие скачки спроса на гелий.

Ограниченность и невозполнимость ресурсов гелия в мировом масштабе и высокая товарная значимость гелия на мировом рынке, связанная с его незаменимостью во многих инновационных отраслях, определяют целесообразность продолжения работ по организации хранения гелиевого концентрата с целью минимизировать потери гелия и рационально использовать не востребованные рынком его запасы.

Предлагаются два варианта сохранения гелиевого ресурса в Восточной Сибири путем создания отдельного подземного хранилища. В эти проекты заложено стремление оптимизировать не только геологическую и финансовую составляющие проекта, но и логистическую часть, что чрезвычайно важно для создания интегрированной, надежной и гибкой цепочки поставок российского гелия потребителям АТР. Конкурентоспособность восточносибирского гелия на мировом рынке определяется как его ресурсами, масштабами перспективной добычи, так и наличием рыночной ниши и логистической составляющей. Если Россия в условиях снижающегося уровня добычи гелия в США сможет прочно войти на мировой рынок гелия, она получит доступ к более гибкому, конкурентному рынку перспективного, имеющего инновационную направленность сырья. А это позволит обеспечить увеличение валютных поступлений в отечественную экономику [4]. С этой целью необходимо на ранних стадиях разработки организовать мероприятия по качественному извлечению и сохранению гелиевого ресурса России [5].

Рынок сбыта товарного гелия пока еще ограничен. Единственный путь его расширения – извлекать не только товарный гелий, но и гелиевый концентрат для хранения. Основная технология хранения гелия это закачка в пласты гелиевого концентрата. Хранилища могут быть природные и искусственные. В соляных пластах можно накапливать оперативные запасы гелия. Стратегический резерв лучше накапливать в природных хранилищах.

По второму варианту сохранение гелиевого ресурса посредством хранения гелиевого концентрата в изолированных залежах истощенных месторождений газового месторождения в районе г. Ленск (например, долговременное хранилище природного газа, обогащенного гелием (ПГОГ), на базе газовых залежей средних по запасам газа залежей Отрадинского месторождения) (рис 2).

#### Преимущества

- неограниченный срок хранения гелиевого концентрата;
- возможность повысить герметичность объекта путем использования специальных герметичных скважин;
- низкая потеря концентрата гелия при закачке гелиевого концентрата в продуктивные пласты, содержащие остаточный газ по сравнению с возвратом гелия в основное разрабатываемое месторождение;
- возможность использования подземных резервуаров после полного отбора гелия под хранение других продуктов или депонирования промышленных отходов.

#### Недостатки

- высокие требования к герметичности скважин на хранилище;
- требования к герметичности покрышки по гелию. Для предотвращения нарушения целостности покрышки необходимо вести контроль значения пластового давления и контролировать ее превышение над начальным;
- отсутствие специальных исследовательских работ по изучению фильтрационных и диффузионных процессов, происходящих в пласте.

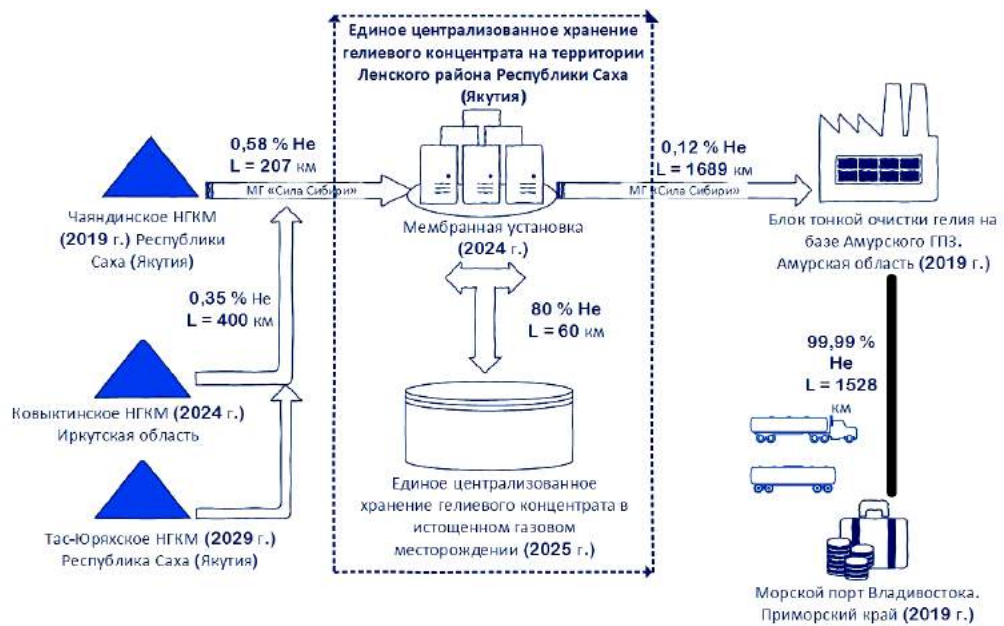


Рис. 2. Схема организации единого централизованного хранилища гелиевого концентрата в истощенном газовом месторождении

Примером третьего варианта является оперативное хранилище гелиевого концентрата с использованием соляных каверн в зоне распространения Восточно-Сибирского соленосного бассейна на участке Чайндинского солевого отложения. В целях длительного резервирования созданы уникальные отечественные технологии подземного хранения гелиевого концентрата. Подземные резервуары в соляных отложениях разрабатывались методом подземного растворения каменной соли через буровые скважины. Для хранилищ, созданных в отложениях каменной соли, эксплуатационная скважина первоначально оборудуется для строительства выработки-емкости, а после – для эксплуатации подземного резервуара (рис.3).

Россия единственная в мире обладает уникальным опытом длительного хранения гелиевого концентрата в специально сооружаемых подземных резервуарах в формациях каменной соли. Принципиальная возможность хранения гелиевого концентрата в соляных кавернах подтверждена опытом строительства и эксплуатации подземного гелиехранилища возле г. Оренбург [6].

#### Преимущества

- высокая герметичность подземных резервуаров;
- сохранение товарных кондиций гелия во время всего срока хранения, отсутствие повторной очистки перед отправкой потребителю;
- поочередный ввод в эксплуатацию подземных резервуаров при нарастании объема добытого гелия;
- многолетние исследования подтвердили сохранность качества продукта при его контакте с каменной

#### Недостатки

- высокая капиталоемкость;
- длительность создания;
- малые толщины соляного пласта и его неоднородность. Это может привести к значительным потерям гелия при его длительном хранении;
- хранилища в соляных кавернах при необходимости способны обеспечить высокую суточную производительность при небольших объемах хранимого газа. Напротив, для хранилища гелиевого концентрата подойдет

солью и рассолом, оставшимся после первоначального заполнения;

- возможность использования подземных резервуаров после полного отбора гелия под хранение других продуктов или депонирования промышленных отходов.

объекты с низкой суточной производительностью скважин.

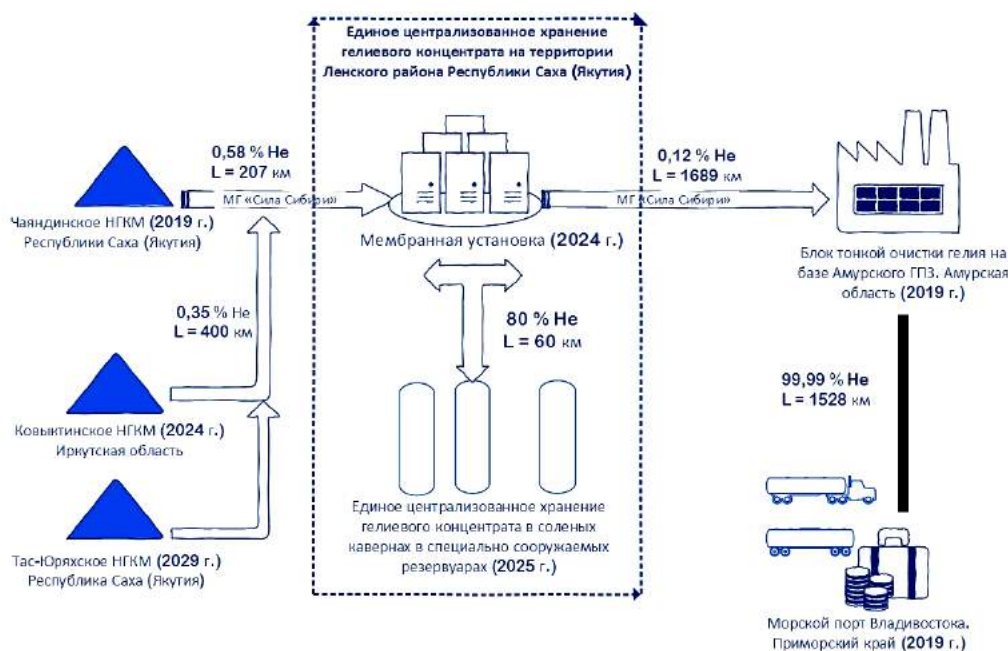


Рис. 3. Схема организации единого централизованного хранилища гелиевого концентрата в соляных кавернах

Представленные проекты сохранения гелиевого ресурса характеризуются высочайшей технологической, организационно-экономической и институциональной сложностью, а их реализация находится под влиянием большого числа противоречивых и трудно прогнозируемых факторов. Конечной целью технологий является создание в пласте некоторого подземного высоко герметичного пространства, где будет храниться гелий.

### Разработка и описание экономико-математической модели

Анализ экономической эффективности представленных проектов, демонстрирующих технологию получения гелиевого концентрата, дальнейшей ее транспортировкой до Амурской ГПЗ с целью получения товарного гелия и вывоз ее с промысла до Владивостока, например, автотранспортом, и продажа на открытом рынке, прежде всего на АТР, в соответствии с представленными схемами основывается на получении товарного гелия.

Большое количество как внутренних, так и внешних факторов, влияющих на выбор оптимального проекта, обусловило необходимость разработки экономико-математической модели (рис. 4).

На первом этапе алгоритма производится ввод исходных данных, полученных в результате анализа мирового рынка гелия, объема транспортируемого газа, технологий извлечения и сохранения гелия.

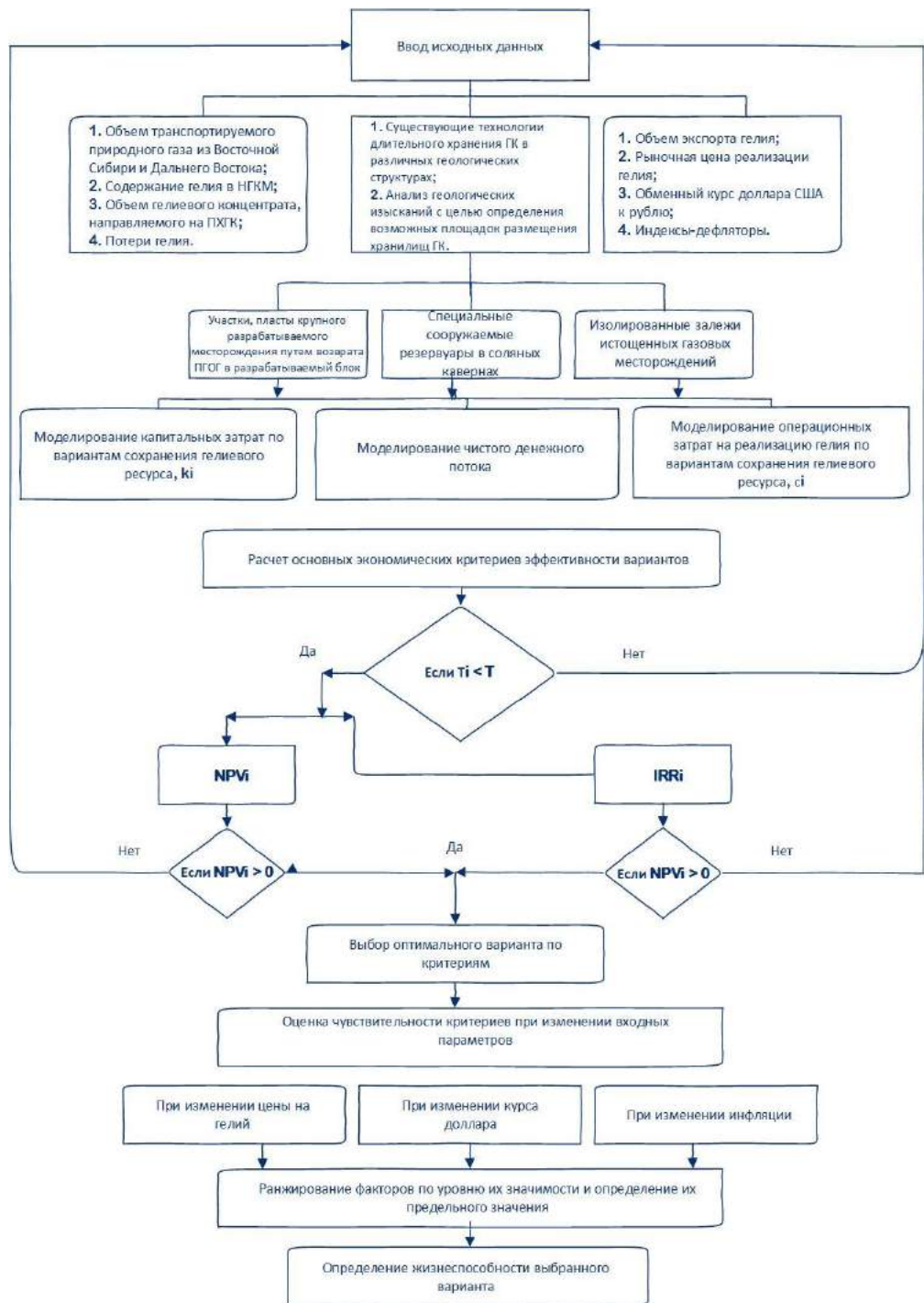


Рис. 4. Алгоритм экономической оценки эффективности инвестиционных проектов извлечения, реализации и сохранения гелиевого ресурса

На втором этапе на основе определения внутренних и внешних факторов рынка гелия определяются возможные варианты извлечения, реализации и сохранения гелия. Далее рассчитываются капитальные затраты по каждому вариантам и ожидаемые затраты на реализацию гелия.

Третий этап алгоритма основывается на том, что одним из важных экономических показателей освоения месторождений полезных ископаемых является денежный поток, характеризующий реализацию проекта, строительство комплекса по извлечению, реализации и сохранению гелиевого ресурса и экономический эффект от его деятельности. Основными экономическими критериями оценки эффективности проектов в данной работе рассматриваются:

– срок окупаемости капитальных вложений с учетом дисконтирования (СОД);

– чистый дисконтированный доход (ЧДД);

– индекс доходности (ИД).

Применительно к оценке эффективности и сопоставимости проектов построение экономико-математической модели продуктивно для решения задачи предварительной (приближенной) оценки эффективности проектов по сохранению гелия на основе сопоставления трех вариантов («обратная закачка ПГОГ в разрабатываемое месторождение», «закачка ПГОГ в истощенное газовое месторождение», «закачка ПГОГ в искусственно созданное хранилище»).

Экономическая оценка мероприятий по созданию специального гелиехранилища базируется на анализе показателей денежного потока (капитальные вложения и прирост прибыли). Эффективность создания гелиехранилища должна оцениваться по следующим параметрам:

– уменьшение потери гелия;

– повышение системной надежности хранения гелия;

– стратегическое планирование создания государственного резерва;

– эффект от увеличения прибыли в долгосрочной перспективе.

Геолого-экономическая оценка денежного потока основывается на следующих параметрах:

– определение экономического эффекта от реализации проекта извлечения гелия и соизмерения затрат и прибыли;

– анализ экономических показателей комплекса мероприятий по сохранению гелия и разработке месторождения;

– определение народно-хозяйственного эффекта от вовлечения месторождения в промышленное освоение;

– ранжирование проектов извлечения, реализации и сохранения гелия по экономическому эффекту и совокупности выявленных показателей.

При расчете экономической эффективности инвестиционных проектов количественный учет рисков и неопределенности производится по данным стандартного анализа чувствительности к основным параметрам, отклонение которых оказывает наибольшее влияние на показатели экономической эффективности проекта.

На последнем этапе работы делается оценка жизнеспособности выбранного проекта, который в течение всего жизненного цикла будет ИМЕТЬ стабильный спрос, достаточный для назначения цены, которая обеспечивала бы покрытие расходов на эксплуатацию и обслуживание объектов проекта и удовлетворительную окупаемость капиталовложений.

### **Результаты расчетов.**

#### **Оценка эффективности вариантов**

В целях определения целесообразности конкретного мероприятия необходима качественная информация, характеризующая полезный эффект, кото-



рый будут иметь совокупные затраты за жизненный цикл сравниваемых вариантов проекта [7].

Модель оценки вариантов добычи, реализации и сохранения гелиевого ресурса учитывает все затраты на создание и эксплуатацию схемы подземного хранения гелиевого ресурса: единовременные (капитальные вложения), ежегодные (эксплуатационные расходы) и налоги (см. таблицу).

*Экономическая оценка эффективности предлагаемых вариантов добычи, реализации и сохранения гелиевого ресурса*

Показатели	1-й вариант	2-й вариант	3-й вариант
Период эксплуатации месторождений, лет	15	15	15
Баланс газа			
Объем добычи гелия, содержащего газ, млрд м <sup>3</sup>			
Объем добычи газа с Чаяндинского НГКМ	258,00	258,00	258,00
Содержание гелия в "Чаяндинском газе", %	0,58	0,58	0,58
Объем добычи газа с других НГКМ, млрд м <sup>3</sup>	108,00	108,00	108,00
Содержание гелия в "других НГКМ", %	0,35	0,35	0,35
Объем гелия, добываемого в Восточной Сибири, млн м <sup>3</sup>	1874,40	1874,40	1874,40
Потери гелия (технические, транспортные), %	4,00	2,00	2,00
Объем поставки на экспорт, млн м <sup>3</sup>	913,34	913,34	913,34
Объем внутреннего потребления, млн м <sup>3</sup>	97,12	97,12	97,12
Общий объем реализации, млн м <sup>3</sup>	1010,46	1010,46	1010,46
Объем гелия, не востребованный рынком, млн м <sup>3</sup>	862,46	862,46	862,46
Объем гелия в ПХГ, млн м <sup>3</sup>	0,00	4303,14	4303,14
Объем реализованного из Восточной Сибири гелия, млн м <sup>3</sup>	936,96	936,96	936,96
Макроэкономические параметры			
Обменный курс доллара США к рублю, руб./\$	66,00	66,00	66,00
Цена реализации (неочищенного гелия марки А), \$/м <sup>3</sup>	3,75	3,75	3,75
Выручка от реализации продукции			
Выручка от реализации продукции, млрд руб.	231,90	231,90	231,90
Капитальные затраты			
Инвестиции на месторождениях (гелий), млрд руб.	8,70	2,89	2,89
Подземное хранилище гелия, млрд руб.	0,00	12,60	19,88
Инвестиции в блок тонкой очистки гелия Амурского ГПЗ, млрд руб.	110,00	110,00	110,00
Инвестиции в транспорт для перевозки очищенного гелия по маршруту "Амурский ГПЗ - Владивосток", млрд руб.	18,00	18,00	18,00
Инвестиции в гелиевый хаб во Владивостоке, млрд руб.	50,00	50,00	50,00
Общие капитальные вложения, млрд руб.	186,71	193,53	200,81

Окончание таблицы

Операционные затраты			
Операционные затраты на месторождениях, млн руб.	1088,12	505,70	505,70
Затраты на транспортировку по МГ "Сила Сибири". Затраты по маршруту "месторождение - Амурский ГПЗ", млн руб.	551,96	162,87	162,87
Операционные Амурского ГПЗ, млн руб.	1977,23	1977,23	1977,23
Операционные затраты на перевозку гелия по маршруту "Амурский ГПЗ - Владивосток", млн руб.	521,89	521,89	521,89
Операционные затраты гелиевого хаба во Владивостоке, млн руб.	1245,49	1245,49	1245,49
Операционные затраты на единую мембранную установку в районе Ленска, млн руб.	0,00	282,44	282,44
Затраты по маршруту "месторождение - МУ", млн руб.	0,00	21,60	21,60
Затраты по маршруту "МУ-Амурский ГПЗ", млн руб.	0,00	340,94	340,94
Операционные затраты ПХГ, млн руб.	0,00	343,33	343,33
Прочие затраты, млн руб.	486,28	540,15	540,15
Общие затраты по итогам раздел 5, млн руб.	5870,96	5941,64	5941,64
Налоги и сборы			
Страховые взносы (30,2 %), млн руб.	665,37	665,37	665,37
Налог на имущество (2,2 %), млн руб.	3477,96	3600,10	4255,81
Налог на прибыль (20 %), млн руб.	42346,11	42217,75	42205,61
Амортизация млн руб.	16242,01	16822,86	16865,74
Показатели экономической эффективности			
Ставка дисконтирования, %	12,50	12,50	12,50
NPV, млн руб.	-68757,33	-72159,11	-71478,59
IRR, %	4,51	4,18	3,67
Срок окупаемости, лет	15,27	15,54	15,91
Дисконтированный срок окупаемости, лет	-	-	-
PI	0,66	0,65	0,69

Первый вариант – с обратной закачкой в крупное разрабатываемое месторождение – можно рассматривать как временное хранение ПГОГ, поскольку этот способ позволяет незамедлительно приступить к разработке месторождения без существенных затрат. Серьезным недостатком такого хранилища являются возможные потери, которые связаны с негерметичностью фонда скважин на месторождении, необходимостью многократно закачивать и извлекать гелийсодержащий газ при отборе ПГОГ, и потери, связанные с газификацией отдельных регионов на трассе Якутск-Благовещенск. Показано, что при современной экономической конъюнктуре и современных ценах на газ создание крупных подземных хранилищ газа экономически выгодно для ПАО «Газпром».

Основное преимущество схемы обратной закачки гелия в пласт с использованием мембранной установки по технологической схеме №1 – это возможность сокращения затрат на обустройство и минимальный срок эксплуатации. Однако при подобной технологической схеме концентрация гелия в газе, по мере разработки месторождения при ежегодной добыче 25 млрд м<sup>3</sup>/год, увеличится с нынешних 0,5 до 0,8 % и больше, что потребует дополнительных энергозатрат и технологических усилий на многократную обратную закачку гелия в пласт, т. е., по сути, гонять гелий «по кругу». Указанные дополнительные затраты можно удвоить, поскольку аналогичную схему планируется применить и на Ковыктинском месторождении в Иркутской области.

Кроме того, значительный участок экспортного магистрального газопровода будет проходить по территориям двух субъектов федерации – Республики Саха (Якутия) и Амурской области. Каждый из двух субъектов имеет утвержденные Генеральные схемы газоснабжения и газификации, согласно которым предусматривается газоснабжение населённых пунктов из магистрального газопровода «Сила Сибири». То есть на участке газопровода до предполагаемого газохимического комплекса в Амурской области в перспективе будут осуществляться отбор и сжигание «жирного» многокомпонентного газа, содержащего в себе гомологи метана и гелий. Такое положение приведёт к тому, что ПАО «Газпром» будет стремиться минимизировать отпуск газа для потребителей, расположенных на территории западной и южной Якутии, севера и центра Амурской области, что негативно скажется на темпах газификации населённых пунктов.

Отсюда в отношении технологической схемы № 3 можно сделать основной вывод: учитывая спрос на гелий и запуск других месторождений гелия, нецелесообразно применять столь долгосрочную и капиталоемкую технологию при резервировании гелиевого концентрата.

Извлечение и хранение гелиевого конденсата Чайандинского месторождения в природных хранилищах (геологические условия для их организации имеются на территории Ленского района) по технологической схеме № 2 может являться стратегически более выгодным и позволяет если не избежать, то значительно снизить отрицательные последствия. При длительном периоде отбора гелийсодержащего газа из подземного хранилища, созданного на базе истощенного газового месторождения, коэффициент извлечения может быть высоким. При закачке гелиевого концентрата в продуктивные пласты, содержащие остаточный газ, концентрация гелия снижается. Однако в большей мере снижение концентрации происходит при возврате гелия в основное разрабатываемое месторождение.

Таким образом, предложенная экономико-математическая модель позволяет оценивать эффективность проектов с учетом неопределенности влияющих факторов, принимая во внимание возможные риски производственного и экономического характера.

#### *Список источников / References*

1. Ананенков А.Г. Восточная газовая программа – начало реализации. *Газовая промышленность*, № 12. Москва, Издательство «ООО “Камелот Паблшинг”», 2008, сс. 8–10 [Ananenkov A.G. Vostochnaya gazovaya pro-

- gramma – nachalo realizatsii [Eastern Gas Program – Beginning of Implementation]. *Gazovaya promyshlennost = GAS Industry of Russia*, no 12. Moscow, «Kamelot Publishing», 2008, pp. 8–10.]
2. Арчегов В.Б. Основы стратегии рационального освоения высококачественных ресурсов гелия Сибирской платформы. *Записки горного института*. Санкт-Петербург, Издательство Санкт-Петербургского горного университета, 2015, т. 211, сс. 5–15 [Archegov V.B. Osnovy strategii ratsional'nogo osvoeniya vysokokachestvennykh resursov geliya Sibirskoy platformy [Fundamentals of the strategy of rational development of high-quality helium resources of the Siberian platform]. *Zapiski gornogo instituta = Journal of Mining Institut*, vol. 211, 2015, pp. 5–15.]
  3. Хан С.А., Игошин А.И., Казарян В.А., Скрыбина А.С., Сохранский В.Б. *Подземное хранение гелия*. Москва–Ижевск, Институт компьютерных исследований, 2015. 272 с. [Khan S.A., Igoshin A.I., Kazaryan V.A., Skryabina A.S., Sokhranskiy V.B. *Podzemnoe khraneniye geliya* [Underground storage of helium]. Moscow, Institute of Computer Research Publ., 2015. 272 p.]
  4. *The Future of Helium as a Natural Resource*. Edited by William J. Nuttall, Richard H. Clarke and Bartek A. Glowacki. New York, 2012. 330 p.
  5. Ларионов А.В., Павлов Н.В. *О необходимости стратегического планирования развития гелиевой промышленности*. Сборник Всероссийской научной конференции «Энергетика России в XXI веке. Инновационное развитие и управление». Иркутск, ИСЭМ СО РАН, 2015, сс. 506–510. [Larionov A.V., Pavlov N.V. *O neobkhodimosti strategicheskogo planirovaniya razvitiya gelievoy promyshlennosti* [On the need for strategic planning for the development of the helium industry]. *Sbornik Vserossiiskoy nauchnoy konferentsii «Energetika Rossii v XXI veke. Innovatsionnoye razvitie i upravlenie»* [Collection of the All-Russian scientific conference "Energy of Russia in the XXI century. Innovative development and management"]. Irkutsk, ESI SB RAS Publ., 2015, pp. 506–510.]
  6. Рубан Г.Н., Бондарев В.Л., Королева В.П., Королев Д.С. Критерии выбора хранилищ гелиевого концентрата в Восточной Сибири. *Георесурсы*, 2010, № 4 (36), сс. 29–32. [Ruban G.N., Bondarev V.L., Koroleva V.P., Korolev D.S. Kriterii vybora khranilishch gelievogo kontsentrata v Vostochnoi Sibiri [Object selection criteria for helium concentrate storage in Eastern Siberia]. *Georesursy=Georesources*, 2010, no 4(36), pp. 29–32.]
  7. Zhiming Cai, Richard H. Clarke, Bartek A. Glowacki, William J. Nuttall, Nick Ward. Ongoing ascent to the helium production plateau—Insights from system dynamics. *Resources Policy*, 2010, vol. 35, issue 2, pp. 77–89.

#### Сведения об авторах /About authors

**Ларионов Александр Валерьевич**, ведущий инженер отдела проблем энергетики, Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН. 677980 Россия, г. Якутск, ул. Октябрьская, д. 1, *E-mail: sasha.larionov@gmail.com*

Alexander V. Larionov, Leading Engineer of the Department of Energy Problems, Institute of Physical and Technical Problems of the North. V.P. Larionov SB RAS. Postcode 677980, Russia, Yakutsk, October St., No 1, *E-mail: sasha.larionov@gmail.com*

**Павлов Никита Владимирович**, научный сотрудник отдела проблем энергетики, Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН. 677980 Россия, г. Якутск, ул. Октябрьская, д. 1, *E-mail: pavlov\_nv@iptpn.usn.ru*

Nikita Vladimirovich Pavlov, Research Fellow, Energy Problems Department, Institute of Physical and Technical Problems of the North. V.P. Larionov SB RAS. Postcode 677980, Russia, Yakutsk, October St., No 1, *E-mail: pavlov\_nv@iptpn.ysn.ru*

**Попова Кюннэй Семеновна**, магистрант кафедры «Обогащение и переработка полезных ископаемых и техногенного сырья», Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». 119049 Россия, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4, *E-mail: pk7-77@mail.ru*

Kunnay Semenovna Popova, Master of Science in Mining and Processing of Minerals and Technogenic Raw Materials, National Research Technological University "NRTU". 119049 Russia, Moscow, Leninsky Prospekt, No 4, *E-mail: pk7-77@mail.ru*