

ВЫБОР СПОСОБА ПОДГОТОВКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПО МАГИСТРАЛЬНЫМ ГАЗОПРОВОДАМ

О. Ю. Манихин^{1,2}, В. В. Шалай², Е. В. Ходорева²

¹Инженерно-технический центр ООО «Газпром добыча Ноябрьск»,
Россия, 629800, г. Ноябрьск, ул. Республики, 20

²Омский государственный технический университет,
Россия, 644050, г. Омск, пр. Мира, 11

При проектировании оборудования осушки природного газа большое значение имеет возможность реализации комплексного подхода для определения рациональных технико-экономических показателей рассматриваемых технологических аппаратов. Это дает возможность достичь максимальной энергоэффективности от эксплуатируемого оборудования для каждого конкретного месторождения.

Одной из важных задач, решаемых при разработке газовых месторождений, является выбор способа и соответствующего технологического оборудования по множеству критериев, включая эксплуатационные расходы и стоимость аппаратов, производительность установки, металлоемкость, тиражируемость рассматриваемой технологии и т.д.

Одним из способов решения такой задачи является применение математических методов системного анализа в сложных задачах принятия решения, в частности, метода анализа иерархий.

Ключевые слова: осушка природного газа, абсорбция, низкотемпературная сепарация, мембраны, метод анализа иерархий.

Введение

По своим физико-химическим показателям подготовленный газ горючий природный (ГПП) должен соответствовать критериям и нормам СТО Газпром 089-2010 «Газ горючий природный, поставляемый и транспортируемый по магистральным газопроводам. Технические условия» [1].

В соответствии с СТО Газпром 089-2010 холодного макроклиматического района температура точки росы по воде (ТТРв) при абсолютном давлении 3,92 МПа (40,0 кгс/см²) должна быть не выше: в зимний период — минус 20 °С; в летний период — минус 14 °С, что требуется для неукоснительного соблюдения условий его однофазной транспортировки на всех участках магистрального трубопровода.

Также для холодного макроклиматического района температура точки росы по углеводородам (ТТРув) при абсолютном давлении от 2,5 до 7,5 МПа должна быть не выше: в зимний период — минус 10 °С; в летний период — минус 5 °С.

Осушаемым газом является газ, прошедший предварительную очистку от механических примесей и капельной влаги в цехе сепарации газа установки комплексной подготовки газа, а также повышение давления на дожимной компрессорной станции. Остаточное содержание капельной влаги и механических примесей в очищенном газе обусловлено требованиями к техническим характеристикам сепарационного оборудования и не должно превышать: капельной влаги — 20 мг/м³ газа; механических примесей с размерами частиц не более 20 мкм — 5 мг/м³ газа [2].

В газовой промышленности известно достаточное количество различных видов осушки природно-

го газа, которые обеспечивают решения локальных задач по глубокому извлечению капельной влаги из потока сырого газа, но не решают проблему в целом, к ним относятся: абсорбционная осушка газа, осушка газа низкотемпературной сепарацией, низкотемпературная абсорбционная осушка газа, адсорбционная осушка газа, осушка газа по мембранной технологии. Каждый из методов имеет как свои преимущества, так и свои недостатки, которые в целом определяют основные технико-экономические показатели [3, 4]. Какой способ выбрать — является одной из важнейших задач принятия предпроектных решений и, несмотря на то, что определяется по совокупному максимальному положительному эффекту при минимальных экономических требованиях, — не всегда является очевидным и зачастую является компромиссным решением.

Математическое решение представленной задачи может быть осуществлено за счет использования методов системного анализа и, в частности, метода анализа иерархий.

Основные способы осушки газа

Рассмотрим особенности основных технологических способов осушки природного газа.

Абсорбционная осушка газа. Типичная схема осушки газа гликолем основана на контакте сухого гликоля с сырым газом и поглощением из последнего влаги при температурах сырья от + 10 до + 35 °С. Сырой газ, предварительно прошедший сепарацию, поступает в абсорбционную колонну снизу вверх. Сверху колонны, через распределительную секцию, в противоточном направлении движению газа подается 98–99 % гликоль. Благода-

ря массообменной секции абсорбционной колонны обеспечивается максимальный контакт газа с гликолем, тем самым происходит процесс гликолевой осушки газа. Осушенный газ поступает в верхнюю часть колонны, проходит через секцию доулавливания гликоля и подается потребителям. Насыщенный влагой гликоль самотеком поступает из нижней части колонны на установку регенерации.

Осушка газа низкотемпературной сепарацией. Суть низкотемпературной сепарации состоит в предварительном охлаждении газа до отрицательных температур с последующим отделением сконденсированной капельной жидкости в низкотемпературном сепараторе.

Сырой газ от скважин под своим давлением поступает в газовый сепаратор первой ступени, где происходит первичное отделение капельной жидкости, образовавшегося конденсата и механических примесей, которые направляются в дренажную емкость. Далее газ, освобожденный от капельной жидкости, поступает в теплообменник «газ-газ» для предварительного его охлаждения обратным потоком газа, поступающего из сепаратора второй ступени (низкотемпературный сепаратор).

Для предупреждения образования гидратов перед теплообменником в газ подается ингибитор гидратообразования (метанол, диэтиленгликоль). Далее газ клапаном дросселируется, охлаждаясь при этом за счет эффекта Джоуля – Томсона до требуемых отрицательных температур. Охлажденный газ подается на газовый сепаратор второй ступени, где конденсат с насыщенным водой раствором ингибитора отделяется от газа. Осушенный газ подогревается сырым газом за счет его подачи на упомянутый выше теплообменник «газ-газ» и направляется на узел учета товарного газа.

Низкотемпературная абсорбционная осушка газа. По своей сущности технологическая схема низкотемпературной абсорбционной осушки газа представляет из себя сочетание двух вышеописанных способов осушки природного газа, но является более технологически сложной системой.

Сырой газ под давлением поступает в газовый сепаратор первой ступени. Далее газ, с незначительным содержанием капельной жидкости, поступает в теплообменник «газ-жидкость» для предварительного охлаждения обратным потоком абсорбента, поступающего из низкотемпературного абсорбера, представляющего собой многофункциональный аппарат, сочетающий в себе как сепарационную секцию (нижняя часть колонны), так и абсорбционную секцию (верхняя часть колонны). Предварительно охлажденный газ поступает в последующий теплообменник «газ-газ», в котором идет процесс его дальнейшего охлаждения обратным потоком осушенного газа, подаваемого из низкотемпературного абсорбера. Для предупреждения образования гидратных пробок перед каждым теплообменником в газ подается ингибитор гидратообразования. Далее газ, прошедший два последовательных теплообменных аппарата, дросселируется клапаном до необходимых отрицательных температур и последовательно, через сепарационную секцию, подается в абсорбционную секцию низкотемпературного абсорбера для глубокого извлечения капельной влаги. Осушенный в низкотемпературном абсорбере газ, в свою очередь, подогревается сырым газом в упомянутом выше рекуперативном теплообменнике «газ-газ» и направляется в магистральный газопровод.

В качестве абсорбента в системе используется отделенный в сепараторе первой ступени газовый конденсат, который перед подачей в низкотемпературный абсорбер направляется на дегазацию и последующее охлаждение холодным потоком абсорбента из низкотемпературного абсорбера в теплообменнике «жидкость-жидкость».

Адсорбционная осушка газа. Адсорбционная схема осушки газа по своей структуре схожа с абсорбционной схемой, за тем лишь исключением, что в качестве осушителя используется адсорбент (силикагель, цеолит).

Сепарированный от капельной влаги и механических примесей сырой газ поступает в адсорбционную колонну, заполненную композитным адсорбентом паров воды, по направлению сверху вниз. Газ на выходе из адсорбера является осушенным и соответствует всем предъявляемым для его транспортировки по магистральным газопроводам требованиям. Как только глубина осушки газа начинает снижаться, поток сырьевого газа для обеспечения непрерывности осушки переключают на адсорбер, находившийся в стадии ожидания, а адсорбер с насыщенным адсорбентом переключают на регенерацию. Так как адсорбент, в отличие от абсорбента, не циркулирует по замкнутой системе осушки газа и постоянно находится в адсорбере, то для его регенерации в адсорберах предусмотрены встроенные теплообменные элементы спирально-радиального типа.

Осушка газа по мембранной технологии. Способ выделения из углеводородного сырья природного газа, отвечающего требованиям стандарта по его подготовке с применением мембранной технологии, основан на разнице парциальных давлений компонентов на внешней и внутренней поверхностях полволоконной мембраны. Газы, «быстро» проникающие через полимерную мембрану, через структуру мембранного картриджа выходят через отвод для ретената (очищенный газ). Газы и жидкость, «медленно» проникающие или не проникающие через слой мембраны, выходят из установки через отвод для пермеата.

Благодаря селективным свойствам разделительного слоя мембран из газа, прошедшего предварительную сепарацию, извлекаются так называемые «медленные» компоненты, такие как влага, тяжелые углеводороды, меркаптаны, сернистые соединения и двуокиси углерода. А «быстрый» подготовленный природный газ, с незначительной потерей давления на установке, подается в магистральный газопровод.

Мембранный элемент является нерегенерируемым компонентом системы подготовки газа, который требует замены при несоблюдении требований к подготовке газа, указанных в технологическом регламенте эксплуатации установки.

Апробация метода. Основой метода анализа иерархий является иерархическое представление и выполнение попарного сравнения основных технико-экономических показателей способов подготовки природного газа [5, 6]. Итогом является создание соответствующей матрицы, основу которой составляет шестибальная шкала с всесторонними преимуществами каждого критерия из сопоставляемых способов. На каждой ступени сравнения должна быть достигнута независимость рассматриваемых показателей, которые должны иметь четкие отличия друг от друга [7, 8].

В результате определяется рациональный способ осушки природного газа с лучшими технико-эконо-

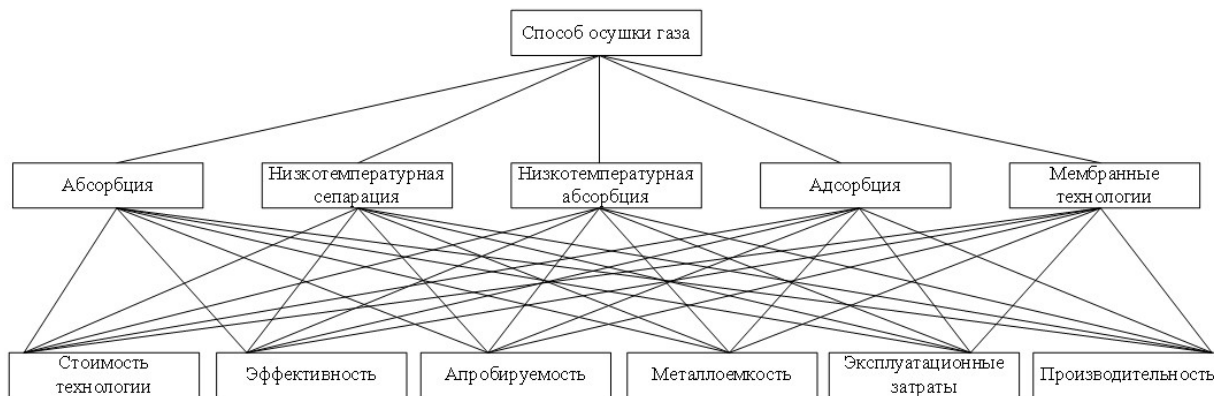


Рис. 1. Иерархия выбора для способа осушки природного газа
Fig. 1. Hierarchy of choice for natural gas drying method

мическими показателями для каждого конкретного случая, что позволяет в интерактивном режиме найти такой вариант, который наилучшим образом согласуется с требованиями для решения поставленной задачи и в итоге способствует её решению, предотвращая при этом необоснованные экономические затраты.

Составленная иерархия для способов осушки природного газа представлена на рис. 1.

Апробация предложенного метода осуществляется для пяти способов осушки природного газа: абсорбционная осушка, низкотемпературная сепарация, низкотемпературная абсорбция, адсорбция и осушка с применением мембранных технологий.

В современных условиях, в которых развивается энергетическое машиностроение, ключевым фактором, влияющим на распространенность технологий, является их стоимость. Чем затраты на их внедрение ниже, тем они доступнее, а чем доступнее технологии, тем они более исследованы и, соответственно, претерпели больше изменений с целью их оптимизации. Более совершенные технологии не требуют высоких эксплуатационных затрат и имеют высокую эффективность наряду с производительностью. Показатель эксплуатационных затрат является обратно пропорциональной величиной от параметра надежности, т.к. чем совершеннее система, тем меньше требует ресурсов на обслуживание. Кроме того, для труднодоступных мест эксплуатации немаловажным критерием применения технологии является ее металлоемкость, т.к. чем мобильнее система, тем меньше требуется затрат для ее транспортировки и монтажа. Как правило, чем инновационнее система, тем меньше ее металлоемкость, но выше стоимость.

Основываясь на вышесказанном, анализ систем для осушки природного газа выполнялся по шести критериям выбора: стоимость (A) — потенциальные затраты (в финансовом виде) на внедрение выбранной технологии; эффективность (B) — способность достичь требуемую в соответствии с СТО Газпром 089-2010 «Газ горючий природный, поставляемый и транспортируемый по магистральным газопроводам» при изменяющихся термобарических режимах работы; апробируемость (C) — распространённость, изученность, надежность и возможность применения на месторождении; металлоемкость (D) — количество металла, расходуемое на изготовление установки для осушки природного газа конструкции; эксплуатационные затраты (E) — общий показатель расходов, понесенных организацией для обеспече-

ния работоспособности установки по осушке природного газа; производительность (F) — количество газа, подготавливаемое установкой по осушке газа до требуемых значений за определенный период времени.

Согласованность суждений. Применяя метод анализа иерархий необходимо добиться согласованности в суждениях, основанных на представленных в табл. 1 числовых значениях характеристик способов осушки природного газа. Суждения трудно применять при оценке каких-либо конкретных параметров и, в первую очередь, это связано с их непостоянством. Тем не менее существует возможность рассмотреть согласованность суждений за счет их попарного анализа, что позволит доказать их справедливость [9].

Согласованность суждений означает, что в существующей совокупности необработанной информации все необходимые значения возможно логически получить из рассматриваемого массива. Выполнение попарного анализа n характеристик способов осушки природного газа при условии, что каждая из характеристик представлена в рассматриваемом массиве информации не менее одного раза, требует $(n - 1)$ суждений о попарном анализе.

Согласованность суждения определяется показателем однородности (ИС — индексом согласованности) или отношением однородности (ОС — отношением согласованности) согласно представленным ниже формулам:

$$ИС = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1), \quad (1)$$

где λ_{\max} — предельное собственное значение, применяемое при оценке согласованности, учитывающее соразмерность преимуществ. Чем ближе λ_{\max} к n (количеству характеристик), тем более согласованным получится результат.

$$ОС = ИС / ПСС, \quad (2)$$

где ПСС — значение случайной согласованности, определяемой теоретическим способом для случая, когда оценки в матрице внесены случайным образом, и зависящей только от размера матрицы, как это показано в табл. 2.

Рассмотрим согласованность суждений применительно к иерархии для способов осушки природного газа, представленной на рис. 1. Подтверждением согласованности и справедливости выдвинутых суждений о приоритете в показателях оценки спо-

Таблица 1. Сравнительная характеристика для способов осушки природного газа
Table 1. Comparative characteristics for natural gas drying methods

| Способ осушки | Стоимость, млн руб. | Эффективность, % | Апробируемость | Металлоемкость, т | Эксплуатационные затраты, млн руб./год | Производительность, млн м ³ /сут. |
|---------------|---------------------|------------------|----------------|-------------------|--|--|
| | <i>A</i> | <i>B</i> | <i>C</i> | <i>D</i> | <i>E</i> | <i>F</i> |
| Абсорбция | 81,9 | 90–92 | Высокая | 128,4 | 3 | 12 |
| НТ-сепарация | 48,6 | 96–98 | Высокая | 48,1 | 2 | 6 |
| НТ-абсорбция | 101,1 | 92–94 | Средняя | 148,4 | 3,5 | 6 |
| Адсорбция | 65,8 | 80–82 | Средняя | 104,2 | 7 | 4 |
| Мембраны | 338,3 | 98–99 | Низкая | 26,8 | 20 | 3,6 |

Таблица 2. Значения показателя случайной согласованности [5]
Table 2. Comparative characteristics for natural gas drying methods

| <i>n</i> | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------|---|---|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| ПСС | 0 | 0 | 0,58 | 0,9 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 |

Источник: Саати Т. А. Принятие решений. Метод анализа иерархий / пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. Москва: Радио и связь, 1993. 278 с.

Таблица 3. Матрица сопоставления показателей приоритета для способов осушки природного газа
Table 3. Comparison matrix and calculated values of priority criteria for natural gas drying methods

| | <i>A</i> | <i>B</i> | <i>C</i> | <i>D</i> | <i>E</i> | <i>F</i> | Среднее геометрическое значение | Нормализованный вектор приоритетов (НВП)— Значимость показателя |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------------------------|--|
| <i>A</i> | 1 | 1/7 | 1/9 | 1/5 | 1/3 | 1/5 | 0,244 | 0,026 |
| <i>B</i> | 7 | 1 | 1/9 | 1/3 | 1 | 1/5 | 0,611 | 0,066 |
| <i>C</i> | 9 | 9 | 1 | 3 | 9 | 9 | 5,196 | 0,559 |
| <i>D</i> | 5 | 3 | 1/7 | 1 | 3 | 3 | 1,638 | 0,176 |
| <i>E</i> | 3 | 1 | 1/9 | 1/3 | 1 | 5 | 0,907 | 0,098 |
| <i>F</i> | 5 | 3 | 1/9 | 1/3 | 1/5 | 1 | 0,693 | 0,075 |
| СУММА: | | | | | | | 9,289 | 1,000 |
| λ_{\max} | | | | | | | 6,51 | |
| ИС | | | | | | | 0,102 | |
| ПСС | | | | | | | 1,24 | |
| ОС | | | | | | | 0,08 | |

способов осушки, указанных в матрице попарного сопоставления, будет являться полученное расчетное значение ОС, не превышающее или равное 0,1. Если ОС превышает 0,1, это указывает на недостоверность использованных при формировании матрицы суждений и требует дополнительного анализа и внесения корректировок в матрицу [10, 11].

Матрица сопоставления показателей. С целью формирования матрицы необходимо провести попарную оценку показателей на предмет значимости по шкале от 1 до 9. Способ попарного сравнения показателей позволяет получить результат в виде обратнo-симметричной матрицы. Параметром матрицы является степень преимущества между сопоставляемыми элементами иерархии, выставляемая согласно предлагаемой шкале от 1 до 9, в которой:

- 1 — аналогичная значимость;
- 3 — незначительная значимость;
- 5 — значительная значимость;
- 7 — существенная значимость;
- 9 — основная значимость.

При неопределенности выбора выставляются четные значения: 2, 4, 6, 8 (в частности, 4 — между незначительным и значительным преимуществом) [12].

Заполнение матрицы проводится построчно. Вначале были выставлены целочисленные оценки, тогда соответствующие им дробные оценки получаются из них автоматически (как обратные к целым числам). Чем важнее критерий, тем больше целочисленных оценок будет в соответствующей ему строке матрицы, и сами оценки имеют большие значения. Так как каждый критерий равен себе по важности, то главная диагональ матрицы всегда будет состоять из единиц.

$$\lambda_{\max} = \sum(\text{столбца } A) \cdot \text{НВП (строки } A) + \sum(\text{столбца } B) \cdot \text{НВП (строки } B) + \dots + \sum(\text{столбца } F) \cdot \text{НВП (строки } F), \quad (3)$$

где НВП — нормализованный вектор приоритетов, определяющий значимость показателя. Каждый

Таблица 4. Расчет приоритетности способов осушки природного газа по критериям
Table 4. Calculation of the priority of natural gas drying methods according to all criteria

| | A | B | C | D | E | F | Обзор показателей значимости и общий приоритет рассматриваемых способов | |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|------------|
| | 0,026 | 0,066 | 0,559 | 0,176 | 0,098 | 0,075 | | Показатель |
| абсорбция | 0,114 | 0,064 | 0,494 | 0,255 | 0,063 | 0,371 | | 0,362 |
| НТС | 0,033 | 0,264 | 0,318 | 0,068 | 0,040 | 0,371 | | 0,240 |
| НТ-абсорбция | 0,190 | 0,130 | 0,082 | 0,469 | 0,102 | 0,171 | | 0,165 |
| адсорбция | 0,063 | 0,033 | 0,072 | 0,170 | 0,159 | 0,060 | | 0,094 |
| мембраны | 0,600 | 0,510 | 0,034 | 0,037 | 0,636 | 0,027 | | 0,139 |
| ИС | 0,089 | 0,061 | 0,082 | 0,093 | 0,093 | 0,052 | СУММА: | 1 |
| ОИС | 0,081 | | | | | | | |
| ПСС | 1,120 | | | | | | | |
| ООС | 0,073 | | | | | | | |

компонент НВП представляет собой оценку важности соответствующего критерия (например, 1-й компонент представляет собой оценку важности первого критерия).

$$\text{НВП} = \frac{\text{среднегеометрическое значение показателей } n \text{-ой строки матрицы}}{\text{сумма всех среднегеометрических значений компонентов матрицы}} \quad (4)$$

Принимая во внимание вышесказанное, матрица сопоставления показателей приоритета для способов осушки природного газа будет иметь вид, представленный в табл. 3.

По девятибалльной шкале значимости максимальное значение 9 при попарной оценке показателей присвоено показателю апробируемости, который обладает основной значимостью перед стоимостью, эффективностью, эксплуатационными затратами и производительностью системы. Существенной значимостью, то есть следующим по важности значением 7, обладает показатель эффективности в сравнении со стоимостью. Оценка 5 — значительная значимость, соответствует превосходству показателей в сравниваемых парах: металлоемкость над стоимостью; эксплуатационные затраты над производительностью; производительность над стоимостью. Незначительной значимостью (оценка 3) обладают соотношения показателей апробируемость над металлоемкостью, металлоемкость над эффективностью, эксплуатационными затратами и производительностью; эксплуатационные затраты над стоимостью; производительность над эффективностью. Аналогичной значимостью и, соответственно, значением 1, обладают сравниваемые пары показателей эффективность и эксплуатационные затраты, эксплуатационные затраты и эффективность.

Полученные из матрицы расчетные данные значений приоритета критериев для способов осушки

природного газа свидетельствуют о том, что наиболее значимым критерием выбора является **апробируемость** технологии, а наименее приоритетным — **стоимость**. Данный вывод подтверждается низким значением отношением согласованности, равным 0,08, что является подтверждением согласованности суждений.

Далее выполнено сопоставление значимости способов осушки природного газа по каждому из рассматриваемых критериев согласования и выполнен итоговый расчет приоритетности способов осушки природного газа.

Промежуточные данные свидетельствуют о том, что, согласно значениям нормализованного вектора приоритетов (НВП), наиболее значимыми параметрами для соответствующих способов подготовки газа являются:

- стоимость — мембранная осушка (НВП 0,600);
- эффективность — мембранная осушка (НВП 0,510);
- апробируемость — абсорбционная осушка (НВП 0,494);
- металлоемкость — низкотемпературная абсорбционная осушка (НВП 0,468);
- эксплуатационные затраты — мембранная осушка (НВП 0,636);
- производительность — одинаково значимо как для абсорбционного способа осушки, так и для осушки газа с применением технологии низкотемпературной сепарации (НВП 0,371).

Итоговые результаты расчета приоритетности способа по всем критериям представлены в табл. 4.

Заключение

Основанные на методе анализа иерархий расчеты и последующий анализ полученной информации наглядно указывают на то, что, согласно представленным в работе технико-экономическим

признакам, несмотря на высокую металлоемкость конструкции и средние показатели эффективности, — абсорбционная осушка природного газа является наиболее предпочтительным перед рассматриваемыми в статье способом подготовки природного газа (коэффициент значимости 0,361). Ключевым расчетным критерием выбора при определении способа определен критерий апробируемость применяемой технологии, его значимость составила 55,9 %.

Обоснованно выбранный способ абсорбционной осушки природного газа позволяет при относительно невысоких эксплуатационных затратах и незначительных потерях давления осушаемого газа добиться требуемой подготовки сырья. Данный способ является высокотехнологичным и энергоэффективным, так как использованный в осушке и насыщенный парами влаги гликоль, пройдя замкнутый цикл очистки и регенерацию, после восстановления своих товарных качеств вновь подается в абсорбционное оборудование. Кроме того, к положительным характеристикам данного способа стоит отнести его высокую производительность в разрезе одной технологической линии и надежность, проверенную временем.

Список источников

1. СТО Газпром 089-2010. Газ горючий природный, поставляемый и транспортируемый по магистральным газопроводам. Технические условия. Основные надписи. Введ. 25-10-2010. Москва: ООО «Газпром ВНИИГАЗ», 2010. 18 с.
2. Грищенко А. И., Истомин В. А., Кульков А. И. [и др.]. Сбор и промысловая подготовка газа на северных месторождениях России. Москва: Недра, 1999. 473 с.
3. Назаров А. В. Развитие методов математического моделирования для проектирования и анализа разработки нефтегазоконденсатных месторождений: дис. ... д-ра техн. наук. Ухта, 2012. 430 с.
4. Шикин Е. В., Чхартишвили А. Г. Математические методы и модели в управлении. 2-е изд., испр. Москва: Дело, 2002. 440 с.
5. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. Москва: Радио и связь, 1993. 278 с.
6. Саати Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети / пер. с англ. А. В. Андрейчикова, О. Н. Андрейчиковой. Москва: Изд-во ЛКИ, 2008. 360 с.
7. Саати Т. Л. Об измерении неосязаемого. Подход к относительным измерениям на основе главного собственного вектора матрицы парных сравнений / пер. с англ. О. Н. Андрейчиковой // Cloud of Science. 2015. Т. 2, № 1. С. 5–39.
8. Saaty T. L. Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central

in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors — The Analytic Hierarchy/Network Process // Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Serie A, Matemáticas. 2008. Vol. 102 (2). P. 251–318.

9. Исаев Р. А., Подвесовский А. Г. Оценка согласованности суждений эксперта при построении функции принадлежности нечеткого множества методом множеств уровня // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2017. № 3. С. 9–15. DOI: 10.25559/SITITO.2017.3.499.

10. Ногин В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход: моногр. 2-е изд., испр. и доп. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 176 с. ISBN 5-9221-0517-5.

11. Лотов А. В., Поспелова И. И. Многокритериальные задачи принятия решений. Москва: МАКС Пресс, 2008. 197 с.

12. Чирухин В., Прохоров В. О практике применения метода анализа иерархий в логистике // LOGISTICS. 2018. № 6. С. 44–48.

МАНИХИН Олег Юрьевич, заместитель начальника отдела исследования технологических процессов Инженерно-технического центра ООО «Газпром добыча Ноябрьск», г. Ноябрьск; аспирант кафедры «Нефтегазовое дело, стандартизация и метрология» Омского государственного технического университета (ОмГТУ), г. Омск.

Адрес для переписки: maneekhin@rambler.ru

ШАЛАЙ Виктор Владимирович, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Нефтегазовое дело, стандартизация и метрология», президент ОмГТУ, г. Омск.

SPIN-код: 2322-6820

AuthorID (РИНЦ): 9913

ORCID: 0000-0003-0635-4849

AuthorID (SCOPUS): 35792469000

AuthorID (SCOPUS): 56755298300

AuthorID (SCOPUS): 57190972363

ResearcherID: P-8233-2015

ХОДОРЕВА Елена Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Нефтегазовое дело, стандартизация и метрология», г. Омск.

AuthorID (РИНЦ): 591427

AuthorID (SCOPUS): 56610293100

Адрес для переписки: l.khodoreva@yandex.ru

Для цитирования

Манихин О. Ю., Шалай В. В., Ходорева Е. В. Выбор способа подготовки природного газа для транспортировки по магистральным газопроводам // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2022. Т. 6, № 3. С. 58–65. DOI: 10.25206/2588-0373-2022-6-3-58-65.

Статья поступила в редакцию 08.02.2022 г.

© О. Ю. Манихин, В. В. Шалай, Е. В. Ходорева

SELECTION THE METHOD OF NATURAL GAS PREPARATION FOR TRANSPORTATION THROUGH MAIN GAS PIPELINES

O. Yu. Manikhin^{1,2}, V. V. Shalay², E. V. Khodoreva²

¹Engineering and Technical Center of LLC «Gazprom dobycha Noyabrsk»,
Russia, Noyabrsk, Republic Str., 20, 629800

²Omsk State Technical University,
Russia, Omsk, Mira Ave., 11, 644050

When designing natural gas drying equipment, the possibility of implementing an integrated approach to determine the rational technical and economic indicators of the technological devices under consideration is of great importance. This makes it possible to achieve maximum energy efficiency from the operated equipment for each specific field.

One of the important tasks to be solved in the development of gas fields is the choice of a method and appropriate technological equipment according to a variety of criteria, including operating costs and the cost of devices, plant performance, metal consumption, replicability of the technology in question, etc.

One of the ways to solve such a problem is the application of mathematical methods of system analysis in complex decision-making problems, in particular, the method of analyzing hierarchies.

Keywords: natural gas drying, absorption, low-temperature separation, membranes, hierarchy analysis methods.

References

1. STO Gazprom 089-2010. Gaz goryuchiy prirodnyy, postavlyayemyy i transportiruyemyy po magistral'nym gazoprovodam. Tekhnicheskiye usloviya. Osnovnyye nadpisi [STO Gazprom 089-2010. Combustible natural gas supplied and transported through main gas pipelines. Specifications. Basic inscriptions]. Moscow, 2010. 18 p. (In Russ.).

2. Grishchenko A. I., Istomin V. A., Kul'kov A. I. [et al.]. Sbor i promyslovaya podgotovka gaza na severnykh mestorozhdeniyakh Rossii [Gathering and field treatment of gas at the northern fields of Russia]. Moscow: Nedra Publ., 1999. 473 p. (In Russ.).

3. Nazarov A. V. Razvitiye metodov matematicheskogo modelirovaniya dlya proyektirovaniya i analiza razrabotki neftegazokondensatnykh mestorozhdeniy [Development of mathematical modeling methods for the design and analysis of the development of oil and gas condensate fields]. Ukhta, 2012. 430 p. (In Russ.).

4. Shikin E. V., Chkhartishvili A. G. Matematicheskiye metody i modeli v upravlenii [Mathematical methods and models in management]. 2nd ed. Moscow: Delo Publ., 2002. 440 p. (In Russ.).

5. Saati T. L. Prinyatiye resheniy. Metod analiza iyerarkhiy [Making decisions. Hierarchy Analysis Method] / trans. from Engl. R. G. Vachnadze. Moscow: Radio i svyaz' Publ., 1993. 278 p. (In Russ.).

6. Saati T. L. Prinyatiye resheniy pri zavisimostyakh i obratnykh svyazyakh: Analiticheskiye seti [Decision Making under Dependencies and Feedbacks: Analytical Networks] / trans. from Engl. A. V. Andreychikova, O. N. Andreychikovoy. Moscow, 2008. 360 p. (In Russ.).

7. Saati T. L. Ob izmerenii neosyazayemogo. Podkhod k otноситel'nym izmereniyam na osnove glavnogo sobstvennogo vektora matritsy parnykh sravneniy [On the measurement of intangibles. A principal eigenvector approach to relative measurement derived from paired comparisons] / trans. from Engl. O. N. Andreychikovoy // *Cloud of Science. Cloud of Science*. 2015. Vol. 2, no. 1. P. 5–39. (In Russ.).

8. Saaty T. L. Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors — The Analytic Hierarchy/Network Process // *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Serie A, Matemáticas. Review of the Royal Spanish Academy of Sciences. Series A. Mathematics*. 2008. Vol. 102 (2). P. 251–318. (In Engl.).

9. Isayev R. A., Podvesovskiy A. G. Otsenka soglasovannosti suzheniy eksperta pri postroyenii funktsii prinadlezhnosti nechetkogo mnozhestva metodom mnozhestv urovnya [Evaluation of expert judgements consistency when constructing a membership function of fuzzy set using the method of level sets] // *Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii i IT-obrazovaniye. Modern Information Technologies and IT-education*. 2017. № 3. C. 9–15. DOI: 10.25559/SITITO.2017.3.499. (In Russ.).

10. Nogin V. D. Prinyatiye resheniy v mnogokriterial'noy srede: kolichestvennyy podkhod [Decision Making in a Multicriteria Environment: A Quantitative Approach]. 2nd ed. Moscow: FIZMATLIT Publ., 2004. 176 p. ISBN 5-9221-0517-5. (In Russ.).

11. Lotov A. V., Pospelova I. I. Mnogokriterial'nyye zadachi prinyatiya resheniy [Multicriteria decision making problems]. Moscow, 2008. 197 p. (In Russ.).

12. Chirukhin V., Prokhorov V. O praktike primeneniya metoda analiza iyerarkhiy v logistike [About the practice of applying the method of analysis of hierarchies in logistics] // *LOGISTICS. LOGISTICS*. 2018. No. 6. P. 44–48. (In Russ.).

MANIKHIN Oleg Yurievich, Deputy Head of Technological Processes Research Department, Engineering and Technical Center of LLC «Gazprom dobycha Noyabrsk», Noyabrsk; Postgraduate Student of Transport, Oil and Gas Storage, Standardization and Certification Department, Omsk State Technical University (OmSTU), Omsk.

Correspondence address: maneekhin@rambler.ru

SHALAY Victor Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Transport, Oil and Gas

Storage, Standardization and Certification Department,
President, Omsk State Technical University (OmSTU),
Omsk.

SPIN-code: 2322-6820

AuthorID (RSCI): 9913

ORCID: 0000-0003-0635-4849

AuthorID (SCOPUS): 35792469000

AuthorID (SCOPUS): 56755298300

AuthorID (SCOPUS): 57190972363

ResearcherID: P-8233-2015

KHODOREVA Elena Viktorovna, Candidate of
Technical Sciences, Associate Professor of Transport,
Oil and Gas Storage, Standardization and Certification
Department, OmSTU, Omsk.

AuthorID (RSCI): 591427

AuthorID (SCOPUS): 56610293100

Correspondence address: l.khodoreva@yandex.ru

For citations

Manikhin O. Yu., Shalay V. V., Khodoreva E. V. Selection
the method of natural gas preparation for transportation through
main gas pipelines // Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-
Rocket and Power Engineering. 2022. Vol. 6, no. 3. P. 58–65. DOI:
10.25206/2588-0373-2022-6-3-58-65.

Received February 08, 2022.

© O. Yu. Manikhin, V. V. Shalay, E. V. Khodoreva