

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ СЕПАРАТОРА МЕТОДОМ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

Д. А. Ожерельев¹, В. В. Шалай²

¹Инженерно-технический центр ООО «Газпром добыча Ноябрьск»,
Россия, 629806, г. Ноябрьск, ул. 40 лет Победы, 2

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

В статье описана возможность применения «Метода анализа иерархий» при выборе типа сепаратора. Данные методы расчета используются для определения вектора приоритетов и альтернатив по заданным критериям, а также для оценки согласованности мнений эксперта. Поставлена задача, представлены альтернативные варианты и критерии отбора конструкции сепаратора. Построена иерархическая структура для различных конструкций сепараторов. Приведена методика расчета по множеству показателей, которые характеризуют типы сепарационного оборудования. По представленным результатам в соответствии с технико-экономическими показателями определена оптимальная конструкция сепаратора.

Ключевые слова: сепаратор газа, метод анализа иерархий, матрица сравнения, газожидкостный поток, производительность аппарата, давление газа, эффективность процесса сепарации.

Введение

Метод анализа иерархий относится к классу критериальных и занимает особое место благодаря тому, что он получил исключительно широкое распространение и активно применяется повсеместно [1, 2].

Известно, что технология применения данного метода базируется на иерархическом представлении элементов путем проведения попарного сравнения.

На газодобывающих промыслах по своей конструкции и характеру действующих сил в основном используются следующие типы сепараторов: гравитационный, жалюзийный (инерционный) и центробежный [3].

Гравитационные сепараторы (рис. 1) основаны на принципе разделения газожидкостного потока под действием силы тяжести [4]. Конструктивно они представляют собой сосуды большого диаметра, в которых скорость восходящего или горизонтального потока газа настолько мала, что частицы воды и механических примесей успевают осесть на дно, откуда периодически удаляются через выкидные линии.

Жалюзийные сепараторы (рис. 2) являются наилучшим типом устройств вторичной сепарации. Эти сепараторы относятся к классу инерционных. Газожидкостная дисперсная фаза проходит через сепаратор по извилистым каналам пластин каплеулавливающей насадки, в результате чего капли влаги под действием инерционных сил попадают на стенки и стекают вниз.

Работа центробежных сепараторов основана на выделении жидкой фазы из вращающегося газожидкостного потока под действием центробежных сил (рис. 3). Центробежные сепараторы применяют в основном в качестве входных и промежуточных ступеней очистки газа на установках газодобыва-

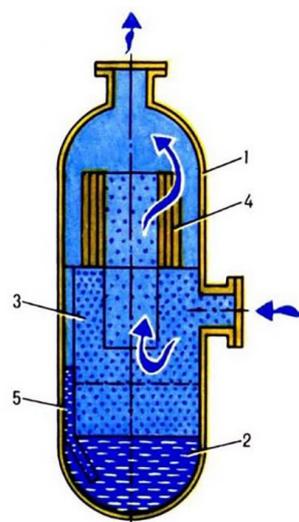


Рис. 1. Гравитационный сепаратор:
1 — корпус; 2 — сборник жидкости;
3 — секция предварительной (гравитационной) сепарации;
4 — кольцевая жалюзийная насадка; 5 — сливная труба с гидрозатвором секции тонкой сепарации

Fig. 1. Gravity separator:
1 — body; 2 — liquid collector;
3 — section of preliminary (gravitational) separation;
4 — annular louvred nozzle; 5 — drain pipe with a hydraulic seal of the fine separation section

ющих промыслов, а также на магистральных газопроводах [5, 6].

Постановка задачи

В настоящее время выпускается большое количество разнообразных сепараторов, отличающихся функциональными и конструктивными признака-



Рис. 2. Горизонтальный жалюзийный сепаратор
Fig. 2. Horizontal louver separator



Рис. 3. Вертикальный центробежный сепаратор
Fig. 3. Vertical centrifugal separator

ми. Как правило, в паспортных данных выпускаемых сепараторов не приводятся данные по расходу газа и давлению, при которых будет достигаться наивысшая эффективность работы этих сепараторов. Это затрудняет прогнозирование эффективности работы сепараторов на разных месторождениях при непрерывно меняющихся термобарических условиях промышленной обработки добываемого газа.

Для расчета и проектирования сепарационного оборудования большое значение имеет правильное представление о характере движения газожидкостного потока в зоне сепарационного узла [7]. Это дает возможность интенсифицировать и оптимизировать газогидродинамические процессы в аппаратах, повышая их эффективность при минимальных габаритах.

Одной из важных задач, решаемых при управлении инновационными проектами, является выбор

типа сепарационного оборудования по множеству показателей, включая технико-экономические показатели объектов и процессов их функционирования, а также габаритно-массовые характеристики.

В связи с вышеизложенным, решение такого типа задачи предлагается выполнить с применением Метода анализа иерархий, разработанного Саати.

Метод анализа иерархий содержит процедуру синтеза приоритетов, вычисляемых на основе субъективных суждений экспертов. Число суждений может измеряться дюжинами или даже сотнями. Математические вычисления для задач небольшой размерности можно выполнить вручную или с помощью калькулятора, однако гораздо удобнее использовать программное обеспечение (ПО) для ввода и обработки суждений. Самый простой способ компьютерной поддержки — электронные таблицы [8].

Первый шаг Метода анализа иерархий — построение иерархической структуры, объединяющей цель выбора, критерии, альтернативы и прочие факторы, влияющие на выбор решения. Построение такой структуры позволяет проанализировать все аспекты имеющейся проблемы и глубже вникнуть в суть задачи.

Иерархическая структура — это графическое представление задачи в виде дерева, где каждый элемент, за исключением самого верхнего, зависит от одного или более элементов, расположенных выше. Похожие структуры зачастую встречаются в жизни (структура компании, распределение полномочий, таксономическая классификация и т.д.) [9, 10].

Теория

Апробация предложенного метода осуществляется для трех типов сепараторов: гравитационный, жалюзийный и прямоточный центробежный, по пяти параметрам: оптимальная производительность, рабочее давление, средняя эффективность, вес аппарата, удельные металлозатраты.

Для сравнения характеристик типов сепараторов с применением метода анализа иерархий формируется соответствующая матрица на базе пятибалльной шкалы, а затем глобальные приоритеты для каждого из типов сравниваемых сепараторов, и проводится процедура выбора лучшего варианта. Данные по сепараторам представлены в табл. 1.

В результате определяется оптимальный тип сепаратора с лучшими технико-экономическими по-

Таблица 1. Сравнительная характеристика сепараторов
Table 1. Comparative characteristics of separators

Тип сепаратора	Оптимальная производительность, млн м ³ /сут	Средняя эффективность, %	Рабочее давление, МПа	Вес аппарата, т	Удельные металлозатраты, т/млн м ³
	<i>Q</i>	<i>K</i>	<i>P</i>	<i>m</i>	<i>Mt</i>
Гравитационный	0,5	82–90	6,4	6,5	13
Жалюзийный	0,8–1	82–83	6,4	13,3	13,3
Прямоточный центробежный	6,5	88–98	6,4	5,5	6

Таблица 2. Значения показателя случайной согласованности
Table 2. Values of the random consistency indicator

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ПСС	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

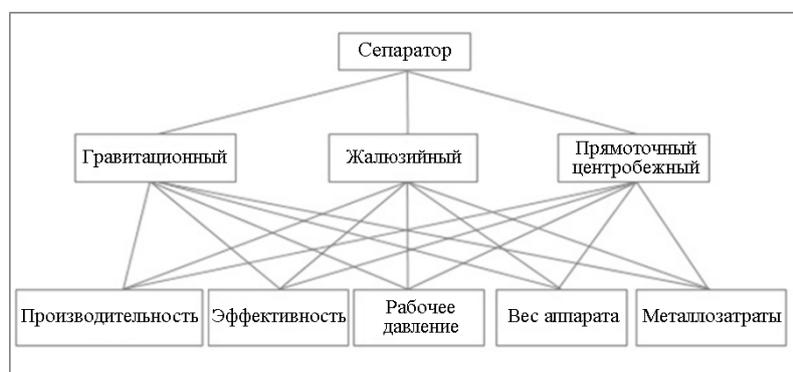


Рис. 4. Иерархия выбора типа сепаратора
Fig. 4. Separator type selection hierarchy

казателями, что позволяет избежать необоснованных экономических затрат.

Согласованность суждения оценивается индексом согласованности (ИС — индекс согласованности) или отношением однородности (ОС — отношение согласованности) в соответствии со следующими формулами:

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

$$ОС = ИС / ПСС, \quad (2)$$

где ПСС — показатель случайной согласованности, определяемый теоретически для случая, когда оценки в матрице представлены случайным образом, и зависящий только от размера матрицы, как это представлено в табл. 2.

В качестве допустимого используется значение $ОС \leq 0,1$. Если для матрицы парных сравнений $ОС > 0,1$, то это свидетельствует о существенном нарушении логики суждений, допущенном экспертом при заполнении матрицы, поэтому эксперту предлагается пересмотреть данные, использованные для построения матрицы, чтобы улучшить однородность.

Для составления матрицы (таблицы) выполним попарное сравнение критериев по важности по девятибалльной шкале размера $(n \times n)$. Система парных сведений приводит к результату, который может быть представлен в виде обратно симметричной матрицы. Элементом матрицы $a(i, j)$ является интенсивность проявления элемента иерархии i относительно элемента иерархии j , оцениваемая по шкале интенсивности от 1 до 9, где оценки имеют следующий смысл:

- равная важность — 1;
- умеренное превосходство — 3;
- значительное превосходство — 5;
- сильное превосходство — 7;
- очень сильное превосходство — 9;
- в промежуточных случаях ставятся четные оценки: 2, 4, 6, 8 (например, 4 — между умеренным и значительным превосходством).

При этом при проведении попарных сравнений в основном ставятся следующие вопросы при сравнении:

- какой из элементов важнее или имеет большее воздействие;
- какой из элементов предпочтительнее;
- какой из элементов более вероятен.

Таблица 3. Матрица сравнения и рассчитанные значения приоритетов критериев

Table 3. Comparison matrix and calculated values of criteria priorities

	<i>Q</i>	<i>K</i>	<i>P</i>	<i>m</i>	<i>Mt</i>	Средние геометрические	Нормализованный вектор приоритетов
<i>Q</i>	1	7	9	3	3	3,554	0,476
<i>K</i>	1/7	1	3	1/7	1/5	0,415	0,055
<i>P</i>	1/9	1/3	1	1/3	1/7	0,281	0,038
<i>m</i>	1/3	7	3	1	1/3	1,185	0,159
<i>Mt</i>	1/3	5	7	3	1	2,036	0,273
ИТОГО						7,471	1,000
λ_{\max}	5,37						
ИС	0,092						
ПСС	1,12						
ОС	0,08						

Таблица 4. Расчет приоритетности типа сепаратора по всем критериям

Table 4. Calculation of the priority of the separator type for all criteria

	<i>Q</i>	<i>K</i>	<i>P</i>	<i>m</i>	<i>Mt</i>	Итоговая оценка коэффициентов значимости и общий приоритет для каждого подхода	
	0,476	0,055	0,038	0,159	0,273		значение
Гравитационный	0,058	0,188	0,413	1,101	0,188	Сумма	0,27
Жалюзийный	0,207	0,081	0,327	0,094	0,081		0,15
Центробежный	0,735	0,731	0,260	0,627	0,731		0,58
ИС	0,059	0,032	0,027	0,043	0,032		1,0
ОИС	0,05						
ПСС	0,58						
ООС	0,08						

Результаты

В соответствии с представленными сравнительными характеристиками сепараторов иерархия выбора типа сепаратора по конструктивным признакам имеет следующий вид (рис. 4).

Первоначально построена следующая матрица сравнения и рассчитаны значения приоритетов критериев сепараторов (табл. 3).

Далее сравниваются значимости типов сепараторов по каждому критерию согласования и рассчитывается общий приоритет для каждого подхода (табл. 4).

В результате анализа итоговой оценки коэффициентов значимости по каждому типу сепаратора наиболее совершенными по габаритно-массовым характеристикам являются сепараторы центробежного типа (коэффициент значимости **0,58**).

Очевидно, что центробежные сепараторы обладают значительным преимуществом, в разы превосходящим гравитационные и жалюзийные сепараторы.

Разделение газожидкостного потока в сепараторах, работающих на основе центробежных сил, имеет широкую возможность в области применения [11]. Так, применение центробежных сепарационных элементов, рассчитанных под определенный диапазон работы (производительность сепаратора до 6,5 млн.м³/сут и рабочим давлением до 6,4 МПа), дает возможность провести модернизацию (доработку) сепаратора без замены самого аппарата. Повышение эффективности работы сепараторов на газодобывающих промыслах является важным этапом при подготовке углеводородной продукции.

Обсуждение результатов

Стоит отметить, что в публикации [12] автор указывает на нарушение условий при составлении матрицы сравнения, что приводит к следующим проблемам:

- из-за погрешности в расчетах при использовании приближенных методов при расчете вектора приоритетов альтернативы и критерии могут быть оценены некорректно;

- наличие вероятности принятия неверного решения при оценивании веса критериев и веса альтернатив по критериям.

Таким образом, чтобы избежать проблем, при использовании Метода анализа иерархий, необходимо использовать точный метод расчета вектора приоритетов и оценки согласованности мнений экспертов.

На основе Метода анализа иерархий, который базируется на иерархическом представлении элементов путем проведения попарного сравнения, из трех рассматриваемых типов сепараторов по технико-экономическим показателям определен оптимальный тип сепаратора.

В настоящее время в условиях промысловой подготовки газа применяются сепараторы с внутренними сепарационными центробежными элементами. Отделение жидкости от газа происходит в результате осаждения капельной влаги на стенках центробежных элементов. При этом внутренние элементы сепаратора не содержат вращающихся частей, фильтров или других динамических или сменных элементов, требующих периодических проверок, обслуживания, ремонта или замены. Это

делает конструкцию сепараторов более надежной и менее затратной в обслуживании при подготовке природного газа.

Если рассматривать показатель — средняя эффективность по типу сепаратора, то самой высокой эффективностью обладает сепаратор центробежного типа (88–98%), потом сепаратор гравитационного типа со средней эффективностью 82–90% и сепаратор жалюзийного типа со средней эффективностью 82–83% [13].

Выводы и заключение

Определение оптимальной конструкции сепаратора методом анализа иерархий, который описан в статье, дает возможность эффективно решать задачи при выборе оборудования.

Так, из рассматриваемых конструкций сепаратора определен сепаратор центробежного типа (коэффициент значимости 0,58), который рассчитан на высокую производительность по газу (до 6,5 млн.м³/сут) [14]. Эффективность центробежного сепаратора (в диапазоне 88–98%) в целом зависит не только от качества сборки центробежных сепарационных элементов, которыми он укомплектован, но и от характера трубопроводной обвязки и технологических факторов процесса сепарации. В работе [15] также даны рекомендации по компоновке аппаратов с точки зрения гидравлического совершенства конструкции.

В качестве направления дальнейшего исследования можно выбрать решение задач, которые связаны с оценкой качества предлагаемых конструктивных решений внутренних элементов для сепараторов центробежного типа.

Список источников

1. Саати Т. А. Принятие решений. Метод анализа иерархий / пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. М.: Радио и связь, 1993. 314 с. ISBN 5-256-00443-3.
2. Воронов Е. А., Карпунин А. А. Алгоритмы иерархической оптимизации в двухуровневой многоканальной задаче «управление — регулирование» // Вестник Омского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2009. № 4. С. 55–67.
3. Николаев Н. А. Исследование и расчет высокоэффективных аппаратов вихревого типа: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Казань, 1974. 42 с.
4. Ланчаков Г. А., Кульков А. Н., Зиберт Г. К. Технологические процессы подготовки природного газа и методы расчета оборудования. М.: Недра, 2000. 278 с. ISBN 5-8365-0047-9.
5. Крестовников А. Н., Вигдорович В. Н. Химическая термодинамика. 2-е изд., испр. и доп. М.: Металлургия, 1973. 256 с.
6. Булейко В. М. Закономерности фазовых превращений углеводородных смесей в нефтегазоносных пластах разрабатываемых месторождений: по экспериментальным данным: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2007. 277 с.
7. Назаров А. В. Развитие методов математического моделирования для проектирования и анализа разработки нефтегазоконденсатных месторождений: дис. ... д-ра техн. наук. Ухта, 2012. 427 с.

8. Степаненко Н. В., Алексеева Т. В., Губина Л. В. Применение метода анализа иерархий в выборе способа автоматизации компании // Прикладная информатика. 2018. Т. 13, № 6 (78). С. 5–14.

9. Гладков А. Н., Магомедов У. А. Исследование проблем принятия решений методом анализа иерархий // Применение современных информационных технологий в образовательном процессе: сб. ст. межвуз. науч.-практ. конф. Пермь, 2017. С. 252–257.

10. Степин Ю. П. Метод группового анализа иерархий для выбора вариантов разработки месторождений нефти и газа // Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И. М. Губкина. 2017. № 1 (286). С. 102–120.

11. Лаптев А. Г., Фарахов М. И., Минеев Н. Г. Основы расчета и модернизация тепломассообменных установок в нефтехимии: моногр. Казань: Изд-во КГЭУ, 2010. 574 с. ISBN 978-5-89873-256-1.

12. Латыпова В. А. О применении приближенных методов расчета в методе анализа иерархий // Интернет-журнал «Науковедение». 2017. Т. 9, № 6. С. 128–139.

13. Арнольд К., Стюарт М. Справочник по оборудованию для комплексной подготовки газа / под ред. В. Р. Котлера. М.: Премиум Инжиниринг, 2009. 602 с. ISBN 978-5-903363-17-9.

14. Прокопов А. В., Истомин В. А., Федулов Д. М. Степень извлечения и остаточное содержание углеводородов C_{5+В} в газе сепарации газоконденсатных месторождений // Нефтегазохимия. 2016. № 2. С. 64–70.

15. Идельчик И. Е. Аэродинамика технологических аппаратов. М.: Машиностроение, 1983. 351 с.

ОЖЕРЕЛЬЕВ Дмитрий Александрович, начальник отдела исследования технологических процессов Инженерно-технического центра ООО «Газпром добыча Ноябрьск», г. Ноябрьск.

ШАЛАЙ Виктор Владимирович, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Нефтегазовое дело, стандартизация и метрология», президент Омского государственного технического университета, 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

Адрес для переписки:

ojerelev.da@noyabrsk-dobycha.gazprom.ru

Для цитирования

Ожерельев Д. А., Шалай В. В. Выбор оптимальной конструкции сепаратора методом анализа иерархий // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2020. Т. 4, № 4. С. 75–81. DOI: 10.25206/2588-0373-2020-4-4-75-81.

Статья поступила в редакцию 17.09.2020 г.

© Д. А. Ожерельев, В. В. Шалай

CHOOSING OPTIMAL SEPARATOR DESIGN USING HIERARCHY ANALYSIS

D. A. Ozherelev¹, V. V. Shalay²

¹Engineering and Technical Center of LLC «Gazprom dobycha Noyabrsk»,
Russia, Noyabrsk, 40 let Pobedy St., 629806

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

The article describes the possibility of using the «Method of analysis of hierarchies» when choosing the type of separator. These calculation methods are used to determine the vector of priorities and alternatives according to specified criteria, as well as to assess the consistency of expert opinions. The task is set, alternative options and criteria for selecting a separator design are presented. A hierarchical structure is built for various designs of separators. The method of calculation for a variety of indicators that characterize the types of separation equipment is presented. Based on the results presented in accordance with the technical and economic indicators, the optimal design of the separator is determined.

Keywords: gas separator, hierarchy analysis method, comparison matrix, gas-liquid flow, apparatus productivity, gas pressure, separation process efficiency.

References

1. Saati T. L. Prinyatiye resheniy. Metod analiza iyerarkhiy [Decision Making. Hierarchies Analysis Method] / trans. from Engl. R. G. Vachnadze. Moscow, 1993. 314 p. ISBN 5-256-00443-3. (In Russ.).
2. Voronov E. M., Karpunin A. A. Algoritmy iyerarkhicheskoy optimizatsii v dvukhurovnevoy mnogokanal'noy zadache «upravleniye – regulirovaniye» [Algorithms of hierarchical optimization in two-level multichannel problem of control – regulation] // Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Inzhenernyye issledovaniya. RUDN Journal of Engineering Researches. 2009. No. 4. P. 55–67. (In Russ.).
3. Nikolayev N. A. Issledovaniye i raschet vysokoeffektivnykh apparatov vikhrevogo tipa [Research and calculation of highly efficient vortex-type apparatuses]. Kazan, 1974. 42 p. (In Russ.).
4. Lanchakov G. A., Kulkov A. N., Zibert G. K. Tekhnologicheskiye protsessy podgotovki prirodnogo gaza i metody rascheta oborudovaniya [Technological processes of natural gas preparation and methods of equipment calculation]. Moscow, 2000. 278 p. ISBN 5-8365-0047-9. (In Russ.).
5. Krestovnikov A. N., Vigdorovich V. N. Khimicheskaya termodinamika [Chemical thermodynamics]. 2nd ed. Moscow, 1973. 256 p. (In Russ.).
6. Buleyko V. M. Zakonomernosti fazovykh prevrashcheniy uglevodorodnykh smesey v neftegazonosnykh plastakh razrabatyvayemykh mestorozhdeniy: po eksperimental'nym dannym [Regularities of phase transformations of hydrocarbon mixtures in oil and gas bearing strata of developed fields: experimental data]. Moscow, 2007. 277 p. (In Russ.).
7. Nazarov A. V. Razvitiye metodov matematicheskogo modelirovaniya dlya proyektirovaniya i analiza razrabotki neftegazokondensatnykh mestorozhdeniy [Development of methods of mathematical modeling for design and analysis of the development of oil and gas condensate fields]. Ukhta, 2012. 427 p. (In Russ.).
8. Stepanenko N. V., Alekseeva T. V., Gubina L. V. Primeniye metoda analiza iyerarkhiy v vybore sposoba avtomatizatsii kompanii [Application of analysis of hierarchies in the choice of a method of automation of a company] // Prikladnaya informatika. Journal of Applied Informatics. 2018. Vol. 13, no. 6 (78). P. 5–14. (In Russ.).
9. Gladkov A. N., Magomedov U. A. Issledovaniye problem prinyatiya resheniy metodom analiza iyerarkhiy [The study of problems of decision making by the method of analyzing hierarchies] // Primeneniye sovremennykh informatsionnykh tekhnologiy v obrazovatel'nom protsesse. Primeneniye Sovremennykh Informatsionnykh Tekhnologiy v Obrazovatel'nom Protsesse. Perm, 2017. P. 252–257. (In Russ.).
10. Stepin Yu. P. Metod gruppovogo analiza iyerarkhiy dlya vybora variantov razrabotki mestorozhdeniy nefci i gaza [Analytic hierarchy process for group analysis to select options of oil and gas fields development] // Trudy Rossiyskogo gosudarstvennogo universiteta nefci i gaza im. I. M. Gubkina. Proceedings of Gubkin Russian State University of Oil and Gas. 2017. No. 1 (286). P. 102–120. (In Russ.).
11. Laptov A. G., Farakhov M. I., Mineyev N. G. Osnovy rascheta i modernizatsiya teplomassobmennykh ustanovok v neftekhimii [Fundamentals of calculation and modernization of heat and mass transfer installations in petrochemistry]. Kazan, 2010. 574 p. ISBN 978-5-89873-256-1. (In Russ.).
12. Latypova V. A. O primeneni priblizhennykh metodov rascheta v metode analiza iyerarkhiy [About using approximate calculating methods in the analytic hierarchy process] // Internet-zhurnal «Naukovedeniye». Internet-zhurnal «Naukovedeniye». 2017. Vol. 9, no. 6. P. 128–139. (In Russ.).
13. Arnold K., Stewart M. Spravochnik po oborudovaniyu dlya kompleksnoy podgotovki gaza [Handbook of equipment for complex gas preparation] / Ed. V. R. Kotler. Moscow, 2009. 602 p. ISBN 978-5-903363-17-9. (In Russ.).
14. Prokopov A. V., Istomin V. A., Fedulov D. M. Stepen' izvlecheniya i ostatochnoye sodержaniye uglevodorodov C_{5+B} v gaze separatsii gazokondensatnykh mestorozhdeniy [Extent of extraction and the residual content of C_{5+B} hydrocarbons in produced gas of gas-condensate fields] // Neftegazokhimiya. Oil & Gas Chemistry. 2016. No. 2. P. 64–70. (In Russ.).

15. Idelchik I. E. Aerodinamika tekhnologicheskikh apparatov [Aerodynamics of technological devices]. Moscow, 1983. 351 p. (In Russ.).

OZHERELEV Dmitry Alexandrovich, Head of Technological Processes Research Department, Engineering and Technical Center of LLC «Gazprom dobycha Noyabrsk», Noyabrsk.

SHALAY Viktor Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Transport, Oil and Gas Storage, Standardization and Certification Department, President of Omsk State Technical University, 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

Address for correspondence:

ojerelev.da@noyabrsk-dobycha.gazprom.ru

For citations

Ozherelev D. A., Shalay V. V. Choosing optimal separator design using hierarchy analysis // Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering. 2020. Vol. 4, no. 4. P. 75–81. DOI: 10.25206/2588-0373-2020-4-4-75-81.

Received September 17, 2020.

© D. A. Ozherelev, V. V. Shalay