

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

канд. техн. наук, доц. А.М. НИЯКОВСКИЙ¹⁾,

Н.В. СТРУЦКИЙ²⁾, С.В. КУХТА³⁾, В.А. ЗАФАТАЕВ⁴⁾

(^{1),3,4)} Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,

²⁾ Государственное предприятие «НИИ Белгипротопгаз», Минск)

¹⁾ ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5106-6278>, ⁴⁾ ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8058-2263>

²⁾ nickolasstrutsky@gmail.com

Рассмотрено применение обобщенных показателей для оценки функционирования региональных систем инженерной инфраструктуры, таких, как системы газоснабжения и газораспределения. Определена содержательная структура агрегированного показателя безопасности, устойчивости и энергоэффективности газоснабжения. На основе анализа применяемых математических способов трансформации, согласования и агрегирования данных, используемых при расчете показателей в системах оценивания, разработан математический аппарат для расчета агрегированного показателя уровня функционирования газоснабжающей организации.

Ключевые слова: газораспределительная система, газоснабжающая организация, показатели эффективности функционирования, энергоэффективность, эконометрика, статистический анализ, математическое моделирование, агрегированное оценивание, большие данные, кластерный анализ.

Введение. Газораспределительная система представляет собой сложный многоуровневый производственно-технологический комплекс, интегрирующий технические, экономические и социально-организационные компоненты. В её структуре взаимосвязаны процессы организационного управления, информационного, технического и технологического обеспечения, коммуникационного взаимодействия и финансово-экономического регулирования.

В силу указанной комплексности формирование объективной, научно обоснованной и верифицируемой оценки эффективности функционирования таких систем относится к числу наиболее сложных и актуальных задач современной технической науки. Её решение требует разработки специализированной методологии комплексного анализа, учитывающей разнородные факторы и критерии [1].

Эффективное управление газораспределительной системой возможно лишь при условии непрерывного мониторинга её текущего состояния и протекающих в ней процессов на основе верифицированной информации и её глубокого аналитического осмысливания. Этой теме и, в частности, вопросам формирования системы ключевых показателей эффективности (КПЕ) для газораспределительного предприятия, уделено значительное внимание в научно-технической литературе, например, в исследованиях¹ [1–8] и многих других. Мировым энергетическим советом (World Energy Council, WEC) и Агентством по охране окружающей среды и энергетики (Agence de la transition écologique, ADEME) была создана база данных ODYSSEE с целью контроля национального энергопотребления и внедрения лучших практик в сфере энергосбережения и повышения энергоэффективности². Однако, несмотря на значительное количество таких исследований, в настоящее время отсутствует общепринятая унифицированная методологическая основа для формирования интегрального индикатора, позволяющего производить оценку функционирования подобных систем³.

Общепринятым подходом к построению систем оценивания крупных производственных комплексов на современном этапе является построение агрегированного (обобщенного) показателя, развертка которого представляет собой многоуровневую иерархическую систему, в которой показатели вышестоящих уровней определяются через показатели нижестоящих уровней. Для обеспечения сопоставимости показателей, на каждом уровне производится их преобразование к единому виду и последующее взвешивание (ранжирование) [9]. К примеру, в структуре Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации для оценки работы централизованных систем горячего и холодного водоснабжения определяется агрегированный показатель надежности, качества, энергетической эффективности объектов централизованных систем горячего водоснабжения, холодного водоснабжения и (или) водоотведения⁴.

¹ Бочков, А. В. Методология обеспечения безопасности функционирования и устойчивости единой системы газоснабжения в чрезвычайных ситуациях: дис. ... д-ра техн. наук: 05.26.01 / Бочков Алексей Владимирович. – М., 2019. – 385 л.

² ODYSSEE Database. Key Indicators. – URL: <http://www.indicators.odysseemure.eu/online-indicators.html> (date of the application 12.11.2025).

³ См. сноску 1.

⁴ Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 4 апреля 2014 г. № 162/пр «Об утверждении перечня показателей надежности, качества, энергетической эффективности объектов централизованных систем

Методика расчета плановых и фактических показателей надежности и качества услуг по транспортировке газа по газораспределительным сетям утверждена Приказом Минэнерго России № 926 от 15.12.2014.⁵ В соответствии с ней при расчетах показателей используются следующие данные: о фактических значениях показателей надежности и качества услуг по транспортировке газа по газораспределительным сетям (не менее чем за 3 года); объем затрат, предусмотренных инвестиционными программами газораспределительных организаций и направленных на поддержание (повышение) надежности и качества услуг по транспортировке газа по газораспределительным сетям; природно-климатические и территориальные условия, технологические и технические характеристики газораспределительных сетей.

Мировым энергетическим советом (World Energy Council, WEC) и Агентством по охране окружающей среды и энергетики (Agence de la transition écologique, ADEME) была создана база данных ODYSSEE с целью контроля национального энергопотребления и внедрения лучших практик в сфере энергосбережения и повышения энергоэффективности⁶.

Это только отдельные, но характерные примеры использования метода агрегированного оценивания структурообразующих систем инженерно-технической инфраструктуры. Подобный подход может быть использован и для оценки функционирования региональной газораспределительной системы.

Цель данной работы: формирование основных подходов к разработке методики определения агрегированного показателя безопасности, устойчивости и энергоэффективности газоснабжения для региональной газоснабжающей организации (на примере УП «Брестоблгаз» ГПО «Белтопгаз»).

Объект исследования: системы газоснабжения, газоснабжающие организации.

Предмет исследования: эффективность функционирования систем газоснабжения в контексте деятельности газоснабжающих организаций.

Методы и методология: сравнительный анализ, теоретические исследования, математическое моделирование, эконометрический анализ, статистический анализ, численные методы.

Основная часть. С учетом специфики деятельности притай к анализу региональной газоснабжающей организации и на основании предварительного анализа предоставленных исходных данных, разрабатываемый агрегированный показатель должен быть представлен в виде иерархической структуры, включающей в себя несколько взаимно подчиненных уровней: *факторы* ← *критерии* ← *метрики* ← *оценочные элементы*. В представленной схеме факторы являются верхним, а оценочные элементы – нижним уровнями. Факторы определяются набором критерий. В свою очередь, критерии характеризуются одной или несколькими метриками. Если критерий представлен одной метрикой, то метрика выступает в роли критерия, и уровень метрик по такому критерию исключается. Метрики составляются из оценочных элементов (единичных показателей), определяющих заданное в метрике определенное свойство. Число оценочных элементов, входящих в метрику, может быть любым. Выбор оценочных элементов в метрике проводится методами кластерного анализа на основании исходных данных, представленных анализируемой организацией.

Число принимаемых в расчет факторов теоретически может быть любым. На данном этапе проводимых исследований можно предложить пять главных **факторов**, определяющих функционирование областного газового хозяйства:

- 1) структурная сложность;
- 2) безопасность;
- 3) устойчивость;
- 4) функциональность;
- 5) энергоэффективность.

Каждому фактору соответствует определенный набор критериев. В частности, фактор «Структурная сложность» может включать следующие **критерии**:

- бытовые потребители газа;
- бытовое газоиспользующее оборудование;
- промышленные и коммунальные потребители газа;
- трубопроводная сеть;
- узлы редуцирования газа;
- средства защиты от коррозии;
- инфраструктура СУГ.

горячего водоснабжения, холодного водоснабжения и (или) водоотведения, порядка и правил определения плановых значений и фактических значений таких показателей» / Информационно-правовой портал Гарант. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70606956/?ysclid=m3d1e8yi3d75980272> (дата обращения 12.11.2025).

⁵ Приказ Министерства энергетики РФ от 15 декабря 2014 г. № 926 «Об утверждении Методики расчета плановых и фактических показателей надежности и качества услуг по транспортировке газа по газораспределительным сетям» / Информационно-правовой портал Гарант. – URL: <https://base.garant.ru/70857632/?ysclid=mhxho97r4t979395054> (дата обращения 12.11.2025).

⁶ См. сноска 2.

В свою очередь, критерий «Бытовые потребители газа» формируется **метриками**, например:

- газифицированные квартиры в многоквартирных жилых домах;
- газифицированные квартиры в индивидуальных жилых домах.

В состав метрик «Газифицированные квартиры в многоквартирных жилых домах» и «Газифицированные квартиры в индивидуальных жилых домах» могут быть, например, включены следующие **оценочные элементы**:

- число потребителей, газифицированных природным газом;
- число потребителей, газифицированных сжиженным углеводородным газом (СУГ) от групповых емкостных установок;
- число потребителей, газифицированных СУГ от индивидуальных баллонных установок.

Таким образом, конечном итоге в фактор «Структурная сложность» войдут все объекты и элементы региональной системы газораспределения и газопотребления, взаимодействие с которыми и составляет содержание деятельности газоснабжающей организации: подача газа потребителям и техническое обслуживание объектов инфраструктуры.

Аналогичным образом производится кластеризация остальных выделенных факторов. Синтезированная в результате этого иерархическая структура агрегированного показателя функционирования региональной газораспределительной системы представлена на рисунке 1.

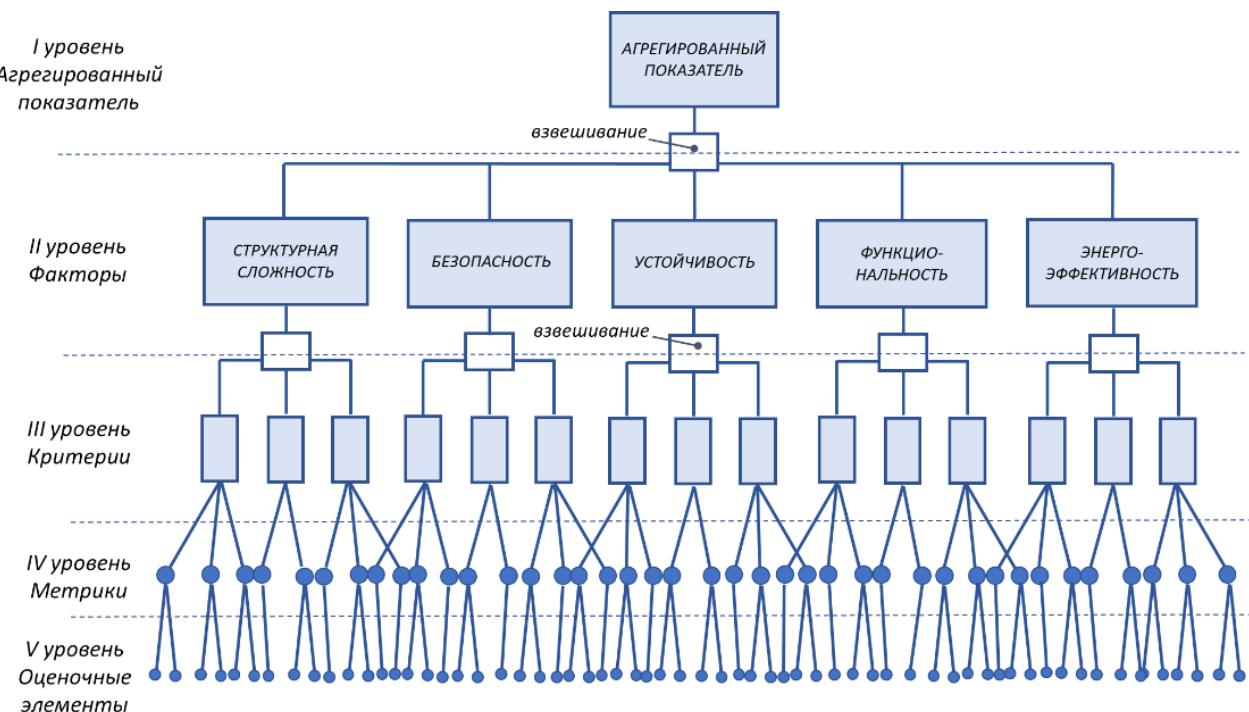


Рисунок 1. – Иерархическая структура агрегированного показателя функционирования региональной системы газоснабжения и газораспределения

Для численной оценки показателей на всех уровнях принимают единую нормализованную шкалу от нуля до единицы. Показатели на каждом вышестоящем уровне (кроме уровня оценочных элементов) определяются показателями нижестоящего уровня, то есть:

- результаты оценки каждого фактора определяются результатами оценки соответствующих ему критериев;
- результаты оценки каждого критерия определяются результатами оценки соответствующих ему метрик;
- результаты оценки каждой метрики определяются результатами оценки определяющих ее оценочных элементов.

В процессе оценивания на каждом уровне (кроме оценочных элементов) проводят вычисления показателей функционирования системы, т.е. определение количественных значений:

- абсолютных показателей (P_{ij}), где j – порядковый номер показателя данного уровня для i -го показателя вышестоящего уровня;
- относительных показателей (K_{ij}), являющихся функцией показателя P_{ij} и базового значения P_{ij}^{δ} существующего аналога или эталонного образца (эталона).

Каждый показатель подлежащего уровня может характеризоваться двумя числовыми параметрами – количественным значением и весовым коэффициентом (V_{ij}). Сумма весовых коэффициентов показателей уровня (l),

относящихся к i -му показателю вышестоящего уровня ($l-1$), есть величина постоянная. Сумма весовых коэффициентов V_{ij} принимается равной единице в соответствии с выражением:

$$\sum_{j=1}^n V_{ij} = \text{Const} = 1, \quad (1)$$

где n – число показателей уровня l , относящихся к i -му показателю вышестоящего уровня ($l-1$).

Общая оценка в целом формируется экспертами по набору полученных значений оценок факторов функционирования газораспределительной системы.

Для проведения *экспертного опроса* составляется таблица значений базовых показателей. Определение усредненной оценки m_{kq} , оценочного элемента по нескольким его значениям (m_s) проводят по формуле:

$$m_{kq} = \frac{\sum_{s=1}^t m_s}{t}, \quad (2)$$

где k – порядковый номер метрики;

q – порядковый номер оценочного элемента;

s – индекс суммирования;

t – число значений оценочного элемента.

Итоговую оценку k -й метрики j -го критерия P_{ij}^M проводят по формуле:

$$P_{jk}^M = \frac{\sum_{i=1}^Q m_{ki}}{Q}, \quad (3)$$

где M – признак метрики;

Q – число оценочных элементов в k -й метрике.

Абсолютный показатель критерия i -го фактора качества P_{ij} определяют по формуле:

$$P_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (P_{jk}^M \cdot V_{jk}^M)}{\sum_{k=1}^n V_{jk}^M}, \quad (4)$$

где n – число метрик, отнесенных к j -му критерию.

Относительный показатель j -го критерия i -го фактора K_{ij} вычисляют по формуле:

$$K_{ij} = \frac{P_{ij}}{P_{ij}^{\delta}}. \quad (5)$$

Значение фактора R_i^{ϕ} вычисляют по формуле:

$$R_i^{\phi} = \frac{\sum_{j=1}^N (K_{ij} \cdot V_{ij}^K)}{\sum_{j=1}^N V_{ij}^K}, \quad (6)$$

где ϕ – признак фактора;

N – число критериев качества, отнесенных к i -му фактору;

K – признак критерия.

Итоговый агрегированный показатель определяют путем сравнения полученных расчетных значений показателей с соответствующими базовыми значениями эталона.

Заключение. На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. В результате анализа литературных источников и полученных статистических данных о деятельности газоснабжающей региональной организации определена структура агрегированного показателя функционирования системы газоснабжения и газораспределения, отличающаяся от известных тем, что включает следующие взаимосвязанные компоненты: 1) *основные факторы*, 2) *набор критерииев*, описывающих каждый фактор; 3) *совокупность метрик*, составляющих каждый критерий, и 4) *оценочные элементы*.

2. На основании проведенных исследований установлены взаимосвязи показателей и предложена иерархическая структура агрегированного показателя для оценки уровня функционирования региональной системы газоснабжения и газораспределения, включающая следующие основные факторы: структурную сложность, безопасность, устойчивость, функциональность, энергоэффективность.

3. Предложены математический аппарат и методика экспертной оценки факторов, критериев, метрик и оценочных элементов, позволяющие произвести комплексную оценку функционирования региональной системы газоснабжения и газопотребления путем применения агрегированного показателя.

4. На основании полученной структуры агрегированного показателя разработаны электронные таблицы, позволяющие выполнить формирование метрик, группировку критериев и их расчет, группировку факторов и их вычисление. В перспективе, при условии создания единой статистически-отчетной электронной формы, агрегированная оценка может стать основой интеллектуальной системы поддержки принятия решений для технических специалистов и руководителей газовой отрасли, основанной на автоматизированном анализе больших данных.

ЛИТЕРАТУРА

- Струтский Н.В. О методологии комплексной оценки функционирования газораспределительной системы // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации [Электронный ресурс]: электрон. сб. ст. VI междунар. науч. конф., Новополоцк, 30–31 окт. 2024 г. / Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой; редкол.: Д.Н. Лазовский (председ.) и др. – Новополоцк: Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой, 2025. – С. 264–268. URL: <https://elib.psu.by/handle/123456789/47321>.
- Малая Э.М., Сергеев С.А. Устройство и эксплуатация технических систем. – Волгоград: Наука, 2018. – 345 с.
- Новиков П.Е. Математические методы оценки работоспособности газовой сети. – Белгород: Мысль, 2017. – 278 с.
- Савельев Е.Н. Основы прогнозирования работоспособности газовых сетей. – Псков: Свиязь, 2015. – 187 с.
- Харитонов Г.А., Борисов А.В. Методика обработки многократно усеченной информации об отказах газовых сетей // Современные технологии в теплоэнергетике: материалы Международной научно-практической конференции. – Орел, 2018. – С. 48–57.
- Романов А.И. Надежность и качество функционирования газовых сетей // Методология научных исследований объектов газоснабжения: материалы Международной научно-практической конференции. – Курск, 2017. – С. 89–98.
- Kabir G., Sadiq R., Tesfamariam S. A review of multi-criteria decision-making methods for infrastructure management // Structure and Infrastructure Engineering. – 2014. – № 10(9). – Р. 1176–1210.
- Костлиевцева Н.М., Езангина И.А. Ключевые показатели эффективности в системе мониторинга эффективности деятельности компании нефтегазовой отрасли // Гуманитарный научный вестник. – 2021. – № 5. – С. 167–174. URL: <http://naukavestnik.ru/doc/2021/05/Kostlivtseva.pdf>.
- Васильева Л.В. Анализ методических подходов к построению интегральных экономических показателей // Экономические исследования и разработки. – 2017. – № 12. – С. 8–18.

REFERENCES

- Strutskii, N. V. (2025). O metodologii kompleksnoi otsenki funktsionirovaniya gazoraspredelitel'noi sistemy [On the methodology of the comprehensive assessment of the functioning of the gas distribution system]. In D. N. Lazovskii (Eds.) *Arkhitekturno-stroitel'nyi kompleks: problemy, perspektivy, innovatsii: Elektronnyi sbornik statei VI mezhunarodnoi nauchnoi konferentsii, Novopolotsk, 30–31 oktyabrya 2024 g.* [Architectural and construction complex: problems, prospects, innovations: Electronic collection of articles of the VI International Scientific Conference, Novopolotsk, October 30–31, 2024] (264–268). Polotskii gosudarstvennyi universitet imeni Evfrosinii Polotskoii. (In Russ., abstr. in Engl.). URL: <https://elib.psu.by/handle/123456789/47321>.
- Malaya, E. M., & Sergeev, S. A. (2018). *Ustroistvo i ekspluatatsiya tekhnicheskikh sistem* [Design and operation of technical systems]. Volgograd: Nauka. (In Russ.).
- Novikov, P. E. (2017). *Matematicheskie metody otsenki rabotosposobnosti gazovoi seti* [Mathematical methods for assessing the serviceability of a gas network]. Belgorod: Mysl'. (In Russ.).
- Savel'ev, E. N. (2015). *Osnovy prognozirovaniia rabotosposobnosti gazovykh setei* [Fundamentals of predicting the serviceability of gas networks]. Pskov: Svitiaz'. (In Russ.).
- Kharitonov, G. A., & Borisov, A. V. (2018). Metodika obrabotki mnogokratno usechennoi informatsii ob otkazakh gazovykh setei [A method for processing multiply censored information about failures of gas networks]. In *Sovremennye tekhnologii v teploenergetike: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Modern technologies in thermal power engineering: Proceedings of the International scientific-practical conference] (48–57). Orel. (In Russ.).
- Romanov, A. I. (2017). Nadezhnost' i kachestvo funktsionirovaniia gazovykh setei [Reliability and quality of gas networks operation]. In *Metodologiya nauchnykh issledovanii ob "ektov gazonabzhenii": materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Methodology of scientific research of gas supply facilities: Proceedings of the International scientific-practical conference] (89–98). Kursk. (In Russ.).

7. Kabir, G., Sadiq, R., & Tesfamariam, S. (2014). A review of multi-criteria decision-making methods for infrastructure management. *Structure and Infrastructure Engineering*, 10(9), 1176–1210.
8. Kostlivtseva, N. M., & Ezangina, I. A. (2021). Kliuchevye pokazateli effektivnosti v sisteme monitoringa effektivnosti deiatel'nosti kompanii neftegazovoi otrassli [Key performance indicators in the performance monitoring system of an oil and gas company]. *Gumanitarnyi nauchnyi vestnik*, (5), 167–174. (In Russ., abstr. in Engl.). URL: <http://naukavestnik.ru/doc/2021/05/Kostlivtseva.pdf>.
9. Vasil'eva, L. V. (2017). Analiz metodicheskikh podkhodov k postroeniiu integral'nykh ekonomicheskikh pokazatelei [Analysis of methodological approaches to constructing integrated economic indicators]. *Ekonomicheskie issledovaniia i razrabotki*, (12), 8–18. (In Russ.).

Поступила 11.12.2025

INTEGRATED ASSESSMENT OF THE GAS DISTRIBUTION SYSTEM PERFORMANCE QUALITY

A. NIYAKOVSKII¹⁾, N. STRUTSKY²⁾, S. KUKHTA³⁾, V. ZAFATAYEU⁴⁾

(^{1),3),4)} *Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk*,

²⁾ *State Enterprise NII Belgiprotogaz, Minsk*)

This paper examines the application of generalized indicators for assessing the performance of regional engineering infrastructure systems, such as gas supply and distribution systems. The substantive structure of an aggregated indicator for the safety, resilience, and energy efficiency of gas supply is defined. Based on an analysis of mathematical methods used for data transformation, harmonization, and aggregation in indicator calculation for evaluation systems, a mathematical framework for calculating an aggregated indicator of the performance quality for a gas supply organization has been developed.

Keywords: *gas distribution system, gas supply organization, performance indicators, energy efficiency, econometrics, statistical analysis, mathematical modeling, aggregated assessment, big data, cluster analysis.*