

УДК 622.691.4:62-192:004.6

## АГРЕГИРОВАННЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ, УСТОЙЧИВОСТИ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

**А.М. Нияковский<sup>1)</sup>, Н.В. Струцкий<sup>2)</sup>, С.В. Кухта<sup>3)</sup>, В.А. Зафатаев<sup>4)</sup>**

<sup>1), 3), 4)</sup> Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, г. Новополоцк, Республика Беларусь

<sup>2)</sup> Государственное предприятие «НИИ Белгипротопгаз», г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: nickolasstrutsky@gmail.com

*Разработан обобщенный показатель для оценки функционирования региональных систем газоснабжения и газораспределения, предложен 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.

## AGGREGATED INDICATOR FOR COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF SAFETY, SUSTAINABILITY, AND ENERGY EFFICIENCY IN GAS DISTRIBUTION

**A. Niyakovskii<sup>1)</sup>, N. Strutsky<sup>2)</sup>, S. Kukhta<sup>3)</sup>, V. Zafataeu<sup>4)</sup>**

<sup>1), 3), 4)</sup> Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Novopolotsk, Republic of Belarus

<sup>2)</sup> State Enterprise NII Belgiprotogaz, Minsk, Republic of Belarus  
e-mail: nickolasstrutsky@gmail.com

*A generalized indicator for evaluating the performance of regional gas supply and distribution systems has been developed. The study proposes a mathematical framework for calculating an aggregated performance level index for a gas supply organization. This approach allows for a comprehensive assessment of operational efficiency by integrating safety, reliability, and energy-saving metrics into a unified computational mode.*

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

**Введение.** Вопросам формирования системы ключевых показателей эффективности (КПИ) для газораспределительного предприятия, уделено значительное внимание в научно-технической литературе, например, в исследованиях [1–8] и многих других. Современный подход к оценке крупных производственных комплексов базируется на формировании агрегированного показателя. Его структура представляет собой многоуровневую иерархию, где значения верхних уровней последовательно рассчитываются на основе данных нижних. Чтобы обеспечить сопоставимость, показатели на каждом этапе нормируются (приводятся к единому виду) и ранжируются по степени значимости [9].

**Основная часть.** Учитывая специфику региональной газоснабжающей организации, структуру агрегированного показателя целесообразно представить в виде четырехступенчатой иерархии: «факторы – критерии – метрики – оценочные элементы». В такой модели факторы (верхний уровень) декомпозируются на критерии, которые, в свою очередь, конкретизи-

зируются через метрики. При наличии единственной метрики она приравнивается к критерию. Нижний уровень формируется из оценочных элементов (единичных показателей), отбор которых в состав метрик осуществляется методами кластерного анализа на основе данных предприятия.

Несмотря на то, что количество расчетных факторов теоретически не ограничено, на текущем этапе исследований выделены **пять ключевых доминант**, определяющих функционирование областного газового хозяйства: **структурная сложность, безопасность, устойчивость, функциональность и энергоэффективность**.

Каждый фактор раскрывается через систему критериев. Так, фактор «Структурная сложность» декомпозируется на следующие составляющие:

- бытовые потребители газа и газоиспользующее оборудование;
- промышленные и коммунально-бытовые потребители;
- газораспределительная сеть и узлы редуцирования газа;
- средства электрохимической защиты от коррозии;
- инфраструктура сжиженного углеводородного газа (СУГ).

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.

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  $P_{ij}^{\delta}$  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 ( $m_{\varepsilon}$ ) проводят по формуле:

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

где  $k$  – порядковый номер метрики;  
 $q$  – порядковый номер оценочного элемента;  
 $\varepsilon$  – 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  $R_i^\phi$  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  $\phi$  – 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.** Предложена иерархическая структура и соответствующий ей математический аппарат для расчета агрегированного показателя оценки уровня функционирования региональной системы газоснабжения и газораспределения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Струцкий Н.В. О методологии комплексной оценки функционирования газораспределительной системы // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации [Электронный ресурс]: электрон. сб. ст. VI междунар. науч. конф., Новополюцк, 30–31 окт. 2024 г. / Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой; редкол.: Д.Н. Лазовский (председ.) и др. – Новополюцк: Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой, 2025. – С. 264–268. URL: <https://elib.psu.by/handle/123456789/47321>.
2. Малая Э.М., Сергеев С.А. Устройство и эксплуатация технических систем. – Волгоград: Наука, 2018. – 345 с.
3. Новиков П.Е. Математические методы оценки работоспособности газовой сети. – Белгород: Мысль, 2017. – 278 с.
4. Савельев Е.Н. Основы прогнозирования работоспособности газовых сетей. – Псков: Святязь, 2015. – 187 с.
5. 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.
6. Романов А.И. Надежность и качество функционирования газовых сетей // Методология научных исследований объектов газоснабжения: материалы Международной научно-практической конференции. – Курск, 2017. – С. 89–98.
7. Kabir G., Sadiq R., Tesfamariam S. A review of multi-criteria decision-making methods for infrastructure management // Structure and Infrastructure Engineering. – 2014. – № 10(9). – P. 1176–1210.
8. Костливцева 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>.
9. Васильева Л.В. Анализ методических подходов к построению интегральных экономических показателей // Экономические исследования и разработки. – 2017. – № 12. – С. 8–18.