

ников, могут в случае изменения показателя степени в них с 0,5 на 0,27 использоваться для расчета переменных режимов работы пластинчатых водоподогревателей в СГВ.

2. Установлено, что значение показателя степени m в уравнении (2) равно 0,27 удовлетворяет рабочему диапазону тепловых мощностей и расходов теплоносителей, используемых в СГВ.

Литература

1. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учеб. для вузов по спец. «Пром. Теплоэнергетика» / Е. Я. Соколов. – 5-е изд., перераб. – М.: Энергоиздат, 1982. – 360 с.

2. Теплоснабжение: Учебник для вузов / А. А. Ионин, Б. М. Хлыбов, В. Н. Братенков, Е. Н. Терлецкая; Под ред. А. А. Ионина. – М.: Стройиздат, 1982. – 336 с.

3. Новый подход к обоснованию закона изменения расхода греющей воды при местном количественном регулировании теплового потока на горячее водоснабжение в закрытых водяных системах централизованного теплоснабжения – Режим доступа: <https://pandia.ru/text/81/130/33398.php> – Дата доступа: 31.03.2024.

4. Программы подбора оборудования ООО «Производственная компания Теплосила». – Режим доступа: <https://teplo-sila.com/programmy-podbora-oborudovaniya>. – Дата доступа: 31.03.2024.

УДК 66.042.945: 519.246.8

Организационно-логистический фактор и оценочное прогнозирование объемов обследования стальных подземных газопроводов

Струцкий Н. В.¹, Романюк В. Н.²

¹ГПО «Белтопгаз»

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

На основе методов и инструментария анализа временных рядов выполнено прогнозирование объемов работ по приборному обследованию стальных подземных газопроводов. Научная новизна исследования состоит в выявлении и включении в прогностическую модель комплексного организационно-логистического фактора, отражающего влияние сложившихся в газораспределительной отрасли республики производственных практик и управленческих подходов к осуществлению технического обслуживания.

В соответствии с [1, с. 54], техническому приборному обследованию (или, по устоявшейся отраслевой терминологии – комплексному приборному обследованию, КПО) подвергаются все без исключения стальные подземные распределительные газопроводы. Данный вид эксплуатационного контроля включает в себя выявление дефектов изоляционного покрытия и утечек газа бесконтактным способом. Объемы данных работ составляют по республике в целом несколько тысяч километров ежегодно, в связи с чем их планирование представляет собой актуальную задачу и с технической, и с хозяйственно-экономической точек зрения.

В настоящее время планирование данных работ осуществляется традиционным методом, на основании текущих потребностей производства, то есть, по сути, путем аккумуляирования заявок от эксплуатационных служб, которые, в свою очередь, опираются на разрабатываемые на местах годовые графики технического обследования. Такой подход вполне результативен на оперативном уровне планирования, однако не может быть удовлетворительно масштабирован на тактический и, тем более, стратегический уровень, где горизонт планирования значительно превышает годовой период.

Для возможности долгосрочного планирования приборного обследования необходим научно обоснованный прогноз объемов работ и соответствующая методика прогнозирования. Очевидно, что прогноз объемов работ по техническому обследованию газопроводов в первую очередь должен исходить из общей протяженности трубопроводной сети и нормативных требований, выдвигаемых к объемам и срокам проведения работ.

Согласно [1, с. 54; 2, с. 4] периодичность технического обследования, как правило, составляет 5 лет. Отдельные характерные участки (в частности, переходы через естественные и искусственные преграды) обследуются чаще – 1 раз в 3 года, или ежегодно. Учитывая преобладающую периодичность работ, выбираем горизонт планирования и, соответственно, период упреждения прогноза продолжительностью 5 лет.

Минимально необходимый исходя из нормативных требований, или регламентируемый объем работ $Q_{\text{регл}}$ за определенный период времени может быть определен по формуле;

$$Q_{\text{регл}} = \sum_{i=1}^n Q_i, \quad (1)$$

где Q_i – объемы работ на участках с i -ой периодичностью обследования ($T_{\text{КПО}i}$); n – количество регламентируемых периодичностей обследования.

Таким образом, $Q_{\text{регл}}$ для каждого пятилетнего периода можно укрупненно рассчитать по протяженности стальных газопроводов в предыдущий период: например, регламентируемые объемы работ для периода 2009-

2013 гг. рассчитываются по протяженности газопроводов в 2004–2008 гг., для периода 2014–2018 гг. – в 2009–2013 гг., и так далее. Соответственно, известная протяженность газопроводов в период 2019–2023 гг. составит базу планирования на пятилетний цикл 2024–2028 гг.

Однако, практический опыт показывает, что значений $Q_{\text{регл}}$ недостаточно для адекватного планирования работ, и для обеспечения необходимого качества планировочного процесса необходим учет дополнительных влияющих факторов.

Проанализируем динамику реальных объемов обследования подземных газопроводов за период 2009–2023 гг. (рис. 1). Рассчитанные значения $Q_{\text{регл}}$ показаны на рисунке зеленой точечной линией, красной точечной линией показаны фактические объемы работ $Q_{\text{факт}}$.

Как видно, на всем протяжении времени фактические объемы существенно превышают регламентируемые. Действительно, некоторая часть газопроводов в течение года может обследоваться повторно (при появлении сомнений в результатах планового обследования, проведении выборочного контроля и т. д.), а, главное, значительная часть объектов включаются в графики обследования досрочно, из соображений равномерного распределения трудозатрат, материальных ресурсов, лучшей логистики.

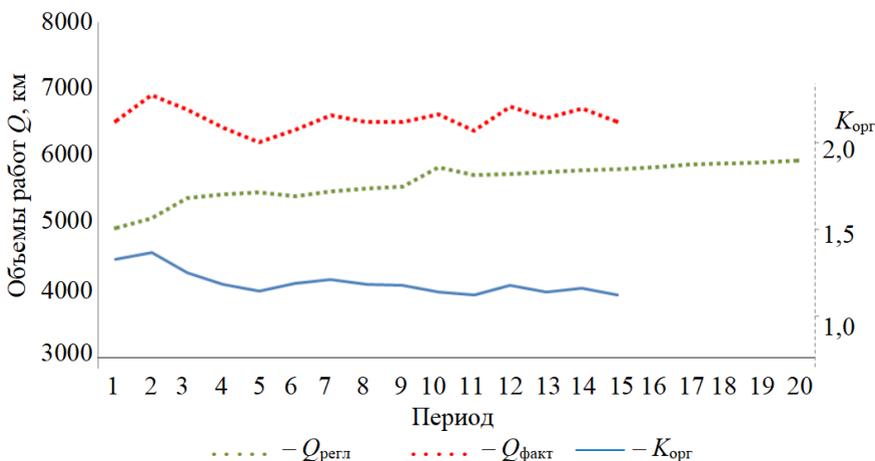


Рис. 1. Динамика регламентируемых и фактических объемов обследования подземных газопроводов

Такая локальная оптимизация потока работ на местах соответствует производственной логике и носит постоянный характер, в силу чего реальная плотность обследования всегда несколько выше по отношению к нор-

мативным требованиям. В настоящее время этот подход нашел свое нормативное отражение: так, согласно [2, с. 8] при планировании рекомендуется предусматривать укрупненное (по кварталам, микрорайонам) обследование всех подземных газопроводов независимо от срока врезки или предыдущего обследования, а также участка, объединяющего одну или несколько зон электрозащиты.

Поскольку превышение фактических объемов работ над регламентированными очевидно имеет системный характер, который должен особенно проявляться при обслуживании протяженных и территориально разнесенных трубопроводных систем, его можно выразить в виде соответствующего показателя (коэффициента) $K_{\text{орг}}$ [3, с. 140]:

$$K_{\text{орг}} = \frac{Q_{\text{факт}}}{Q_{\text{регл}}}. \quad (2)$$

Данный показатель (сплошная синяя линия на рис.1, шкала значений справа) будет отражать влияние на фактические объемы работ организационно-логистического фактора, включающий в себя естественную избыточность планирования и внеплановую составляющую. На величину и динамику $K_{\text{орг}}$ будут влиять установившаяся практика производственной деятельности и сложившиеся управленческие подходы в той или иной эксплуатирующей организации, системе, отрасли.

Так, например, централизация работ по приборному обследованию и укрупнение соответствующих подразделений (бригад) повлечет за собой увеличение зон обслуживания, что на каком-то этапе повысит плотность обследования. Подобное же влияние будет оказывать техническое переоснащение персонала новой, более производительной приборной техникой. При этом эффекты импульсов от структурных перестроек и технических новшеств должны иметь волнообразный, затухающий со временем характер, где продолжительность периода воздействия импульса будет определяться общей инерционностью системы.

Рассмотрим динамику $K_{\text{орг}}$ подробнее. Воспользуемся в этих целях методами и инструментарием анализа временных рядов, получившими в настоящее время широкое распространение в различных отраслях науки и производства. Согласно определению ГОСТ Р ИСО/ТО 10017-2005 [4, с. 17], анализ временных рядов – это семейство методов для изучения совокупности наблюдений, сделанных последовательно во времени.

Анализ предполагает решение следующих задач:

- выявление основной тенденции (кривой роста) ряда;
- обнаружение запаздывания типичных фрагментов графика при статистическом исследовании коррелированности каждого наблюдения с

предыдущим наблюдением для каждого следующего один за другим периода запаздывания;

- выявление циклических (сезонных) фрагментов графика;
- прогнозирование будущих наблюдений [4, с.17].

При этом прогноз основывается на методе экстраполяции, то есть предположении, что выявленная тенденция развития объекта сохранится на протяжении прогнозируемого периода.

Итак, на этапе спецификации, исходя из оценки параметров качества аппроксимации и проверки на адекватность прогнозируемому процессу, выбрана логарифмическая модель кривой роста с уравнением [3, с. 145]:

$$y = 0,08\ln(t) + 1,34. \quad (3)$$

Анализ выборочной автокорреляционной функции позволил выявить существование циклической составляющей, коррелограмма временного ряда представлена на рис. 2. Статистически значимы оказались коэффициенты автокорреляции r_1 , r_5 и r_6 , предварительное сравнение качества моделей показало предпочтительный лаг цикла $l = 6$.

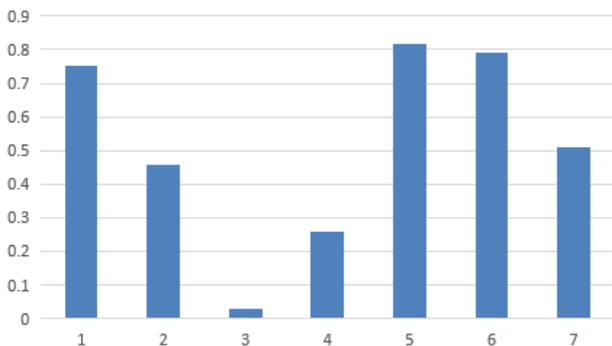


Рис. 2. Коррелограмма временного ряда показателя $K_{орг}$

Таким образом, поскольку на общую точность модели будет влиять не только точность основной тенденции, но и точность моделирования циклических колебаний, а также учитывая примерно постоянную амплитуду колебаний ряда в наблюдаемый период, как наиболее адекватная изучаемому процессу выбрана аддитивная модель вида:

$$y_t = u_t + c_t + \varepsilon_t, \quad (4)$$

где u_t – тренд, или основная тенденция; c_t – циклическая компонента (периодические колебания); ε_t – случайная компонента (остаток).

Точностные характеристики полученной модели: остаточное среднеквадратичное отклонение $\hat{\sigma} = 0,0223$; коэффициент детерминации $R^2 = 0,91$; средняя абсолютная ошибка аппроксимации $\bar{A} = 1,38 \%$, средняя относительная ошибка $\bar{A}_{ск} = 1,88 \%$. Проведены проверки статистической значимости модели по критерию Фишера ($F = 130,59$), нормальности распределения остатков с помощью RS-критерия ($RS = 3,551$), на автокорреляцию и гомоскедастичность остатков с помощью статистик Дарбина-Уотсона ($DW = 2,112$) и коэффициента ранговой корреляции Спирмэна $\hat{\rho} = -0,507$, соответственно.

Полученные значения точностных характеристик и проверочных критериев, и коэффициентов свидетельствуют о высоком качестве итоговой тренд-циклической модели, что позволяет использовать ее для расчета значений показателя на интересующий нас период (рис. 3).

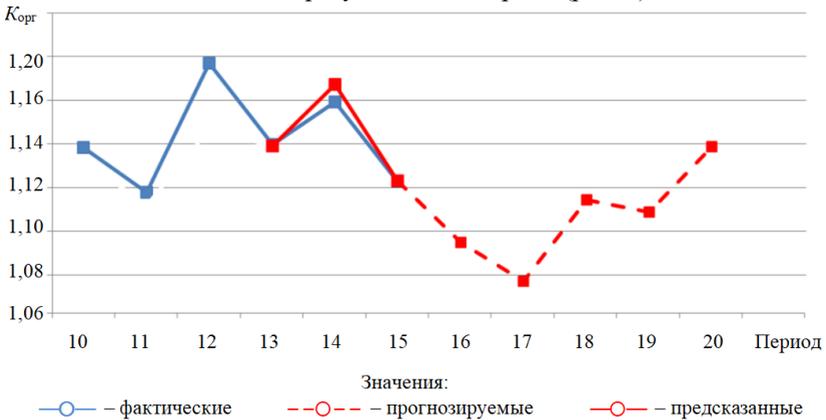


Рис. 3. Точечный прогноз динамики изменения показателя $K_{орг}$

Точное совпадение фактических и прогнозных значений на практике маловероятно, поэтому прогнозирование будущих значений временных рядов обычно осуществляется в интервальном виде, с заданными верхними и нижними пределами. Для целей оценочного прогнозирования используем доверительный интервал вида $\hat{y} \pm \hat{\sigma}$.

Далее, используя (1), можно спрогнозировать фактические значения объемов работ:

$$\hat{Q}_{\text{факт}} = \hat{K}_{\text{орг}} \cdot Q_{\text{регл}} \quad (5)$$

Полученные таким образом прогнозные объемы работ по техническому обследованию стальных подземных распределительных газопроводов в целом по отрасли на пятилетний цикл 2024–2028 гг. приведены в табл.

Таким образом, в результате исследования выявлено влияние организационно-логистического фактора на формирование фактических объемов работ по приборному обследованию стальных подземных распределительных газопроводов, построена аддитивная тренд-циклическая модель динамики показателя $K_{\text{орг}}$.

Таблица

Прогноз объемов приборного обследования газопроводов, км

Год	$\hat{Q}_{\text{факт}}$	Нижняя граница доверительного интервала	Верхняя граница доверительного интервала
2024	6372,5	6230,4	6514,6
2025	6309,4	6168,7	6450,1
2026	6552,9	6406,9	6699,0
2027	6538,7	6392,9	6684,5
2028	6738,4	6588,1	6888,7
Всего:	32511,9	31787,0	33236,9

Разработан алгоритм среднесрочного прогнозирования объемов технического обслуживания подземных газопроводов, получены научно обоснованные прогнозные значения для обеспечения рационального планирования объема работ по ключевому виду эксплуатационного контроля объектов газораспределительной сети республики.

Литература

1. Правила обеспечения промышленной безопасности в области газоснабжения Республики Беларусь. – Минск: ГИПК «ГАЗ-ИНСТИТУТ», 2023. – 185 с.
2. СТП 03.05-2014. Система технического обслуживания и ремонта систем газоснабжения. Периодическое приборное техническое обследование стальных подземных газопроводов. – Минск: УП «НОТ», 2014. – 17 с.
3. Струцкий, Н.В. Оценка объемов работ по эксплуатационному контролю стальных подземных газопроводов с учетом организационно-

логистического фактора / Н. В. Струцкий, В. Н. Романюк // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2024. – № 67 (2). – С.137–151.

4. ГОСТ Р ИСО/ТО 10017-2005. Статистические методы. Руководство по применению в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001. – М.: Стандартинформ, 2005. – 19 с.

УДК 66.042.945: 620.197.5

Организация электрохимической защиты распределительных газопроводов в Республике Беларусь

Струцкий Н.В.¹, Романюк В.Н.²

¹ГПО «Белтопгаз»

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В статье раскрыт опыт организации электрохимической защиты стальных подземных газопроводов в газоснабжающих организациях ГПО «Белтопгаз».

По состоянию на 01.01.2024, общая протяженность наружных распределительных газопроводов, находящихся на балансе ГПО «Белтопгаз», составляет около 67,5 тыс. км. Протяженность стальных газопроводов составляет 30,0 тыс. км, 28,2 тыс. км из них проложено подземно (рис. 1).

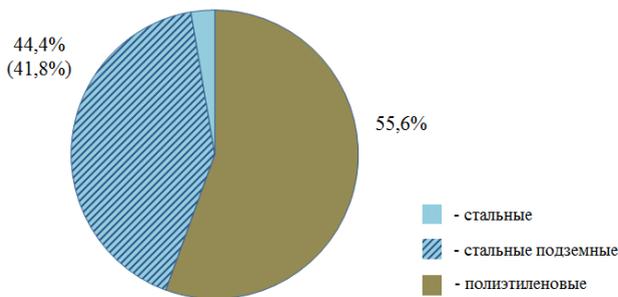


Рис. 1. Место стальных подземных газопроводов в структуре газораспределительной сети республики

Стальные подземные газопроводы занимают значительную долю в общей протяженности распределительных газопроводов, играя важную роль в обеспечении стабильного функционирования газораспределительной