ISSN 1992-4658

№4
(150)
АВГУСТ
2024

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ✦ www.energija.ru

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ВОДОПОДГОТОВКА



Выбор оптимальной схемы газовой сети среднего давления для сельского населенного пункта

Юдаев И. В., Демченко М. С., Токарева А. Н., Грачева Н. Н.

(ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»

Азово-Черноморский инженерный институт-филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»)

с. 21

О тенденциях развития конструкций паровых и водогрейных котлов для малой энергетики

Ведрученко В. Р., Финиченко А. Ю., Глухова М. В., Глухов С. В., Лазарев Е. С.

ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения»

с. 48

Журнал зарегистрирован Государственным Комитетом Российской Федерации по печати. Свидетельство № 016042 от 30 апреля 1997 г. Свидетельство о перерегистрации ПИ № ФС77-84706 от 06 февраля 2023 г.

Учредитель:
ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ

Журнал издается на средства учредителя

Подписной индекс
42815 – «Урал-Пресс»

Контактные данные редакции:
Телефон: +7 (988) 242-63-30,
8(861) 221-58-54
Адрес: 350044, г. Краснодар,
ул. им. Калинина, 13
E-mail: mem462@yandex.ru
Сайт: www.energija.ru

Выпуск 4 (150), 2024. 12+
Подписано в печать: 05.12.2024
Дата выхода в свет: 20.12.2024
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Формат 60x84 1/8.
Тираж 200 экз. Заказ – 80 экз.

Отпечатано в типографии
ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ
350044, г. Краснодар,
ул. им. Калинина, 13

Свободная цена

ISSN 1992-4658

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
Издается с 1997 года

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ВОДОПОДГОТОВКА

№ 4 (150) 2024, Август

С О Д Е Р Ж А Н И Е

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ 4
Сухих А. А., Мельникова А. Г.,Филеев А. С., Иванова А. С. Анализ термодинамической эффективности турбинного контура малых атомных электростанций на базе ГТУ закрытого типа 4
Финиченко А. Ю., Полозкова А. П., Гусаров А. С. Автоматизация оборудования альтернативной энергетики в развитии энергосберегающих технологий 14
ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, РАСЧЕТЫ 21
Юдаев И. В., Демченко М. С., Токарева А. Н., Грачева Н. Н. Выбор оптимальной схемы газовой сети среднего давления для сельского населенного пункта 21
Верхоланцев А. А., Войтюк Т. Е., Хлыновский А. М., Киани Э. Разработка системы повышения надежности при эксплуатации энергетического оборудования на базе волоконно-оптических датчиков температуры 29
Понурко И. В., Крылова С. А., Лимарев А. С., Мезин И. Ю. Исследование свойств модифицированной фосфатной композиции для коррекционной обработки подпиточной воды в централизованных системах теплоснабжения 34
Звончевский А. Г., Такташев Р. Н., Богданов А. Л., Егоров А. Ю., Трушаков Р. В. Результаты исследования физико-химических параметров проведения химических очисток теплообменных поверхностей конденсаторов прямоточной электростанции 40
НОВОСТИ, ПРОБЛЕМЫ, МНЕНИЯ 48
Ведрученко В. Р., Финиченко А. Ю., Глухова М. В., Глухов С. В., Лазарев Е. С. О тенденциях развития конструкций паровых и водогрейных котлов для малой энергетики 48
Ведрученко В. Р., Бурилова М. Ю., Гаак В. К. О повышении надежности системы теплоснабжения города 54
Еремин Д. К., Федюхин А. В., Трушаков Р. В. О снабжении малых потребителей крайнего севера 59
Медяков А. А., Осташенков А. П., Сидорова В. Т. Оценка безотказности сетевых фотоэлектрических систем с оптимизаторами мощности 64
Соболь А. Н., Синицын А. В., Федорец А. В. Проблемы эксплуатации автономных асинхронных генераторов ветроэлектрических установок 70
К ЧИТАТЕЛЯМ И АВТОРАМ 75

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ ГАЗОВОЙ СЕТИ СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО НАСЕЛЕННОГО ПУНКТА

И. В. ЮДАЕВ[1], д.т.н., профессор
М. С. ДЕМЧЕНКО[2], к.т.н., доцент
А. Н. ТОКАРЕВА[2], к.т.н., доцент
Н. Н. ГРАЧЕВА[2,3], к.т.н., доцент

[1]***ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»**, 350044, Россия, г. Краснодар, ул. Калинина, 13*
[2]***Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ,** 347740, Россия, г. Зерноград, ул. Ленина, 21*
[3]***Донской государственный технический университет,** 344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1*

***Аннотация.** Развивающая газификация сельских территорий требует разработки эффективных схем газораспределительных сетей. Рассмотрено три метода построения газораспределительной сети для сельского населенного пункта. Для представленных схем проведен многофакторный машинный эксперимент по определению потерь давления на участках газопровода среднего давления. Определены диаметры газопроводов, при использовании которых получаются наименьшие потери давления газа в сети. Для всех схем проведен расчет материальных характеристик и сметной стоимости, на основе которого определена наиболее эффективная схема газовой сети.*

***Ключевые слова**: газовая сеть, схема, метод, диаметр, потери давления*

Введение. Распоряжением правительства РФ от 30 апреля 2021 №1152 «Об утверждении плана мероприятий по внедрению социально-ориентированной и экономически-эффективной системы газификации и газоснабжения субъектов РФ (с изменениями и дополнениями)» предложен план мероприятий по внедрению экономически эффективной системы газификации и газоснабжения субъектов страны. Одним из ключевых моментом в предлагаемой «дорожной карте» является именно экономически эффективная система газоснабжения. Эффективность системы достигается, прежде всего, за счет разработки и внедрения оптимальной схемы газораспределительной сети. Под оптимальной схемой понимается схема, при использовании которой обеспечиваются нормативные требования к транспортировке и распределению энергоносителя при наименьших экономических затратах.

Газификация сельских территорий способствует улучшению не только бытовых условий жизни селян, но и созданию развитой инфраструктуры. Газоснабжение населённых пунктов в сельской местности позволяет решить часть проблем в экономической и социальной сфере, а также сделать первые шаги к решению экологических вопросов в области неравномерного расселения [1].

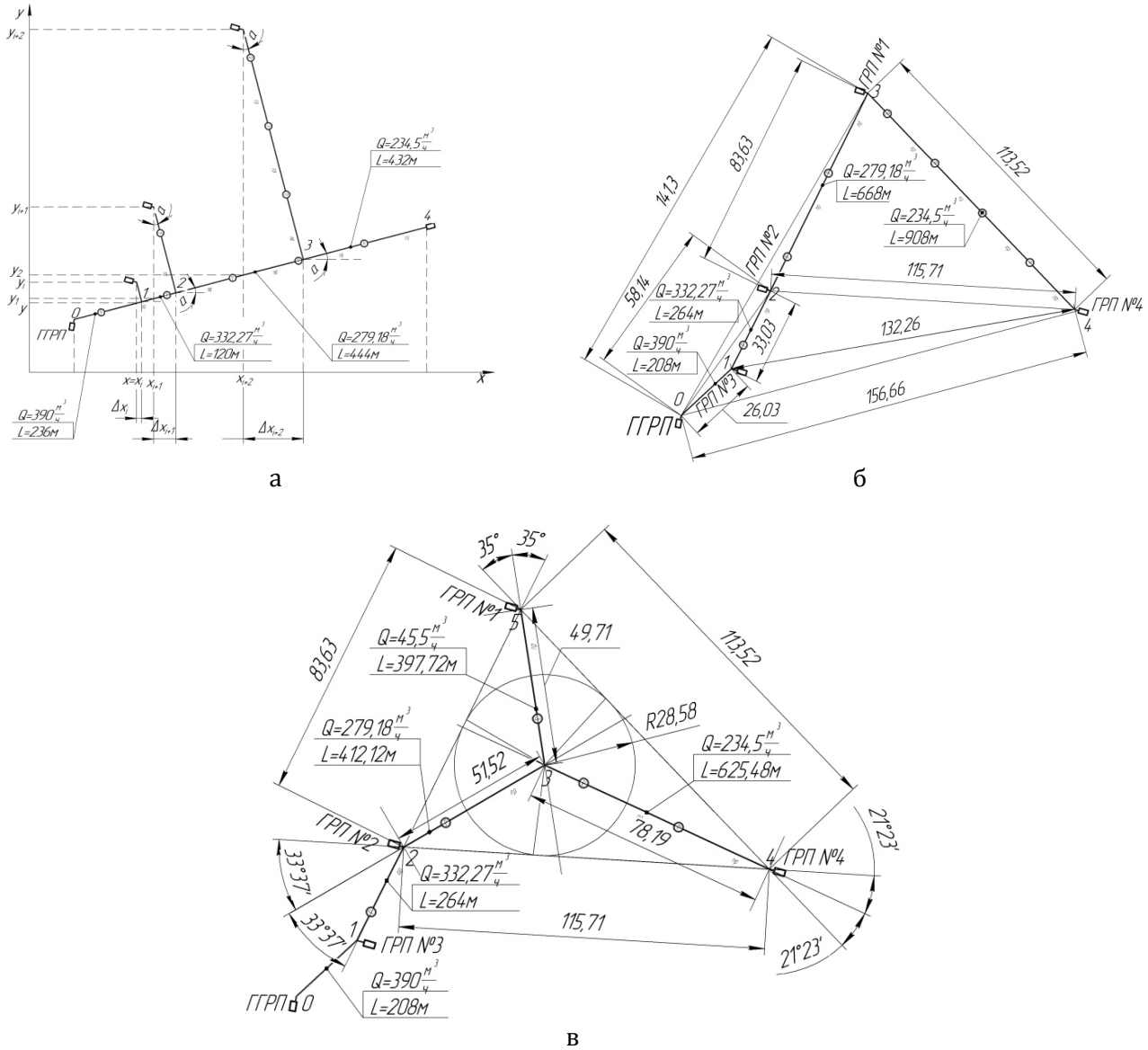
Для оценки и повышения эффективности газораспределительной сети разработаны такие методы как: уменьшение количества шкафных газорегуляторных пунктов с установкой домовых регуляторов давления у потребителя [2], использование многоступенчатых систем [1, 3]. При этом следует отметить, что вопросы разработки оптимальных схем газовых сетей для сельских населенных пунктов изучены довольно слабо. Это связано, прежде всего, со значительной протяженностью газопроводов из-за низкой плотности населения. Однако набирающая обороты компания по газификации сельских территорий в соответствии с постановлением Правительства РФ от 16.04.2024 N 484 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» требует решения многих вопросов по внедрению эффективных газораспределительных сетей.

Материалы и методы. Рассмотрены варианты схем газораспределительной сети среднего давления для сельского пункта с населением 1760 человек. Проектом предусматривается двухступенчатая система газоснабжения. На окраине поселка устанавливается головной газораспределительный пункт (ГГРП) с пропускной способностью 700 м^3/ч. К ГГРП от магистрального газопровода подводится газ высокого давления 0,6 МПа. В головном газораспределительном пункте происходит понижение давле-

ние газа до 0,35 МПа. В начале центральных улиц планируется установить 4 шкафных газораспределительных пункта (ГРПШ). ГРПШ предназначены для понижения давления со среднего значения 0,3 МПа до низкого давления 2-5 кПа.

Оптимизация газораспределительной системы происходит в два этапа. На первом этапе проводятся разработки при помощи графических методов, а затем, после определения рациональной схемы газовой сети, переходят к расчету экономических показателей.

Для трассировки газовой сети были использованы три графических метода. Это метод наименьших квадратов [4], метод Прима [5] и метод Штейнера [5]. Построение схем газораспределительной сети среднего давления с использованием указанных методов приведено на рисунке 1.



а б

в

Рис. 1. Трассировка газораспределительной сети среднего давления
а – метод наименьших квадратов; б–метод Прима; в –метод Штейнера

Как видно из рисунка 1, получились различные схемы с протяженностью газопроводов от 1907 м при построении методом Штейнера до 2488 м по схеме, выполненной по методу наименьших квадратов. Так как материальная характеристика сети определяется не только длиной, то и диаметром газопровода, то по традиционной методике [6] был проведен гидравлический расчет газопроводов. В результате данного расчета было установлено, что рекомендуемый диаметр газопровода на каждом участке изменяется в широком диапазоне.

Поэтому было решено применить метод планирования многофакторного эксперимента с критерием оптимизации по потерям давления. Для всех представленных схем была принята магистральная линия из четырех последовательно соединенных участков 0–1, 1–2, 2–3 и 3–4. Многофакторный эксперимент позволяет определить, при каком сочетании диаметров на данных участках будут получаться минимальные потери давления газа в сети.

Так как участков четыре, то многофакторный машинный эксперимент был проведен по типовой матрице плана Бокса–Бенкина для четырех факторов [7].

Нижний уровень варьирования каждого фактора (–) соответствовал минимальному рекомендуемому диаметру, верхний уровень (+) – соответственно максимальной величине рекомендуемого диаметра. Средний уровень (0) был рассчитан как среднеарифметическое значение максимального и минимального рекомендуемых диаметров. Следует заметить, что для всех трех схем максимальные и минимальные диаметры газопроводов на соответствующих участках магистрали одинаковы.

За функцию были приняты суммарные значения потерь давления, которые рассчитывались по формуле

$$\Delta P_{сум} = \sum_{i=1}^{n} l_i \cdot \left(P_{iн}^2 - P_{iк}^2\right) \qquad (1)$$

где l_i – длина *i*-го участка магистрали, *м*;
$\left(P_{iн}^2 - P_{iк}^2\right)$ – разность квадратов давлений в начале и конце участка магистрали соответственно, $\frac{кПа^2}{м}$ выбирается по номограмме [6] в зависимости от расхода газа и принятого диаметра.

Результаты реализации многофакторного машинного эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1
Результаты реализации многофакторного машинного эксперимента

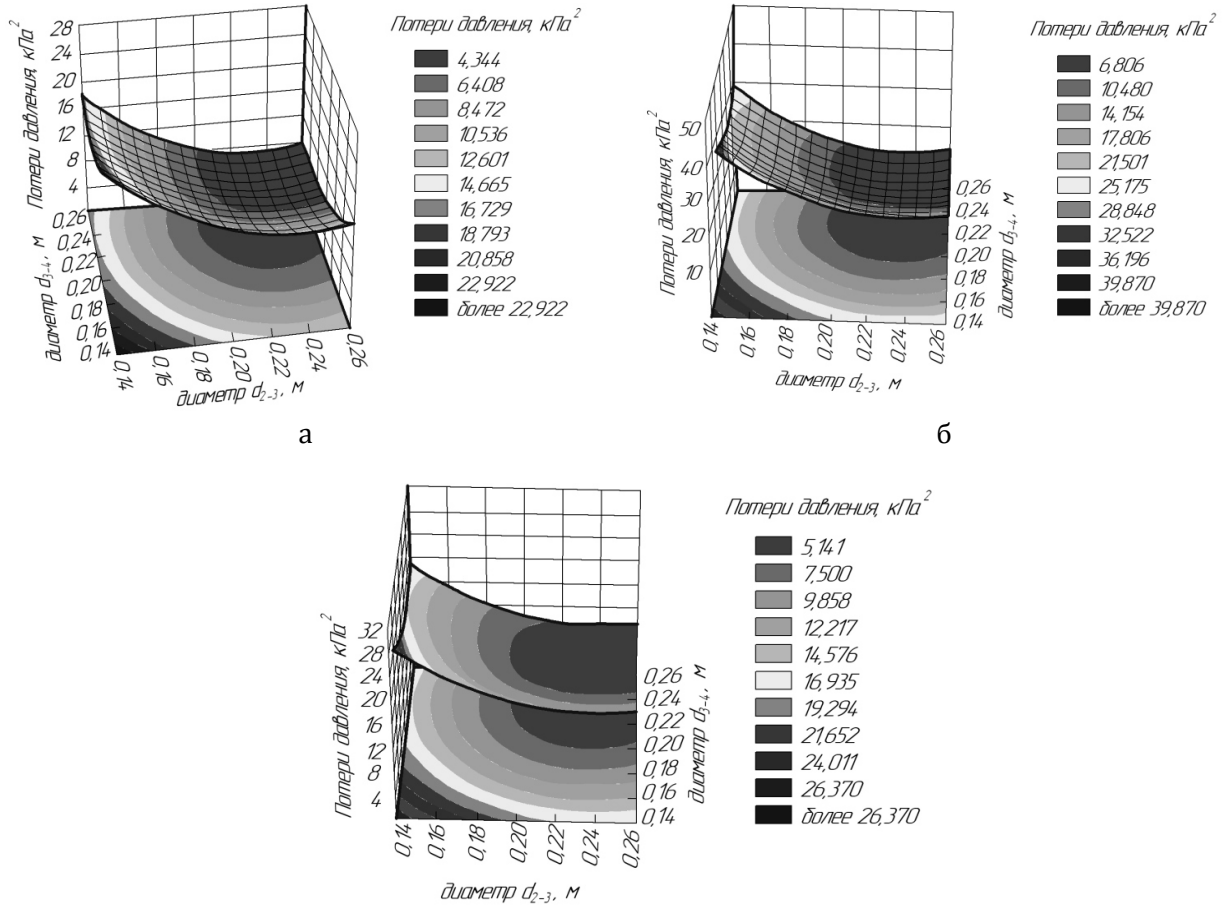
№ строки матрицы	Факторы (диаметры, м)				У (потери давления, кПа^2)		
	x_1 (d_{0-1})	x_2 (d_{1-2})	x_3 (d_{2-3})	x_4 (d_{3-4})	Метод наименьших квадратов	Метод Прима	Метод Штейнера
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,20	0,20	0,20	0,20	7,895	11,214	8,846
2	0,30	0,2	0,20	0,20	4,912	4,912	4,912
3	0,20	0,3	0,20	0,20	6,463	9,264	6,896
4	0,30	0,3	0,20	0,20	4,480	7,516	5,148
5	0,25	0,25	0,15	0,15	20,038	34,511	23,029
6	0,25	0,25	0,25	0,15	11,380	21,485	14,993
7	0,25	0,25	0,15	0,25	12,867	19,438	12,646
8	0,25	0,25	0,25	0,25	2,655	4,074	3,167
9	0,25	0,25	0,20	0,20	5,073	8,228	5,860
10	0,20	0,25	0,20	0,15	12,914	22,837	16,345
11	0,30	0,25	0,20	0,15	10,932	21,090	14,597
12	0,20	0,25	0,20	0,25	5,743	7,764	5,962
13	0,30	0,25	0,20	0,25	3,260	5,517	3,714
14	0,25	0,20	0,15	0,20	14,019	21,888	14,530
15	0,25	0,30	0,15	0,20	13,587	20,938	13,580

Продолжение Таблицы 1

№ строки матрицы	Факторы (диаметры, м)				У (потери давления, кПа²)		
	x_1 (d_{0-1})	x_2 (d_{1-2})	x_3 (d_{2-3})	x_4 (d_{3-4})	Метод наименьших квадратов	Метод Прима	Метод Штейнера
16	0,25	0,20	0,25	0,20	3,807	6,524	5,052
17	0,25	0,30	0,25	0,20	3,375	5,574	4,101
18	0,25	0,25	0,20	0,20	4,929	7,912	5,544
19	0,20	0,25	0,15	0,20	15,265	22,606	15,249
20	0,30	0,25	0,15	0,20	13,282	20,859	13,502
21	0,20	0,25	0,15	0,20	5,053	7,242	5,770
22	0,30	0,25	0,25	0,20	3,070	5,495	4,023
23	0,25	0,2	0,20	0,15	12,668	23,119	16,626
24	0,25	0,3	0,20	0,15	11,236	21,168	14,676
25	0,25	0,2	0,20	0,25	4,497	7,046	5,243
26	0,25	0,3	0,20	0,25	3,265	5,296	5,093
27	0,25	0,25	0,20	0,20	5,073	8,228	5,860

Полученный числовой массив был обработан при помощи программы «Statistica».

Анализ полученных данных. Обработка результатов машинного эксперимента позволила получить поверхности отклика, представленные на рисунке 2.



а б

в

Рис. 2. Поверхности отклика целевой функции изменения потерь давления от диаметров трубопроводов d_{2-3} и d_{3-4} при фиксированном значении диаметров $d_{0-1}=d_{1-2}=0{,}250$м

а – метод наименьших квадратов; б – метод Прима; в – метод Штейнера

Как видно из представленных графических зависимостей, характер изменения потерь давления для всех трех схем сходственен. Все поверхности отклика представляют собой «впадину» [5] с экстремумом в зоне эксперимента. Результаты обработки полученных уравнений регрессии приведены в таблице 2.

Таблица 2
Результаты обработки уравнений регрессии

Используемый метод	Показатель	Значение	Номер формулы
Наименьших квадратов	Уравнение регрессии	$\Delta P = 140{,}454 - 682{,}915 d_{2-3} + 1451{,}379 d_{2-3}^2 - 485{,}827 d_{3-4} + 1019{,}229 d_{3-4}^2$	(2)
	Коэффициент аппроксимации	$R^2 = 0{,}95445$	
	Экстремальные значения диаметров, м	$d_{2-3} = d_{3-4} = 250мм = 0{,}25м$	
	Потери давления при экстремальных значениях диаметров, кПа²	$\Delta P = 140{,}454 - 682{,}915 \cdot 0{,}25 + 1451{,}379 \cdot 0{,}25^2 - 485{,}827 \cdot 0{,}25 + +1019{,}229 \cdot 0{,}25^2 = 2{,}68кПа^2$	
	Давление на входе в ГРП	$P_{вх} = 3{,}5 - \sqrt{2{,}68 \cdot 10^{-3}} = 3{,}45МПа$	
Прима	Уравнение регрессии	$\Delta P = 257{,}12 - 1059{,}05 d_{2-3} + 2273{,}27 d_{2-3}^2 - 1121{,}99 d_{3-4} + 2408{,}82 d_{3-4}^2$	(3)
	Коэффициент аппроксимации	$R^2 = 0{,}97673$	
	Экстремальные значения диаметров, м	$d_{2-3} = d_{3-4} = 250мм = 0{,}25м$	
	Потери давления при экстремальных значениях диаметров, кПа²	$\Delta P = 257{,}12 - 1059{,}05 \cdot 0{,}25 + 2273{,}27 \cdot 0{,}25^2 - 1121{,}99 \cdot 0{,}25 + 2408{,}82 \cdot 0{,}25^2 = 4{,}49кПа^2$	
	Давление на входе в ГРП	$P_{вх} = 3{,}5 - \sqrt{4{,}49 \cdot 10^{-3}} = 3{,}43МПа$	
Штейнера	Уравнение регрессии	$\Delta P = 163{,}437 - 614{,}368 d_{2-3} + 1304{,}962 d_{2-3}^2 - 758{,}367 d_{3-4} + 1627{,}412 d_{3-4}^2$	(4)
	Коэффициент аппроксимации	$R^2 = 0{,}96584$	
	Экстремальные значения диаметров, м	$d_{2-3} = d_{3-4} = 250мм = 0{,}25м$	
	Потери давления при экстремальных значениях диаметров, кПа²	$\Delta P = 163{,}437 - 614{,}368 \cdot 0{,}25 + 1304{,}962 \cdot 0{,}25^2 - 758{,}367 \cdot 0{,}25 + 1627{,}412 \cdot 0{,}25^2 = 3{,}53кПа^2$	
	Давление на входе в ГРП	$P_{вх} = 3{,}5 - \sqrt{3{,}53 \cdot 10^{-3}} = 3{,}44МПа$	

Все три зависимости суммарных потерь давления от диаметров газопроводов представляют собой полиномы второй степени с коэффициентом аппроксимации практически равным единице. Это свидетельствует о том, что достоверность моделей (2-4) имеющимся экспериментальным данным достаточно высока. При этом для всех трех схем трассировки газораспределительной сети суммарные потери давления зависят от потерь только на участках 2-3 и 3–4. Потери давления на начальных участках 0-1 и

1-2 не оказывают существенного влияния на суммарные потери. Экстремальные значения диаметров, при которых потери давления в газопроводах минимальны, получились одинаковыми на соответствующих участках магистрали для всех трех схем.

Давление газа на входе в ГРП с учетом потерь также практически одинаково для всех трех схем и соответствует требованиям СП 42-101-2003 «Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб». Данный свод правил указывает, что расчетные потери давления в газопроводах среднего давления принимаются в пределах категории давления, принятой для газопровода, т.е. 0,3-0,6МПа.

Таким образом, с технологической точки зрения, все три схемы удовлетворяют нормативным требованиям, и приоритет в выборе оптимальной схемы является затруднительным.

В связи с этим необходимо перейти ко второму этапу оптимизации на основе выполнения технико-экономической оценки.

Как было отмечено ранее, диаметры газопроводов на начальных участках не оказывают влияния на суммарные потери давления. Поэтому для определения материальной характеристики газовой сети диаметры газопроводов на участках 0-1 и 1-2 были приняты равными диаметрам участков 2-3 и 3-4 во избежание дополнительных сопротивлений при переходе с одного диаметра на другой. Принятые диаметры d_{0-1}= =d_{1-2}=0,250м входят в диапазон рекомендуемых диаметров для данных участков сети [4].

Материальная характеристика газовой сети рассчитывается по формуле[2]

$$M = \sum_{i=1}^{n} l_i \cdot d_i \qquad (5)$$

где l_i–то же, что и в формуле (1);

d_i–диаметр газопровода на соответствующем i-ом участке, мм.

После определения материальной характеристики для всех трех представленных схем газовой сети был проведен расчет сметной стоимости в соответствии с таким нормативным документом, как Приказ Минстроя РФ от 07.07.2022 N 557/ПР «О внесении изменений в Методику определения сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации на территории Российской Федерации, утвержденную приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 4 августа 2020 г. N 421/ПР».

Результаты расчета представлены в виде гистограммы на рисунке 3.

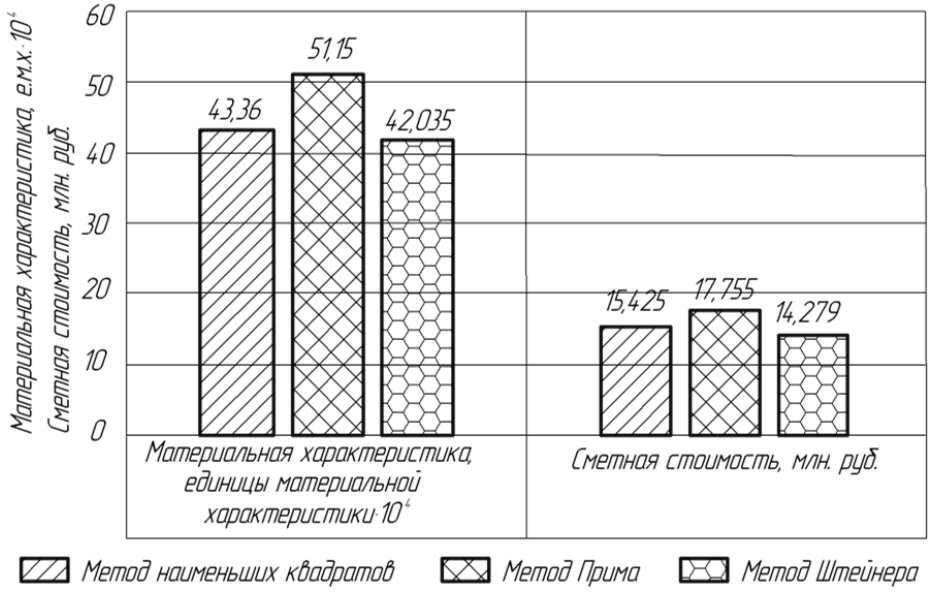


Рис. 3. Сравнительная характеристика схем газораспределительной сети для различных способов построения

Представленная гистограмма свидетельствует о том, что всех трех схем наиболее оптимальной является схема сети, построенная по методу Штейнера. Данная схема (рис.1в) обладает наименьшей материальной характеристикой и затраты на строительство данной сети будут минимальными.

Заключение. Проведенный анализ полученных схем газовой сети показал, что все три метода могут быть применены при разработке системы газоснабжения сельского населенного пункта. Оптимальные диаметры газопроводов и потери давления на всех участках газовой сети среднего давления практически одинаковы. Требования по строительству газораспределительных сетей соблюдаются при использовании каждой из трех представленных схем. Однако для выявления наиболее эффективного варианта необходимо выполнить трассировку сети всеми тремя методами с проведением последующего сравнительного анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Медведева О. Н. Разработка методических основ оптимизации энергосберегающих газораспределительных систем / О. Н. Медведева, Н. С. Бессонова // Вестник Евразийской науки, 2020. №5, Т12. URL: https://esj.today/PDF/13SAVN520.pdf (дата обращения: 10.05.2024г.)

2. Курицын Б. Н. Моделирование и оптимизация систем газоснабжения сельских поселков с использованием индивидуальных шкафных газорегуляторных установок/ Б. Н. Курицын, А. А. Иванов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2010. № 4. С. 49-53.

3. Zheng Y., Xie S., Hu Z., Wang J., Kong S. The optimal configuration planning of energy hubs in urban integrated energy system using a two-layered optimization method / Y. Zheng, S. Xie, Z. Hu, J. Wang, S. Kong // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2020. Т. 123. С. 256-257.

4. Медведева О. Н. Выбор трассировки газопровода на плане газоснабжаемой территории /О. Н. Медведева // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2010. № 3 (19). С. 60-67.

5. Барышева О. Б. Оптимизация конфигурации газораспределительной сети / О. Б. Барышева, Р. А. Садыков // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 4 (38). С. 284-289.

6. Стаскевич Н. Л. Справочник по газоснабжению и использованию газа / Н. Л. Стаскевич, Г. Н. Северинец, Д. Я. Вигдорчик // Ленинград: Недра, 1990. 762 с.

7. Мельников С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов/ С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М Рощин // Ленинград: Колос, 1980. 168 с.

SELECTION OF AN OPTIMAL SCHEME OF MEDIUM PRESSURE GAS NETWORK FOR A RURAL SETTLEMENT

I. V. YUDAEV[1], Doctor of technical Sciences, Professor
M. S. DEMCHENKO[2], Candidate of Technical Sciences
A. N. TOKAREVA[2], Candidate of Technical Sciences
N. N. GRACHEVA[2,3], Candidate of Technical Sciences

[1]***FGBOU VO «Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin»**, 13, Kalinina str., Krasnodar, Russia, 350044,*
[2]***Azov-black sea engineering Institute FGBOU VO Donskoy GAU**, 21, Lenin str, Zernograd, Russia, 347740*
[3]***Donskoy State Technical University**, 1, Gagarin Square, Rostov-on-Don, Russia, 344000*

Abstract. *The developing gasification of rural areas requires the development of effective schemes of gas distribution networks. Three methods of constructing a gas distribution network for a rural locality are considered. For the presented schemes, a multifactorial machine experiment was conducted to determine pressure losses in sections of a medium-pressure gas pipeline. The diameters of the gas pipelines have been determined, using which the lowest gas pressure losses in the network are obtained. For all schemes, the calculation of material characteristics and estimated cost was carried out, on the basis of which the most effective scheme of the gas network was determined.*

Key words: *gas network, scheme, method, diameter, pressure loss*

REFERENCES

1. Medvedeva O. N. Development of the methodological basis for optimization of energy-saving gas distribution systems / O. N. Medvedeva, N. S. Bessonova // Bulletin of Eurasian science 2020. №5, Book 12. URL: https://esj.today/PDF/13SAVN520.pdf (date of reference: 10.05.2024).