

### Влияние изменения потребления газа предприятием сельскохозяйственного назначения на конфигурацию газораспределительной сети

Алексей Константинович Ключко, Николай Русланович Цап

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия  
e-mail: klo4ko\_aleksey@mail.ru

**Аннотация.** В настоящее время вопрос обеспечения продовольственной безопасности становится одним из основных для любого государства. Помимо обеспечения потребности государства, продукция сельского хозяйства является ценной составляющей импорта из РФ. Нарастание производства продукции требует увеличения потребления ресурсов, в том числе и объемов потребления природного газа. Установлено, что в случае необходимости увеличения потребления магистрального газа часто перед собственником предприятия возникает вопрос реконструкции питающих газопроводов. Перекладывание газопроводов по существующей трассе не всегда является наиболее эффективным путем решения данной задачи.

**Ключевые слова:** газ; сельское хозяйство; газораспределительная сеть; газопровод.

**Для цитирования:** Ключко А. К., Цап Н. Р. Влияние изменения потребления газа предприятием сельскохозяйственного назначения на конфигурацию газораспределительной сети // Аграрный научный журнал. 2022. № 10. С. 104–107. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i10pp104-107>.

#### AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

### The impact of changes in gas consumption by an agricultural enterprise on the configuration of the gas distribution network

Aleksey K. Klochko, Nikolay R. Tsap

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia  
e-mail: klo4ko\_aleksey@mail.ru

**Abstract.** At present, the issue of ensuring food security is becoming one of the main ones for any state. In addition to meeting the needs of the state, agricultural products are a valuable component of imports from the Russian Federation. The increase in production requires an increase in the consumption of resources, including the volume of consumption of natural gas. It has been established that if it is necessary to increase the consumption of main gas, the owner of the enterprise often faces the issue of reconstructing the supply gas pipelines. Relocation of gas pipelines along the existing route is not always the most effective way to solve this problem.

**Keywords:** gas; agriculture; gas distribution network; gas pipeline.

**For citation:** Klochko A. K., Tsap N. R. The impact of changes in gas consumption by an agricultural enterprise on the configuration of the gas distribution network. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(10): 104–107. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i10pp104-107>.

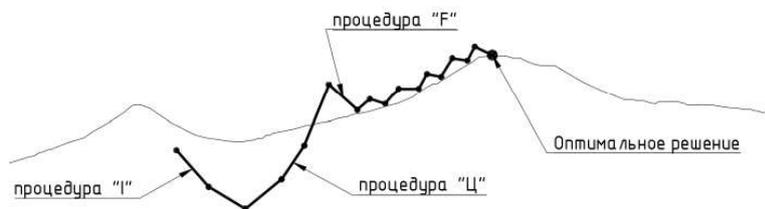
**Введение.** Обеспечение бесперебойного снабжения предприятий сельскохозяйственного назначения энергетическими ресурсами – стратегическая задача [1]. Наиболее удобным сырьем для получения тепловой энергии на нужды предприятия является магистральный газ [2–6]. Он позволяет наиболее удобно обеспечивать требуемую изменяемую тепловую мощность, минимизируя при этом вредное воздействие на окружающую среду. Однако помимо удобства использования природного газа как вида сжигаемого топлива необходимо обеспечить минимальные затраты на организацию использования природного газа. Затраты включают в себя приобретение необходимого сжигающего газ оборудования, строительство газораспределительных сетей и газорегуляторных пунктов.

**Методика исследований.** Решение задач построения конфигураций различных инженерных систем является общей задачей для газо-, тепло-, водоснабжение, канализование, электрических и слаботочных сетей и других систем. Для успешного решения данных инженерных задач существуют различные математические алгоритмы. В свою очередь алгоритмы оптимизации и построения газораспределительных систем на выходе своей работы часто дают отличающиеся результаты по принятым целевым функциям (стоимость строительства сети, затраты на ее эксплуатацию, показатель надежности, геометрические характеристики). Одним из наиболее удобных, с нашей точки зрения, алгоритмов поиска требуемой конфигурации газораспределительной сети является адаптированная под вопросы газораспределения методика итерационного поиска, которая методом последовательных приближений посредством специфических «Ц» – «F» – «I» процедур позволяет получить нам необходимое решение [6, 7]. Графически данный процесс отобразим на рис. 1.

В случае необходимости увеличения потребления газа предприятием, перекладывание сети с увеличением диаметра сети по существующей трассировке зачастую не является лучшим решением. Для демонстрации этого утверждения приведем пример ниже.



## ОБЛАСТЬ НЕДОПУСТИМЫХ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ



## ОБЛАСТЬ НЕДОПУСТИМЫХ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ

Рис. 1. Поиск решения посредством последовательности «Ц» – «F» – «I» процедур

Первая задача: два потребителя природного газа подключаются к магистральной сети. Потребитель «А» – предприятие сельскохозяйственного назначения, потребитель «Б» – расположенный рядом поселок. Подключение абонентов к общей питающей линии производится в любой точке линии газопроводом высокого давления, далее установлено ГРП, от ГРП газ к каждому из абонентов приходит по своей линии. Расход газа потребителем «А» составляет  $900 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; потребителем «Б» –  $700 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Расчетное значение давления газа у потребителей одинаковое и составляет  $2000 \text{ Па}$  (рис. 2).

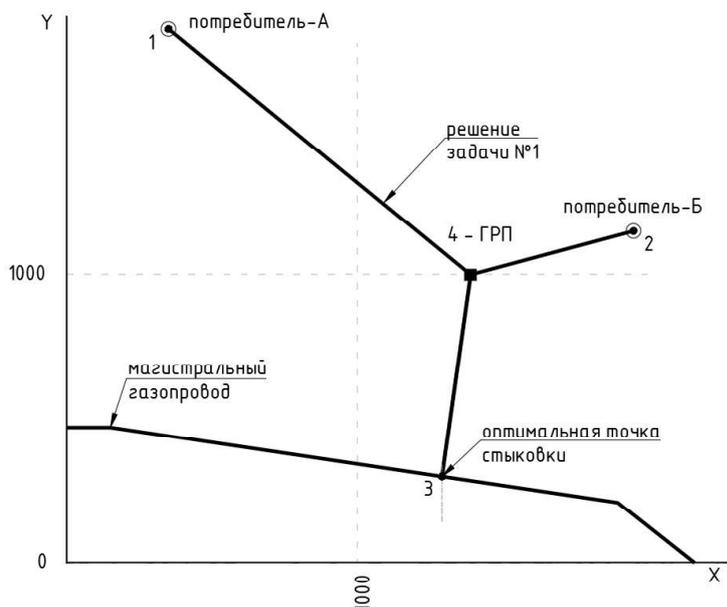


Рис. 2. Вариант трассировки газопровода методом поисковой оптимизации

Для решения данной задачи применим адаптированную под вопросы газораспределения методику итерационного поиска.

Присвоим варьируемым параметрам следующие начальные значения:

координаты проектируемого ГРП ( $X_4; Y_4$ ) равны  $(1135,0; 950,0) \text{ м}$ ;

координаты присоединения к сети ( $X_3; Y_3$ ) равны  $(1253,18; 304,52) \text{ м}$ ;

диаметр газопровода ПГ – ГРП –  $d_{3-4} = 10,2 \text{ см}$ ;

диаметр газопровода от ГРП к абоненту «А» –  $d_{4-1} = 14,0 \text{ см}$ ;

диаметр газопровода от ГРП к абоненту «Б» –  $d_{4-2} = 11,4 \text{ см}$ .

Варьируемыми параметрами являются координаты точек «3» и «4», а также диаметры участков сети «3–4», «4–1» и «4–2».

Расчеты, выполненные при помощи адаптированной под вопросы газораспределения методики итерационного поиска в Microsoft Excel, представим в табличной форме. Для краткости записи приведем часть итераций расчета (с шагом 10 и наиболее значимые шаги итерации, в которых произошла смена оператора процедуры) а также отобразим изменения варьируемых параметров (табл. 1).

В итоге в соответствии с исходными данными мы получили искомую конфигурацию газораспределительной сети, показанную на рис. 1.

**Результаты исследований.** Важнейшим параметром при определении конфигурации газопроводов является расчетный расход газа потребителем  $Q \text{ м}^3/\text{ч}$ . Чтобы продемонстрировать это, решим задачу 2, которая повторяет ранее решенную задачу 1 за исключением требуемого расхода газа первого потребителя, вместо ранее принятого значения  $Q_1 = 900 \text{ м}^3/\text{ч}$  новый расчетный расход газа составляет  $1900 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Все остальные исходные параметры для расчета остаются прежними.

Эту задачу мы также решим, используя поисковую методику при принятой целевой функции – минимизация общих затрат на строительство проектируемой сети. Окончательные результаты расчета представим в табл. 2.



## Определение конфигурации газораспределительной сети

r	Координаты				Внутренний диаметр газопровода, см			Стоимость, руб.	Невязка	Процедура		
	X <sub>3</sub>	Y <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	Y <sub>4</sub>	d <sub>3-4</sub>	d <sub>4-1</sub>	d <sub>4-2</sub>	всего	∑н	«Ц»	«F»	«I»
1	1253,18	304,52	1350	950	10.20	14.00	11.40	10 399 722	17,329	0,105	–	–
10	1261,98	303,2	1359	950	10.20	14.00	11.40	10 399 600	17,282	0,020	–	–
20	1271,76	301,74	1369	950	10.20	14.00	11.40	10 399 645	17,231	250,000	–	–
30	1281,54	300,27	1379	950	10.20	14.00	11.40	10 399 882	17,184	147,059	–	–
40	1291,32	298,8	1389	950	10.20	14.00	11.40	10 400 309	17,139	75,472	–	–
50	1288,39	299,24	1386	950	10.20	14.00	12.10	10 425 002	15,467	0,007	–	–
60	1278,61	300,71	1376	950	10.20	14.00	12.10	10 425 024	15,456	76,923	–	–
70	1281,54	300,27	1379	950	10.20	14.60	12.10	10 480 460	12,890	76,923	–	–
80	1291,32	298,8	1389	950	10.20	14.60	12.10	10 480 801	12,870	43,189	–	–
90	1282,52	300,12	1380	950	10.20	14.60	12.70	10 502 748	11,909	111,111	–	–
100	1272,74	301,59	1370	950	10.20	14.60	12.70	10 502 929	11,896	35,714	–	–
110	1279,58	300,56	1377	950	10.20	15.20	12.70	10 559 785	9,887	52,632	–	–
120	1286,43	299,54	1384	950	10.20	15.20	13.30	10 582 783	9,202	333,333	–	–
130	1276,65	301	1374	950	10.20	15.20	13.30	10 582 930	9,187	80,000	–	–
140	1268,83	302,18	1366	950	10.20	15.90	14.00	10 679 608	6,778	43,478	–	–
150	1269,51	302,07	1367	952	10.20	16.80	14.00	10 770 770	5,044	142,857	–	–
160	1262,67	303,1	1360	952	10.20	16.80	14.60	10 796 031	4,664	20,408	–	–
170	1255,38	304,19	1353	955	10.20	16.80	14.60	10 797 034	4,648	15,625	–	–
180	1248,92	305,16	1347	959	10.20	16.80	14.60	10 798 386	4,630	13,158	–	–
190	1255,77	304,13	1354	959	10.20	18.00	14.60	10 923 107	3,126	111,111	–	–
200	1265,55	302,67	1364	959	10.20	18.00	14.60	10 923 288	3,114	34,483	–	–
210	1275,33	301,2	1374	959	10.20	18.00	14.60	10 923 667	3,103	20,000	–	–
220	1283,01	300,05	1382	960	10.20	18.00	15.20	10 949 294	2,796	0,021	–	–
230	1278,22	300,77	1378	966	10.20	18.00	15.20	10 950 391	2,780	8,969	–	–
240	1274,25	301,36	1375	973	10.20	18.00	15.20	10 952 095	2,763	7,194	–	–
250	1276,75	300,99	1378	976	10.20	19.40	15.90	11 137 809	1,345	9,390	–	–
260	1283,3	300	1385	978	10.20	20.30	15.90	11 243 026	0,847	11,299	–	–
270	1290,83	298,88	1393	980	10.20	20.30	15.90	11 244 409	0,835	7,299	–	–
280	1300,61	297,41	1403	980	10.20	20.30	15.90	11 245 860	0,825	5,376	–	–
290	1307,02	296,45	1410	983	10.20	20.30	15.90	11 247 567	0,815	5,952	–	–
300	1312,3	295,66	1416	987	10.20	20.30	15.90	11 249 479	0,805	4,132	–	–
310	1315,33	295,2	1420	993	10.20	20.30	15.90	11 251 764	0,794	3,448	–	–
320	1316,11	295,08	1422	1001	10.20	20.30	15.90	11 254 695	0,782	2,862	–	–
330	1307,31	296,4	1413	1001	10.20	20.30	16.80	11 290 399	0,666	0,200	–	–
340	1297,53	297,87	1403	1001	10.20	20.30	16.80	11 289 477	0,653	0,082	–	–
350	1287,75	299,34	1393	1001	10.20	20.30	16.80	11 288 733	0,641	0,064	–	–
360	1277,97	300,8	1383	1001	10.20	20.30	16.80	11 288 167	0,629	0,092	–	–
370	1268,19	302,27	1373	1001	10.20	20.30	16.80	11 287 781	0,618	0,030	–	–
380	1263,3	303	1368	1001	10.20	21.90	16.80	11 478 080	0,054	15,038	–	–
390	1273,08	301,54	1378	1001	10.20	21.90	16.80	11 479 485	0,029	13,333	–	–
400	1282,86	300,07	1388	1001	10.20	21.90	16.80	11 481 071	0,004	11,834	–	–
402	1284,82	299,78	1390	1001	10.20	21.90	16.80	11 481 411	0,000	0,000	313,043	–
403	1284,82	299,78	1390	1001	9.50	21.90	16.80	11 457 147	0,000	-	261,070	–
405	1284,82	299,78	1390	1001	8.30	21.90	16.80	11 418 334	0,000	-	339,981	–
407	1284,82	299,78	1390	1001	7.30	21.90	16.80	11 388 672	0,000	-	2,409	–
409	1285,11	299,73	1390	999	7.30	21.90	16.80	11 388 436	0,000	-	0,000	–
410	1285,94	299,61	1391	1000	7.60	24.50	18.00	11 788 973	0,000	-	5457,067	–
411	1285,94	299,61	1391	1000	7.60	21.90	18.00	11 451 317	0,000	-	872,465	–
413	1285,94	299,61	1391	1000	7.30	21.90	16.80	11 388 702	0,000	-	3,001	–
415	1285,11	299,73	1390	999	7.30	21.90	16.80	11 388 436	0,000	-	0,000	–
416	1285,94	299,61	1391	1000	7.60	24.50	18.00	11 788 973	0,000	-	5457,067	–
417	1285,94	299,61	1391	1000	7.60	21.90	18.00	11 451 317	0,000	-	872,465	–
419	1285,94	299,61	1391	1000	7.30	21.90	16.80	11 388 702	0,000	-	3,001	–
421	1285,11	299,73	1390	999	7.30	21.90	16.80	11 388 436	0,000	-	0,000	–



Определение конфигурации газораспределительной сети при измененном расходе

Решение задачи 2	Координаты, м				Длины ветвей, м			Стоимость, руб.	
					Диаметры труб, см				
	$X_3$	$Y_3$	$X_4$	$Y_4$	$l_{3,4}$	$l_{1,4}$	$l_{2,4}$	Общ.	$K_{(r)}$
По поисковой методике	1056,20	343,50	113,78	1110,00	775,08	1065,04	836,01	2676,13	12 483 594,0
					8,9	29,9	18,0	–	

Теперь сравним результаты решения задач 1 и 2, полученные методом поисковой оптимизации (рис. 3). Поиски решений как первой, так и второй задачи производили из одного и того же стартового положения. Тем не менее, видно, что конфигурации газопроводов сильно отличаются. Важно отметить, произошел сдвиг оптимального проектного положения ГРП и точки подключения к магистральному газопроводу, т.е. произошла полная трансформация конфигурация газопровода.

**Заключение.** В работе наглядно проиллюстрирована необходимость внимательного подхода к вопросу реконструкции газораспределительной сети при необходимости изменения потребления газа предприятием сельскохозяйственного назначения. Зачастую переключивание сети по существующей конфигурации с увеличением диаметров ее участков не является лучшим решением.

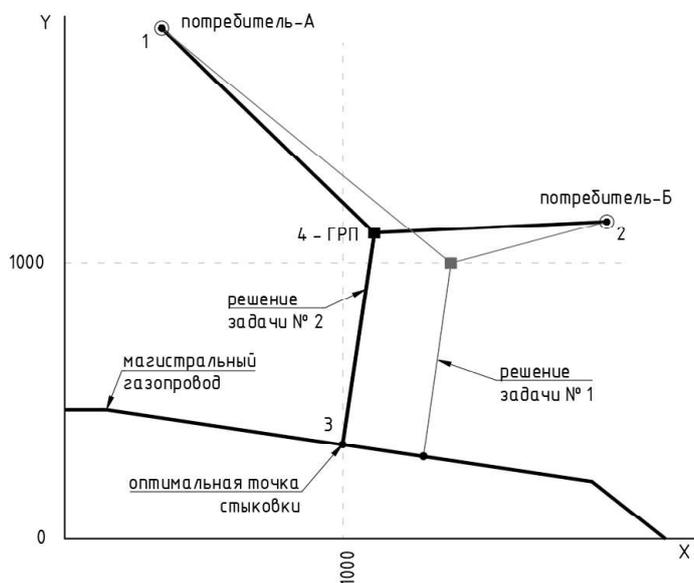


Рис. 3. Вариант трассировки газопровода методом поисковой оптимизации

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года. URL: <http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4IgsApssm6mZRb7wx.pdf>.
2. СП 62.13330.2011\* Газораспределительные системы. Актуализированная редакция СНиП 42-01-2002 (с Изменениями № 1, 2, 3). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084535>.
3. Жила В.А. Газоснабжение: учебник для студентов вузов по специальности «Теплогасоснабжение и вентиляция». М., 2014. 368 с.
4. Жила В.А., Гусарова Е.А., Гулюкин Д.М. Надежность газораспределительных систем // Научное обозрение. 2017. № 20. С. 38–44.
5. Ключко А.К., Жила В.А. Применение “абсолютно надежных камер” при снабжении природным газом объектов сельского хозяйства // Аграрный научный журнал. 2020. № 1. С. 60–65.
6. Лактюнькин А.В. Выбор степени кольцевания газораспределительной сети высокого давления для среднего населенного пункта. М., 2018.
7. Klochko A., Klochko A. Influence of the iteration step size to finding solutions // Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education. MATEC Web Conf. VI International Scientific Conference (IPICSE-2018). 2018. Vol. 251. No. 03031. P. 1–7. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201825103031>.
8. Klochko A., Zhila V. Determination of high-pressure pipeline cyclization degree with exploratory technique // Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education. MATEC Web Conf. VI International Scientific Conference (IPICSE-2018). 2018. Vol. 251. No. 7336. P. 91-94. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201825103030>.

## REFERENCES

1. Energy strategy of Russia for the period up to 2035. URL: <http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4IgsApssm6mZRb7wx.pdf>.
2. SP 62.13330.2011\* Gas distribution systems. Updated edition of SNiP 42-01-2002 (with Amendments No. 1, 2, 3). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084535>.
3. Zhila V.A. Gas supply: a textbook for university students in the specialty «Heat and gas supply and ventilation». Moscow, 2014. 368 p.
4. Zhila V.A., Gusarova E.A., Gulyukin D.M. Reliability of gas distribution systems. *Scientific review*. 2017; 20: 38–44.
5. Klochko A.K., Zhila V.A. The use of “absolutely reliable chambers” in the supply of natural gas to agricultural facilities. *The agrarian scientific journal*. 2020; 1: 60-65.
6. Laktyunkin A.V. The choice of the degree of ringing of the high-pressure gas distribution network for an average settlement. Moscow, 2018.
7. Klochko A., Klochko A. Influence of the iteration step size to finding solutions. *Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education*. MATEC Web Conf. VI International Scientific Conference (IPICSE-2018). 2018; 251; 03031: 1–7. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201825103031>.
8. Klochko A., Zhila V. Determination of high-pressure pipeline cyclization degree with exploratory technique. *Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education*. MATEC Web Conf. VI International Scientific Conference (IPICSE-2018). 2018; 251; 7336: 91–94. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201825103030>.

Статья поступила в редакцию 11.02.2022; одобрена после рецензирования 03.03.2022; принята к публикации 25.03.2022.  
The article was submitted 11.02.2022; approved after reviewing 03.03.2022; accepted for publication 25.03.2022.

