

DOI: 10.12737/22088

Сулов Д.Ю., канд. техн. наук, доц.,  
Выродов Г.К., студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГАЗОВЫХ СЕТЕЙ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ САПР

suslov1687@mail.ru

*В настоящее время наблюдается рост потребления природного газа в различных отраслях промышленности, что требует разработки и строительства протяженных и разветвленных систем газопроводов. При проектировании тупиковых и кольцевых сетей газопроводов производится гидравлический расчет, с помощью которого производится подбор и уточнение необходимых диаметров участков сети. Применение систем автоматизированного проектирования позволяет оптимизировать затраты на проектирование и разработку систем любого назначения. Рассмотрены теоретические аспекты газодинамического расчета газовых сетей низкого давления. Разработана и рассчитана кольцевая сеть газопроводов низкого давления с общим расходом газа 683,6 м<sup>3</sup>/ч. Произведен поверочный расчет в программном комплексе «Hydraulic Calculator», в результате которого были определены гидравлические режимы работы сети. Также произведен газодинамический расчет сети низкого давления в программе «Расчёт диаметра газопровода согласно СП 42-101-2003», в результате которого подобраны диаметры участков сети из современных полиэтиленовых трубопроводов.*

**Ключевые слова:** газоснабжение, газовые сети, проектирование, газодинамический расчет, программные комплексы.

**Введение.** С каждым годом потребление всех видов топлива растет, в том числе и природного газа. Это требует разработки и строительства необходимых транспортных линий – систем газопроводов. Для проектирования газопроводов, особенно в условиях большой протяженности и разветвленности производится гидравлический расчет, с помощью которого производится подбор и уточнение необходимых диаметров для экономически выгодного транспортирования газа [1–3]. Разработка большого проекта требует значительного количества времени, трудовых и материальных ресурсов. В последнее время для проектирования инженерных систем широко используются системы автоматизированного проектирования, которые позволяют оптимизировать затраты на строительство систем любого назначения, в том числе и систем газоснабжения [3–5].

Применение САПР позволяет решить ряд важных задач, основные из которых: повышение эффективности труда инженеров; сокращения сроков, трудоёмкости проектирования и планирования; сокращения себестоимости проектирования и изготовления системы; повышение качества и технико-экономического уровня результатов проектирования.

В практике эксплуатационных организаций конфигурация сети, длины участков распределительных трубопроводов, их диаметры, нагрузки потребителей и давления источников, а также технологические ограничения (допустимые давления потребителей), в общем случае, известны.

Наибольший интерес вызывает расчет технологических параметров системы газоснабжения, в первую очередь, давлений и перепадов, при изменяющихся расходах потребителей, различных давлениях источников и изменениях геометрических параметров системы газоснабжения.

**Методика.** При описании движения газа по трубопроводам низкого давления используются законы и уравнения газовой динамики. Газодинамический расчет газовых сетей проводился на специализированных программных продуктах «Hydraulic Calculator» и «Расчёт диаметра газопровода согласно СП 42-101-2003».

**Основная часть.** При выполнении гидравлического расчета любого газопровода следует учитывать плотность газа, зависящую от давления, которое снижается по ходу движения газа по газопроводам. Это условие справедливо для любой линии транспортирования газа, однако для сетей низкого давления принимается допущение неизменности плотности, что упрощает учет давления и позволяет рассчитывать диаметры на постоянный расход газа. В системах автоматизированного проектирования эти нюансы также учитываются, их закладывают уже в процессе разработки программных средств.

Гидравлические расчеты распределительных газовых сетей выполняются на основании общих уравнений газовой динамики, устанавливающих связь между диаметром трубопровода, потоком газа и перепадом давления для участка трубопровода известной длины и конструкции, и математических методов, обеспечивающих

решение задачи гидравлического расчета с заданной точностью [6–8].

Для определения потерь давления по длине  $dx$  на преодоление гидравлических сопротивлений газопровода используется уравнение Дарси, представленное в дифференциальной форме:

$$dp = -\lambda \frac{dx}{d} \cdot \rho \frac{w^2}{2}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – коэффициент трения;  $d$  – внутренний диаметр газопровода

В уравнении (1) плотность  $\rho$  является переменной величиной, поэтому скорость движения газа при постоянном диаметре трубы будет также переменна.

Уравнение, учитывающее изменение плотности, которая находится в зависимости от давления, записывается:

$$p = \rho RT. \quad (2)$$

Для замыкания системы примем уравнение неразрывности потока:

$$M = \rho w F = \rho_0 w_0 F_0 = \rho_0 Q_0, \quad (3)$$

где  $M$  – массовый расход, а  $Q_0$  – объемный расход, приведенный к нормальным условиям

Преобразовывая уравнение, получаем:

$$\rho w = \rho_0 Q_0 / F; \quad w = \frac{\rho_0 Q_0}{\rho F}, \quad (4)$$

отсюда

$$\rho w^2 = \frac{Q_0^2 \rho_0}{F^2} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} \quad (5)$$

Используя уравнение состояния, получим выражение, в котором учитывается равенство отношений плотностей и давлений:

$$\frac{\rho_0}{\rho} = \frac{p_0 T}{p T_0}. \quad (6)$$

Используя уравнения (1-6) получим выражение движения газа по газопроводу:

$$-p dp = \frac{16}{2\pi^2} \lambda \frac{Q_0^2}{d^5} \rho_0 p_0 \frac{T}{T_0} dx. \quad (7)$$

Проинтегрировав уравнение (7), и учитывая, что параметры  $\lambda$  и  $T$  являются постоянными в пределах от  $p_n$  до  $p_k$  и от  $x_1 = 0$  до  $x_2 = l$  ( $l$  – длина газопровода) получим зависимость:

$$p_n^2 - p_k^2 = 1,62\lambda \frac{Q_0^2}{d^5} \rho_0 p_0 \frac{T}{T_0} l \quad (8)$$

Уравнение (8) является основным для проведения гидравлических расчетов газопроводов низкого и высокого давлений, при условии, что течение газа – изотермическое.

Если рассматривать городские сети, в которых при нормальных режимах работы температура транспортируемого газа равна примерно 0 °С, поэтому решено принять отношение  $T/T_0 = 1$ . Учитывая это условие, формула (8) принимает вид:

$$p_n^2 - p_k^2 = 1,62\lambda \frac{Q_0^2}{d^5} \rho_0 p_0 l \quad (9)$$

Для проведения автоматизированных расчетов газовых сетей низкого давления использовались программные продукты для гидравлического расчета: «Hydraulic Calculator» и «Расчёт диаметра газопровода согласно СП 42-101-2003».

Рассмотрим сеть низкого давления (рис. 1), рассчитанную вручную с помощью номограмм и таблиц, и произведем поверочный расчет данной сети газоснабжения на базе программного комплекса «Hydraulic Calculator».

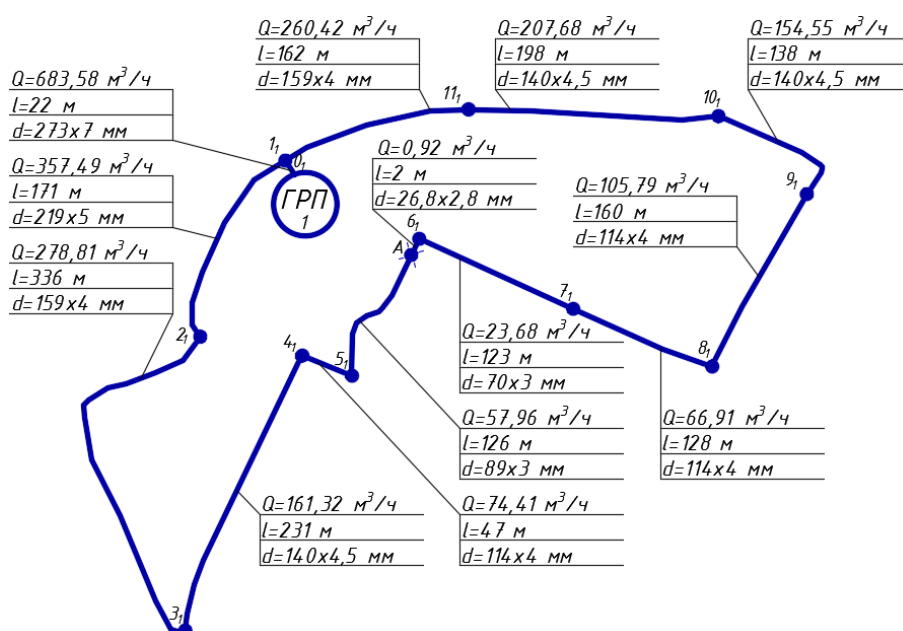


Рис. 1. Расчетная схема сети газопроводов низкого давления

Программа гидравлического расчета «Hydraulic Calculator» предназначена для расчета распределительных систем газоснабжения высокого, среднего или низкого давлений (фрагментов схем, врезок, газопроводов отводов и пр.) любой геометрической сложности и предназначена для инженерно-технического персонала проектных организаций и специалистов газовых хозяйств [5].

«Hydraulic Calculator» отличается расширенными сервисными возможностями для проведения многовариантных гидравлических расчетов и возможностью выполнения оптимизационных расчетов для подбора диаметров существующих (реконструируемых) и проектируемых газопроводов.

ия, введены необходимые расчетные данные: диаметры труб, расходы газа и длины участков.

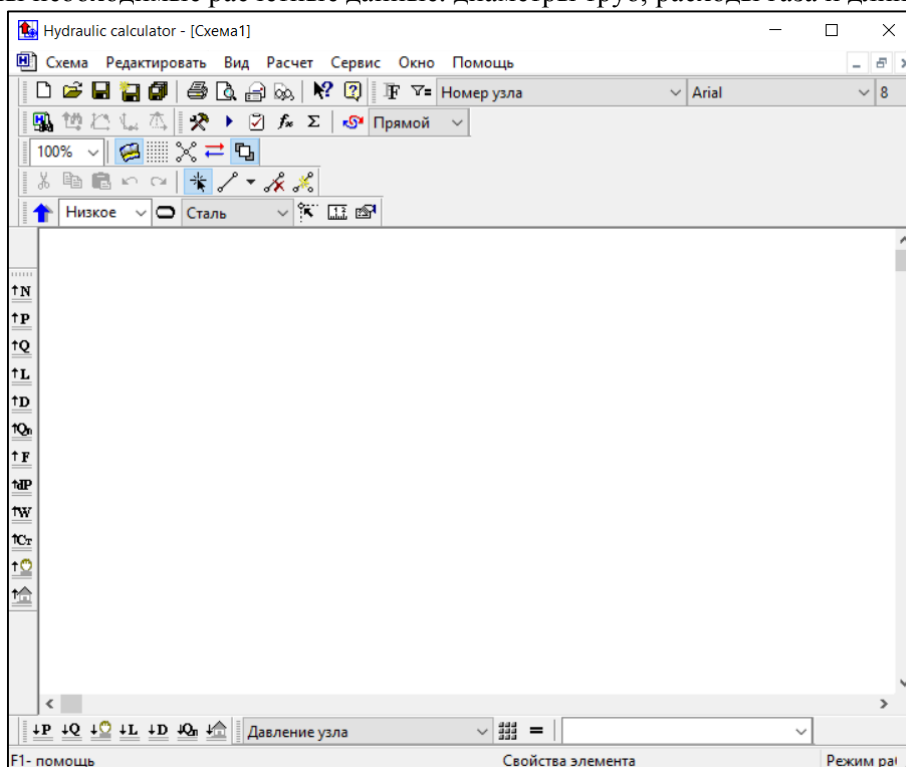


Рис. 2. Программа «Hydraulic Calculator»

Далее перенесем эту схему в программу, без учета ее геометрических неровностей с указанием расчетных расходов газа по участкам сети (рис. 3).

Поверочный расчет, проведенный в «Hydraulic Calculator», показал, что точка встречи газовых потоков была выбрана правильно, в чем можно убедиться на рисунке 3 (точка 12). При этом полученные значения расходов газа по участкам сети близки со значениями, рассчитанными с помощью номограмм и таблиц, что также указывает на правильность проведенных вычислений. Необходимо отметить, что в расчетах сети низкого давления не имеют «точечных» потребителей, а рассматриваются только путевые расходы газа.

Ввод расчетных схем систем распределительных трубопроводов состоит из ввода графической части расчетной схемы – участков трубопроводов, узлов сочленений, потребителей и источников системы газоснабжения и описательной – значений технологических параметров конструктивных элементов системы.

Программа позволяет реализовать как совмещенную, так и отдельную технологию ввода графической и описательной компонент данных.

Для создания расчетной схемы был создан файл данных и, определив режим гидравлического расчета, была выбрана ступень давления рассчитываемой схемы – «низкое давление», материал трубопроводов – сталь (рис. 2). Далее были построены схемы сетей газоснабжен

Еще одним программным продуктом, используемым при проектировании систем газоснабжения, является программа «Расчёт диаметра газопровода согласно СП 42-101-2003» (рис. 4). Она достаточно проста, но в то же время информативна и наглядно представляет результаты расчета.

Программа основывается на своде правил СП 42-101-2003 и производит расчет гидравлических потерь на участке трубопровода сети [9, 10]. Следует учесть, что гидравлический расчет для выбора диаметра проектируемого газопровода производится предварительный, поэтому остальные обязательные шаги расчета необходимо провести разработчику проекта.

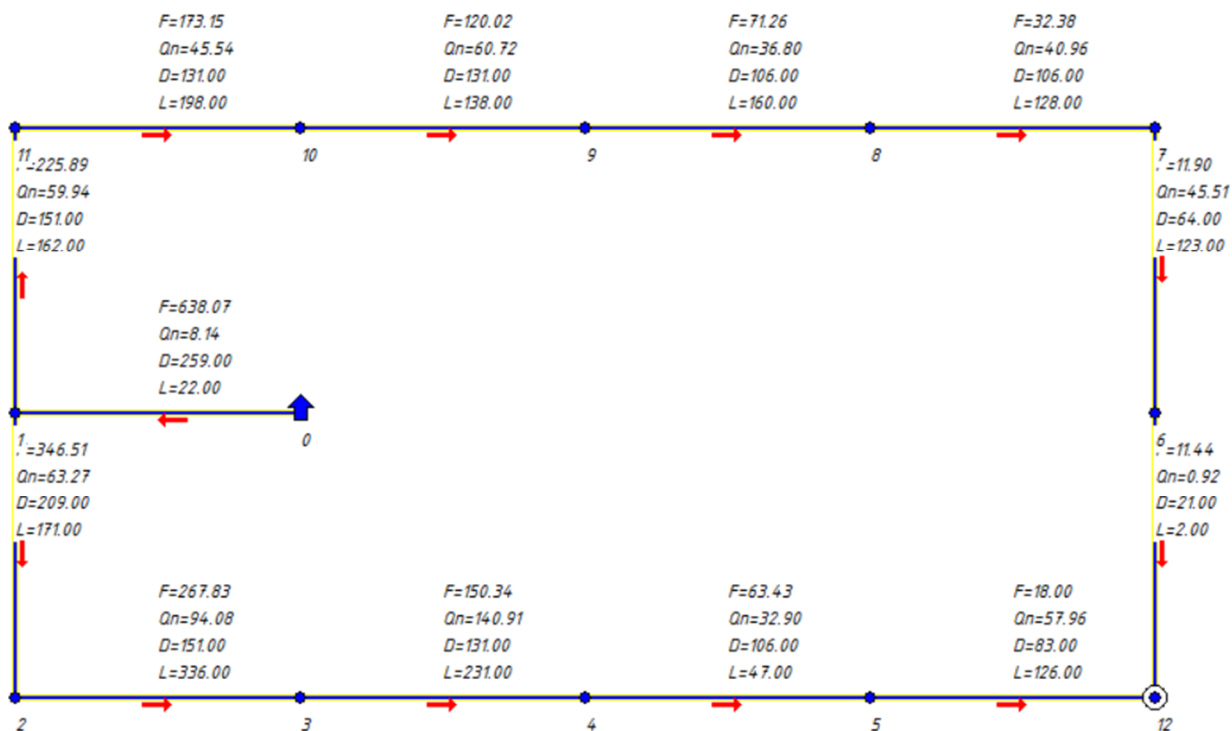


Рис. 3. Схема сети газопроводов низкого давления, построенная в программе «Hydraulic Calculator»

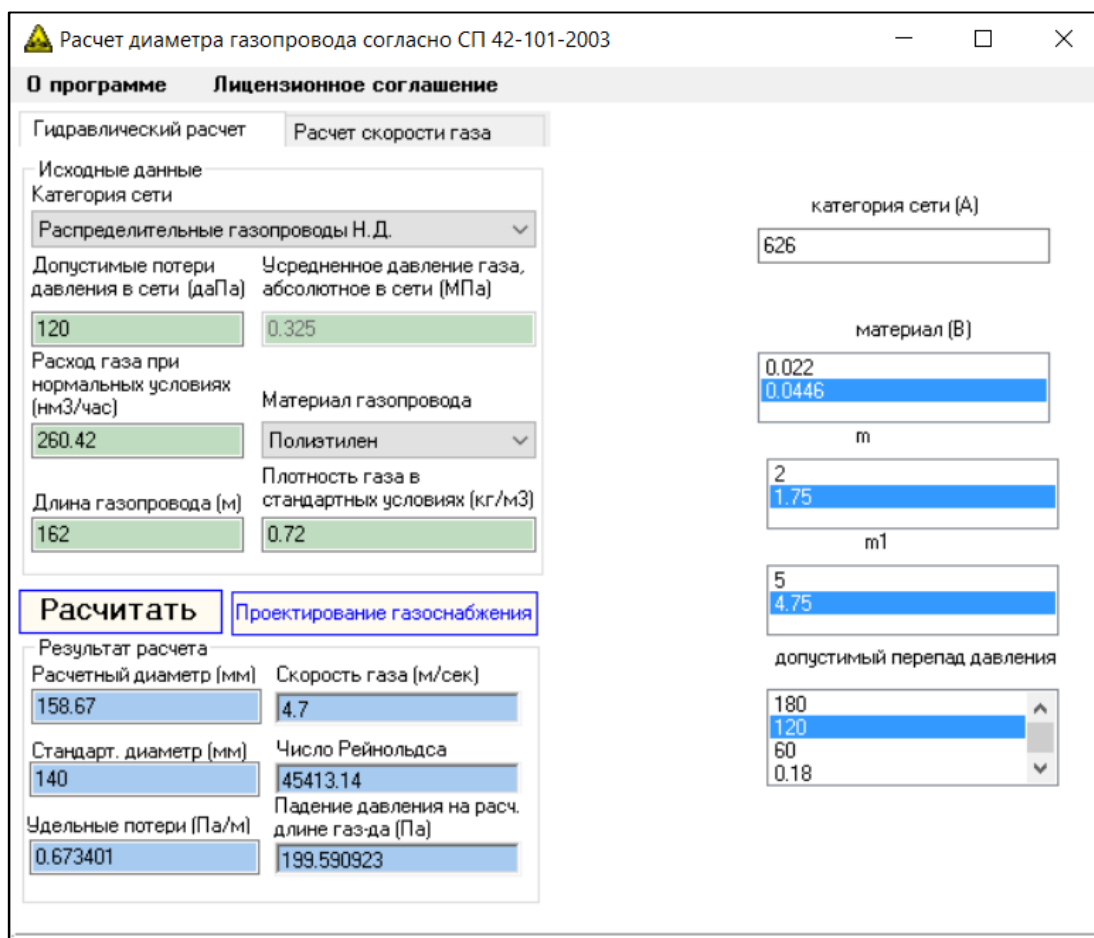


Рис. 4. Общий вид программы для расчёта диаметра газопровода

За основу была принята сеть низкого давления, представленная на рисунке 1, при этом основным материалом для трубопроводов был

принят полиэтилен. Запроектированная схема сети низкого давления представлена на рисунке 5.

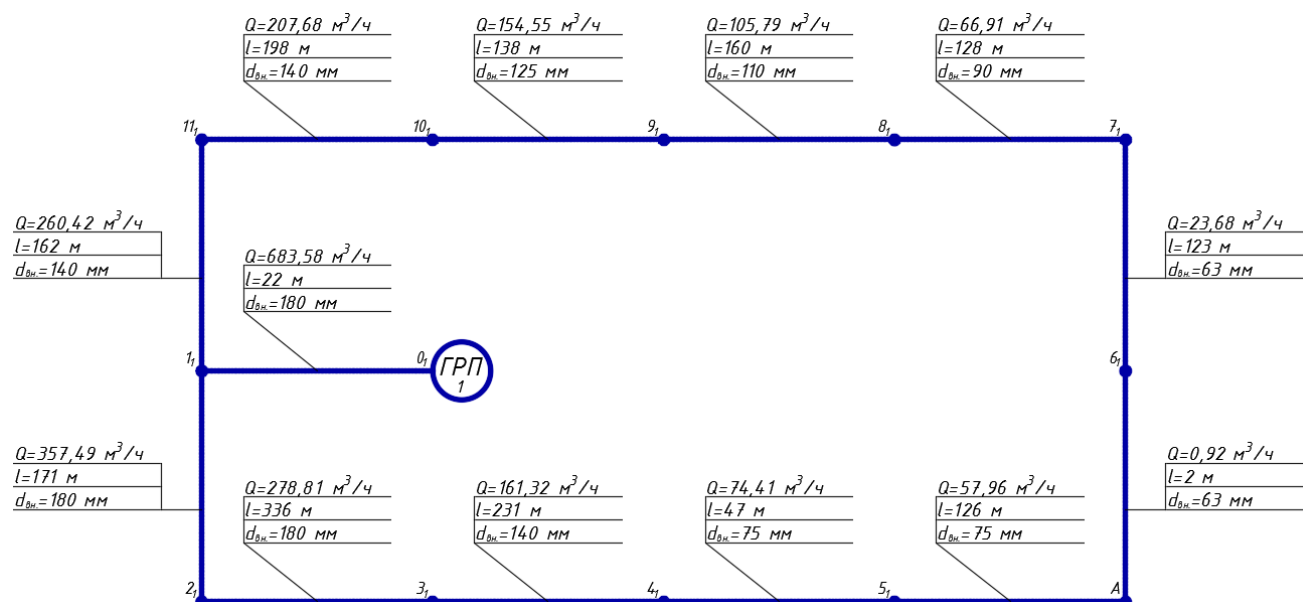


Рис. 5. Схема сети газопроводов низкого давления, рассчитанная по программе «Расчёт диаметра газопровода согласно СП 42-101-2003»

В результате расчета были определены диаметры участков газопроводов с учетом допустимых потерь давления и скоростей газа. При этом в данном программном комплексе одним из входных параметров является плотность газа, что позволяет производить расчеты трубопроводов для транспортировки горючих газов различного состава.

**Заключение.** Применение систем автоматизированного проектирования позволяет достичь необходимого качества и скорости подготовки проектных решений. Кроме того программные решения позволяют сэкономить трудозатраты специалистов без ущерба качеству работы.

**Выводы.** Рассмотрены теоретические аспекты газодинамического расчета газовых сетей низкого давления. Разработана и рассчитана кольцевая сеть газопроводов низкого давления с общим расходом газа  $683,6 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Произведен поверочный расчет в программном комплексе «Hydraulic Calculator», в результате которого были определены гидравлические режимы работы сети. Также произведен газодинамический расчет сети низкого давления в программе «Расчёт диаметра газопровода согласно СП 41-101-2003», в результате которого подобраны диаметры полиэтиленовых трубопроводов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Газоснабжение: учеб. / А. А. Ионин [и др.]; под общ. ред. В. А. Жилы. - М.: АСВ, 2011. 472 с.
2. Сулов Д.Ю. Разработка системы газоснабжения сельскохозяйственного предприятия

с использованием биогаза // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. №4. С. 183–186.

3. Nasr G.G., Connor N.E. Natural Gas Engineering and Safety Challenges // London. 2014. 418 p.

4. Herran-Gonzalez A, De La Cruz J.M., De Andres-Toro B, Risco-Martin J.L. Modeling and simulation of a gas distribution pipeline network // Applied Mathematical Modelling. 33 (2009). 1584-1600.

5. Расчет гидравлических потерь газопровода (расчет диаметра). Сайт компании «Proekt-gaz» [Электронный ресурс]. URL: <http://proekt-gaz.ru/load/6-1-0-27>.

6. Чугаев Р.Р. Гидравлика: учебник для вузов. М.: Ленинград энергоиздат, 1982. 672 с.

7. Борисов С.Н. Гидравлические расчеты газопроводов. М.: Издательство «Недра», 1972. 107 с.

8. СП 62.13330.2011. Свод правил. Газораспределительные системы. Актуализированная редакция СНиП 42-01-2002.

9. СП 42-101-2003. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб.

10. СП 42-102-2004. Проектирование и строительство газопроводов из металлических труб.

---

**Suslov D.Yu., Vyrodov G.K.****GAS DYNAMIC CALCULATIONS GAS NETWORKS LOW PRESSURE WITH THE USE OF CAD**

*Currently, there is growth in natural gas consumption in various industries that require the design and construction of long and branched pipeline systems. When designing a dead-end and ring networks gas produced hydraulic calculation by which made the selection and specification of the required diameter sections of the network. The use of computer-aided design to optimize the costs of the design and development of systems for any purpose. The theoretical aspects of the gas-dynamic calculation of low pressure gas networks. Developed and designed a ring network of low-pressure gas pipelines with a total gas flow rate of 683.6 m<sup>3</sup>/h. Made in the confirmatory analysis software package «Hydraulic Calculator», as a result of which were determined hydraulic modes of the network. Gas-dynamic calculation of the low-pressure network is also made in the "Calculation of the diameter of the pipeline according to the SP 42-101-2003", in which the diameters are selected sections of the network of modern polyethylene pipes.*

**Key words:** *gas, gas network design, gas-dynamic calculation software packages*

---

**Суслов Денис Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: suslov1687@mail.ru

**Выродов Георгий Константинович**, студент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.