ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ И ТОНКОЙ ОЧИСТКИ НА ОСНОВЕ ИХ РАЗМЕЩЕНИЯ В ОДНОМ КОРПУСЕ УСТАНОВКИ ГАЗОВОЙ ОЧИСТКИ

TECHNICAL AND ECONOMIC MODELING OF CYLINDRICAL
FILTERING ELEMENTS OF PRELIMINARY AND FINE CLEANING
FOR GAS CLEANING INSTALLATION
WHEN THEY ARE PLACED IN A SINGLE CASING

А. П. Усачев
Aleksandr P. Usachev

Саратовский государственный
технический университет
имени Гагарина Ю.А.,
г. Саратов, Российская Федерация

Yuri Gagarin Technical University
of Saratov,
Saratov, Russian Federation

А. Л. Шурайц
Aleksandr L. Shurayts

АО «Гипрониигаз»,
г. Саратов, Российская Федерация

Giproniigaz PLC,
Saratov, Russian Federation

Д. В. Салин
Dmitry V. Salin

АО «Гипрониигаз»,
г. Саратов, Российская Федерация

Giproniigaz PLC,
Saratov, Russian Federation

А. О. Хомутов
Anton O. Khomutov

АО «Гипрониигаз»,
г. Саратов, Российская Федерация

Giproniigaz PLC,
Saratov, Russian Federation

В научно-технической литературе отсутствуют научные основы технико-экономического моделирования цилиндрических двухступенчатых установок по очистке газа. Предложен новый принцип сокращения металло- и материалоемкости, заключающийся в размещении внутри объема корпуса установки очистки коаксиально расположенных, один внутри другого, цилиндрических фильтрующих гофрированных элементов предварительной очистки из сетки и тонкой очистки из волокнистого материала, находящихся на минимальном расстоянии относительно друг друга. В соответствии с данным принципом разработана конструкция установки газовой очистки, оформленная патентом на полезную модель № 174446.

В целях технико-экономического обоснования предлагаемой конструкции разработана математическая модель, включающая в себя расчетные схемы, целевую функцию, ограничения управляющего параметра целевой функции, балансовое уравнение, уравнения для определения капитальных вложений и эксплуатационных затрат, позволяющая определять минимальные интегральные затраты для двухступенчатой установки газовой очистки в зависимости от управляющего параметра – диаметра фильтрующего элемента тонкой очистки, с учетом временной динамики ее функционирования.

Результаты расчетов, обосновывающие экономическую целесообразность данной установки очистки, проведенные в соответствии с математической моделью, показали, что величина удельных интегральных затрат для предлагаемой установки очистки с фильтрующими элементами предварительной и тонкой очистки, размещенными в одном корпусе, в 1,65 раза ниже по сравнению с существующими вариантами (фильтрующие элементы предварительной и тонкой очистки размещены в отдельных корпусах).

Ключевые слова

установка газовой
очистки, технико-
экономическое
моделирование,
цилиндрические
фильтрующие
элементы,
предварительная
и тонкая очистка

In scientific and technical literature there are no scientific foundations for the technical and economic modeling of cylindrical two-stage gas cleaning installation. A new principle of metal and material consumption reduction is proposed, consisting in placing inside the cleaning unit casing coaxially located, one inside the other, cylindrical filtering corrugated pre-cleaning elements made of mesh, and fine cleaning made of the fibrous material located at a minimum distance relative to each other. In accordance with this principle, the design of a gas purification plant has been developed, and confirmed with a useful model patent No. 174446.

For the feasibility study of the proposed design, a mathematical model has been developed that includes calculation schemes, objective function, constraints on the control parameter of the objective function, balance equation, equations for determining capital investments and operating costs, which allows to determine the minimum integrated costs for a two-stage gas cleaning installation depending on the control parameter – fine cleaning filtering element diameter, taking into account temporary dynamics of its functioning.

The feasibility study results of this cleaning installation, made on the basis of the mathematical model, have shown that the value of the specific integrated costs for the proposed cleaning installation with filtering elements of preliminary and fine cleaning located in one casing is 1.65 times lower compared to existing variants (filter elements of preliminary and fine cleaning are placed in separate cases).

Key words

installation of gas cleaning, technical and economic modeling, cylindrical filter elements, preliminary and fine cleaning

1 Моделирование конструкции цилиндрических фильтрующих элементов предварительной и тонкой очистки, размещенных в одном корпусе устройства по очистке газа

Недостатком существующего варианта ($i = 1$) устройства очистки (рисунок 1) является высокая металлоемкость [1, 2] вследствие установки фильтрующих элементов предварительной и тонкой очистки в двух отдельных корпусах. В связи с этим актуальной задачей является снижение металлоемкости установки газовой очистки (УГО).

С целью решения поставленной задачи предлагается новый принцип сокращения металло- и материалоемкости (рисунок 2, вариант $i = 2$), заключающийся в размещении во внутреннем объеме одного корпуса ($z = 3$) цилиндрической двухступенчатой УГО коаксиально установленных, один внутри другого, фильтрующих элементов предварительной очистки ($z = 2$) и тонкой очистки ($z = 1$), находящихся на расстоянии δ , при котором сетка фильтрующего элемента предварительной очистки с размером ячейки не более 0,08 мм [3] в местах сближения с цилиндрическим фильтрующим элементом (ЦФЭ) тонкой очистки не засоряется интенсивнее, чем на участках, расположенных на больших расстояниях и, как следствие, не происходит увеличения гидравлического сопротивления и уменьшения пропускной способности на участках этого сближения.

В соответствии с предлагаемым принципом разработана конструкция УГО, оформленная патентом на полезную модель

№ 174446. Структурная схема предлагаемой конструкции УГО приведена на рисунке 2.

К основному условию, оказывающему влияние на работу ступеней предварительной и тонкой очистки при их совместном размещении в одном корпусе УГО, следует отнести минимальное расстояние δ , при котором сетка фильтрующего гофрированного элемента предварительной очистки в местах сближения с ЦФЭ тонкой очистки не засоряется интенсивнее, чем на участках, расположенных на больших расстояниях, и, как следствие, не происходит увеличения гидравлического сопротивления и уменьшения пропускной способности на участках этого сближения.

С целью получения расчетных значений основного эксплуатационного параметра для предлагаемого варианта $i = 2$, согласно патенту на полезную модель № 174446, был изготовлен, а затем испытан в научно-производственном центре АО «Гипрониигаз» опытно-промышленный образец УГО, оснащенный ступенью предварительной очистки из сетки с размером ячейки 0,08 мм и ступенью тонкой очистки из волокнистого материала с минимальным размером ячейки 0,005 мм.

При испытаниях в качестве рабочей среды использовался воздух высокого давления с находящимися в нем песчаными частицами размерами 0,2–0,005 мм.

Результаты испытаний показали, что минимальное расстояние между устройствами предварительной и тонкой очистки, с учетом отклонения от цилиндрической формы фильтрующих элементов $z = 1$ и $z = 2$ (рисунок 2),

Рисунок 1. Структурная схема существующего варианта $i = 1$ установки газовой очистки:
 $z = 1$ — блок из фильтрующих элементов тонкой очистки; $z = 2$ — блок из фильтрующих элементов предварительной очистки; $z = 3$ — обечайка с присоединенными к ней фланцами и эллиптическими крышками; $z = 4$ — цилиндрический стакан; $z = 5$ — уплотнительная прокладка; $z = 6$ — входной и выходной патрубки; $z = 7$ — соединения на основе резьбовых шпилек и гаек

Рисунок 2. Структурная схема предлагаемого варианта установки газовой очистки $i = 2$

составляет $\delta = 8,7$ мм. Предлагаемая конструкция УГО показала хорошую работоспособность и эргономичность.

2 Приведение к единой структуре конкурирующих вариантов цилиндрических установок газовой очистки

В связи с тем что математических моделей, пригодных для технико-экономического обоснования двухступенчатых УГО, в настоящий момент не существует, возникает необходи-

мость создания достоверных способов экономического анализа, основывающихся на базовых положениях системного подхода.

Отдельные вопросы этой актуальной проблемы рассматриваются в трудах Данилова А. [4, 5], Курицына Б.Н. [6], Попырина Л.С. [7], Усачева А.П. [8], Шурайца А.Л. [9], Желанова В.П. [10], в работах Сибирского института системных исследований РАН [11].

Однако предложенные в указанных работах решения не полностью соответствуют основополагающим требованиям системного анализа, прежде всего в части детальной постановки цели исследования, разработки структуры объекта исследований, учета влияния внешних факторов, выявления и обоснования управляющих параметров, учета временной динамики функционирования системы, разработки математической модели и оптимальности результатов, полученных в процессе расчетов.

В целях учета отмеченных факторов был проведен детальный экономический системный анализ.

Важной особенностью экономического системного подхода является разработка структуры сравниваемых вариантов установок очистки газа от механических примесей, то есть приведение к единой структуре с одинаковым количеством элементов [7–11].

Структурирование выполняется с учетом подхода к объекту исследования как к целой единой системе [4, 6, 9, 11]. В данном случае установка предварительной и тонкой очистки газа от механических примесей является единой совокупностью элементов, которые объединены общей целью — предотвращением попадания механических примесей размерами сверх 0,005 мм в регулирующее, защитное и предохранительное оборудование пункта редуцирования газа. Расчетная схема конкурирующих вариантов УГО показана на рисунках 1 и 2:

— с двумя цилиндрическими фильтрами, в корпусе одного из которых расположен блок из ЦФЭ предварительной, а в корпусе другого размещен блок из ЦФЭ тонкой очистки (вариант $i = 1$);

— с одним цилиндрическим фильтром, во внутреннем объеме корпуса которого расположены по направлению течения газа блоки фильтрующих элементов предварительной, а затем тонкой очистки (вариант $i = 2$).

Конкурирующие варианты на схеме (рисунки 1 и рисунок 2) структурируются [7, 8, 11], то есть приводятся к одинаковой форме, содержащей одинаковое число элементов « z ».

Первый элемент ($z = 1$) содержит блок из нескольких ЦФЭ тонкой очистки. Внутренний диаметр каждого фильтрующего элемента тонкой очистки составляет $d_{i,z=1}$ (рисунки 1 и 2).

Второй элемент ($z = 2$) содержит блок из нескольких ЦФЭ предварительной очистки. Внутренний диаметр каждого фильтрующего элемента предварительной очистки составляет:

— для варианта $i = 1$:

$$d_{i=1,z=2} = d_{i=1,z=1} \text{ (рисунок 1),}$$

— для варианта $i = 2$:

$$d_{i=2,z=2} = d_{i=2,z=1} + 2h_{i=2,z=1} + 2\delta \text{ (рисунок 2),}$$

где $h_{i=2,z=1}$ — высота ЦФЭ тонкой очистки для варианта $i = 2$, м;

δ — толщина зазора между ЦФЭ тонкой и предварительной очистки, м.

Третий элемент ($z = 3$) включает корпус из вертикальной цилиндрической обечайки с неразъемно присоединенными эллиптическим днищем с нижнего торца и плоским фланцем с верхнего торца, а также крышки из такого же плоского фланца с неразъемно присоединенным эллиптическим днищем. Внутренний диаметр корпуса установки очистки составляет:

— для варианта $i = 1$:

$$d_{i=1,z=3} = d_{i=1,z=1} \cdot 2(h_{i=1,z=1} + \delta_k) \text{ (рисунок 1),}$$

где $h_{i=1,z=1}$ — высота ЦФЭ тонкой очистки для варианта $i = 1$, м;

δ_k — толщина зазора между ЦФЭ предварительной очистки и корпусом, м;

— для варианта $i = 2$:

$$d_{i=2,z=3} = d_{i=2,z=1} \cdot 2(h_{i=2,z=1} + \delta + h_{i=2,z=2} + \delta_k) \text{ (рисунок 2),}$$

где $h_{i=2,z=1}$, $\delta + h_{i=2,z=2}$ — высота ЦФЭ тонкой и предварительной очистки для варианта $i = 2$, м.

Четвертый элемент ($z = 4$) включает цилиндрический стакан, выполненный из вертикальной обечайки. Внутренний диаметр корпуса стакана для обоих вариантов составляет $d_{i,z=4} = d_{i,z=1}$.

Пятый элемент ($z = 5$) включает плоские уплотняющие прокладки фланцев корпуса $z = 3$, которые предотвращают протечки газа в окружающий воздух. Внутренний диаметр уплотнительной прокладки составляет:

— для варианта $i = 1$:

$$d_{i=1,z=5} = d_{i=1,z=1} + 2(h_{i=1,z=1} + \delta_k + S + e_\phi) \text{ (рисунок 1),}$$

где S — толщина стенки корпуса установки очистки, м;

e_ϕ — нормативная величина конструктивного зазора между внутренней боковой поверхностью фланца и наружной боковой поверхностью обечайки и крышки, м (фрагмент А рисунка 1);

— для варианта $i = 2$:

$$d_{i=2,z=5} = d_{i=2,z=1} + 2(h_{i=2,z=1} + \delta + h_{i=2,z=2} + \delta_k + S + e_\phi) \quad (\text{рисунок 2}).$$

Шестой элемент ($z = 6$) содержит входной и выходной патрубки. Внутренний диаметр каждого из патрубков для обоих вариантов составляет $d_{i,z=6} = d_{i,z=1}$, а его длина принимается по конструктивным соображениям в размере $L_{i,z=6} = 0,5 d_{i,z=1}$ (рисунки 1 и 2). Количество патрубков зависит от номера варианта и равняется соответственно $n_{i=1,z=1} = 4$ для варианта $i = 1$ с двумя корпусами и $n_{i=2,z=1} = 2$ для варианта $i = 2$ с одним корпусом.

Седьмой элемент ($z = 7$) включает в себя соединения на базе резьбовых гаек и шпилек, стягивающих фланцы между собой. Диаметр каждой из резьбовых шпилек принимается согласно ГОСТ 12820–80 и ГОСТ 12815–80 в зависимости от величины внутреннего диаметра фланцев, равного:

— для варианта $i = 1$:

$$d_{i=1,z=1} + 2(h_{i=1,z=1} + \delta_k + S + e_\phi) \quad (\text{рисунок 1});$$

— для варианта $i = 2$:

$$d_{i=2,z=1} + 2(h_{i=2,z=1} + \delta + h_{i=2,z=2} + \delta_k + S + e_\phi) \quad (\text{рисунок 2});$$

а в конечном итоге от внутреннего диаметра ЦФЭ тонкой очистки (рисунки 1 и 2).

Основным положением экономического системного анализа служит создание математической модели обоснования двухступенчатой УГО с учетом структурирования, выявления и обоснования управляющего параметра, временной динамики функционирования системы.

3 *Разработка математической модели технико-экономического обоснования двухступенчатой установки газовой очистки*

Поскольку пропускная способность ЦФЭ тонкой очистки в предлагаемом варианте меньше, чем для предварительной очистки, то в этом случае при технико-экономическом сравнении за основу необходимо брать обеспечение одинаковой пропускной способности $V_{i,z=1}$ фильтрующих элементов тонкой очистки и равенство диаметров фильтрующих элементов тонкой очистки $d_{i,z=1}$ в обоих сравниваемых вариантах.

Математическая модель технико-экономического обоснования содержит: расчетные схемы (рисунки 1 и 2); целевую функцию (1), ограничение управляющего параметра целевой функции (2), балансовое уравнение (3), уравнения для капвложений (4) — (5) и эксплуатационных затрат (6).

Предлагаемая модель (1) — (6) позволяет с помощью математических методов описать основную цель, то есть нахождение минимальных интегральных затрат на двухступенчатую установку очистки. Управляющим параметром математической модели (1) — (6) является диаметр фильтрующего элемента тонкой очистки $d_{i,z=1}$, учитывая его определяющее влияние на целевую функцию (1), все составляющие капитальных вложений (4) — (5), эксплуатационных расходов (6).

Критерием оптимальности целевой функции (1) принимается минимум интегральных затрат на i -ый вариант двухступенчатой установки газовой очистки [12]:

$$Z = \left[\sum_{z=1}^Z K_{i,z} (d_{i,z=1}) + \varphi_{z,m} \sum_{z=1}^Z K_{i,z} (d_{i,z=1}) \right] + \sum_{t=1}^T a_t \sum_{m=1}^{m=3} \varphi_{m,z,t} \left[\sum_{z=1}^Z K_{i,z} (d_{i,z=1}) + \varphi_{z,m} \sum_{z=1}^Z K_{i,z} (d_{i,z=1}) \right] = \min; \quad (1)$$

$$a_t = (1 + E)^{-t}; \quad z = \overline{1, Z}, \quad t = \overline{1, T}, \quad m = \overline{1, M},$$

где z — номер элемента капитальных вложений в двухступенчатую установку очистки, изменяющийся от 1 до Z ;

$d_{i,z=1}$ — внутренний диаметр фильтрующего элемента тонкой очистки, являющийся управляющим параметром предлагаемой математической модели, m ;

$K_{i,z}(d_{i,z=1})$ — капитальные вложения в изготовление z -ого элемента i -го варианта установки очистки, руб.;

$\varphi_{z,m}$ — отчисления на монтаж двухступенчатой установки очистки, д.е.;

t — номер года работы УГО, который изменяется от 1 до T ;

a_t — коэффициент, который учитывает приведение затрат, разных во времени, к расчетному году, год;

E — норма дисконта, 1/год, которая принимается в размере 0,12 (средняя кредитная ставка банка);

m — элемент эксплуатационных затрат, который изменяется от 1 до M ;

$\varphi_{m,z,t}$ — доля годовых отчислений на m -ый вид работ от K_z , которые связаны с эксплуатацией z -го элемента, 1/год.

Расчетная схема определения затрат в i -ый вариант УГО показана на рисунках 1 и 2.

Система по ограничению управляющих параметров целевой функции (1):

$$d_{i,z=1,\min} \leq d_{i,z=1} \leq d_{i,z=1,\max}. \quad (2)$$

Балансовое уравнение предлагаемой модели сформулировано следующим образом.

Масса примесей, которая поступила из входного газопровода, количественно равна

суммарной массе механических примесей, уловленных ЦФЭ предварительной и тонкой очистки и поступивших в выходной газопровод, то есть

$$g_{\text{вх}} \cdot V_{\text{ч}} = G_{i,z=2} + G_{i,z=1} + g_{\text{вых}} \cdot V_{\text{ч}}, \quad (3)$$

где $g_{\text{вх}}$ — концентрация механических примесей в природном газе, поступающем из входного газопровода для i -го варианта УГО, г/м³;

$V_{\text{ч}}$ — расчетный часовой расход природного газа, одинаковый для каждого i -го варианта во входном и выходном газопроводах, м³/ч;+

$G_{i,z=2}$, $G_{i,z=1}$ — соответственно общая масса мехпримесей, уловленных фильтрующими элементами предварительной и тонкой очистки для i -го варианта УГО, г/ч;

$g_{\text{вых}}$ — концентрация механических примесей в природном газе, поступающем в выходной газопровод для i -го варианта установки очистки, г/м³.

Выявим аналитические выражения для различных элементов капитальных затрат и эксплуатационных расходов, которые связаны с очисткой газа от механических примесей, входящих в (1), как функцию $K_{i,z}(d_{i,z=1})$.

Капитальные вложения в различные элементы установки очистки z принимаются пропорциональными их фильтрующей площади $F_{i,z}(d_{i,z=1})$, например, для ЦФЭ тонкой $z = 1$ и предварительной $z = 2$ очистки:

$$K_{i,z}(d_{i,z=1}) = k_{i,z} F_{i,z}(d_{i,z=1}) n_{i,z}, \quad (4)$$

или пропорциональными их массе, например, для корпуса $z = 3$, стакана $z = 4$, уплотнений $z = 5$, входных и выходных патрубков $z = 6$ и комплекта резьбовых соединений $z = 7$:

$$K_{i,z}(d_{i,z=1}) = k_{i,z} M_{i,z}(d_{i,z=1}) n_{i,z}, \quad (5)$$

где $k_{i,z}$ — удельные капитальные вложения в изготовление элемента z двухступенчатой УГО в расчете на единицу их площади, например, для ЦФЭ тонкой $z = 1$ и предварительной $z = 2$ очистки, руб./м², и единицу массы, например, для $z = 3 \div 7$, руб./кг;

$F_{i,z}(d_{i,z=1})$, $M_{i,z}(d_{i,z=1})$ — площадь, например, для $z = 1 \div 2$, м², и масса, например, для элементов $z = 3 \div 7$, кг, элемента z двухступенчатой УГО;

$n_{i,z}$ — количество элементов z в двухступенчатой УГО, шт.

Так, в варианте $i = 1$ указанные величины будут равны: $n_{i=1,z=1} = 2$; $n_{i=1,z=2} = 2$; $n_{i=1,z=3} = 2$; $n_{i=1,z=4} = 2$; $n_{i=1,z=5} = 2$; $n_{i=1,z=6} = 4$; $n_{i=1,z=7} = 2$, а в

варианте $i = 2$ для элементов от $z = 1$ до $z = 7$ все указанные величины будут равны: $n_{i=2,z} = 1$.

Расходы по эксплуатации в формуле (1) для каждого i -го элемента УГО, которые связаны с текущим ($m = 1$), капитальным ($m = 2$) ремонтом, а также с техническим обслуживанием ($m = 3$), вычисляются в долях $\varphi_{m,z}$ от капитальных затрат, то есть

$$\sum_{i=1}^T a_i \sum_{m=1}^{m=3} \varphi_{m,z} \cdot \left[\sum_{z=1}^Z K_{i,z}(d_{i,z=1}) + \varphi_{z,m} \sum_{z=1}^Z K_{i,z}(d_{i,z=1}) \right]. \quad (6)$$

В целях численной оценки результатов исследования, в соответствии с математической моделью (1) — (6), были выполнены соответствующие расчеты.

Результаты расчетов технико-экономического сравнения УГО по вариантам $i = 1$ и $i = 2$, проведенных в соответствии с математической моделью (1) — (6), показаны на графике (рисунок 3).

1 — вариант установки очистки с фильтрующими элементами предварительной и тонкой очистки, размещенными в отдельных корпусах ($i = 1$);
2 — вариант установки очистки с фильтрующими элементами предварительной и тонкой очистки, размещенными в одном корпусе ($i = 2$)

Рисунок 3. Зависимость интегральных удельных затрат на сравниваемые варианты УГО от их пропускной способности

Из графика следует, что значение интегральных удельных затрат в УГО с фильтрующими элементами предварительной и тонкой очистки, размещенными в одном корпусе (линия 1 на рисунке 3), для варианта $i = 2$ в среднем в 1,65 раза меньше в сравнении с вариантом $i = 1$ с ЦФЭ предварительной и тонкой очистки, размещенными в отдельных корпусах (линия 2) для всего типового ряда УГО.

Сокращение затрат достигается за счет исключения в варианте $i = 2$ одного входного и одного выходного патрубков $z = 6$ (рисунок 2),

снижения затрат на корпус $z = 3$, стакан $z = 4$, уплотнительную прокладку $z = 5$, комплект болтовых соединений $z = 7$.

Выводы

1. Предложен новый принцип сокращения металлоемкости, заключающийся в размещении во внутреннем объеме одного корпуса цилиндрической двухступенчатой УГО коаксиально расположенных, один внутри другого, фильтрующих элементов предварительной очистки из сетки и тонкой очистки из волоконистого материала, находящихся на таком расстоянии, при котором сетка фильтрующего гофрированного элемента предварительной очистки в местах сближения с ЦФЭ тонкой очистки $z = 1$ не засоряется интенсивнее, чем на участках, расположенных на больших расстояниях (патент на полезную модель № 174446).

2. Разработана математическая модель технико-экономического обоснования, кото-

рая позволяет определять минимальные интегральные затраты для двухступенчатой УГО в зависимости от управляющего параметра, то есть диаметра фильтрующего элемента тонкой очистки с учетом временной динамики ее функционирования.

3. Результаты расчетов обоснования наиболее экономичного типа УГО, выполненных в соответствии с математической моделью (1) — (6), показали, что величина интегральных удельных затрат для предлагаемого варианта $i = 2$ с фильтрующими элементами предварительной и тонкой очистки, размещенными в одном корпусе (линия 1 на рисунке 3), в среднем в 1,65 раза ниже по сравнению с существующим вариантом $i = 1$ с ЦФЭ предварительной и тонкой очистки, размещенными в отдельных корпусах (линия 2).

СПИСОК ИСПОЛЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Промышленное газовое оборудование: справочник. 6-е изд., перераб. и доп. Саратов: Газовик, 2013. 1125 с.
2. Шур И.А. Газорегуляторные пункты и установки. Л.: Недра, 1985. 288 с.
3. ГОСТ Р 54960-2012. Системы газораспределительные. Пункты газорегуляторные блочные. Пункты редуцирования газа шкафные. Общие технические требования. М: Росстандарт, 2012. 65 с.
4. Danilov A., Garkina I. Systems Approach to the Modeling and Synthesis of Building Material. *Contemporary Engineering Sciences*, Vol. 8, 2015, no. 5. pp. 219–225. URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.517> (дата обращения: 20.01.2016).
5. Budylna E., Danilov A., Garkina I. Control of Multiobjective Complex Systems / *Contemporary Engineering Sciences*. Vol. 8, 2015, no. 10, pp. 441–445. URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5276> (дата обращения: 20.01.2016).
6. Курицын Б.Н. Оптимизация систем теплогазоснабжения и вентиляции. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1992. 160 с.
7. Попырин Л.С. Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок. М.: Энергия, 1978. 416 с.
8. Желанов В.П., Усачев А.П., Шурайц А.Л., Густов С.В. Разработка математической модели по обоснованию типа системы грубой очистки природного газа от твердых частиц и оптимизации ее геометрических и эксплуатационных параметров // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2011. Вып. 1 (83). С. 148–158.
9. Шурайц А.Л. Математическая модель оптимизации системы комплексной защиты подземных резервуаров и трубопроводов сжиженного углеводородного газа путем заключения в футляр, заполненный азотом // Нефтегазовое дело. 2008. Т. 6. № 2. С. 88–93.

10. Усачев А.П., Шурайц А.Л., Густов С.В., Желанов В.П. Обоснование типа системы очистки природного газа, устанавливаемой перед регулирующей, предохранительной, защитной арматурой и узлами учета газорегуляторных пунктов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2011. Вып. 1 (83). С. 159–167.

11. Системные исследования в энергетике в новых социально-экономических условиях / В.П. Булатов, Н.И. Воропай, А.З. Гамм и др. Новосибирск: Наука, 1995. 189 с.

12. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: утв. Минэкономики РФ, Минфином РФ, Госстроем РФ от 21.06.1999 № ВК447. М.: Информэлектро, 1999. 201 с.

REFERENCES

1. *Promyshlennoe gazovoe oborudovanie: spravochnik* [Industrial Gas Equipment: Reference Book]. 6-th ed. Saratov, Gazovik Publ., 2013. 1125 p. [in Russian].
2. Shur I.A. *Gazoregulyatornye punkty i ustanovki* [Gas Control Points and Installations]. Leningrad, Nedra Publ., 1985. 288 p. [in Russian].
3. GOSTR 54960-2012. *Sistemy gazoraspredeletel'nye. Punkty gazoregulyatornye blochnye. Punkty redutsirovaniya gaza shkafnye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. The gas distribution system* [The Gas Distribution System. Items Gas Regulator Block. Points Reduction of the Gas Cabinet. General Technical Requirements]. Moscow, Rosstandart Publ., 2012. 65 p. [in Russian].
4. Danilov A., Garkina I. Systems Approach to the Modeling and Synthesis of Building Material. *Contemporary Engineering Sciences*, 2015, Vol. 8, No. 5, pp. 219–225. Available at: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.517> (accessed 20.01.2016).
5. Budylna E., Danilov A., Garkina I. Control of Multiobjective Complex Systems. *Contemporary Engineering Sciences*, 2015, Vol. 8, No. 10, pp. 441–445.

Available at: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5276> (accessed 20.01.2016).

6. Kuritsyn B.N. *Optimizatsiya sistem teplogazosnabzheniya i ventilyatsii* [Optimization of Heat and Gas Supply and Ventilation Systems]. Saratov, Sarat. University Publ., 1992. 160 p. [in Russian].

7. Popyrin L.S. *Matematicheskoe modelirovanie i optimizatsiya teploenergeticheskikh ustanovok* [Mathematical Modeling and Optimization of Thermal Power Plants]. Moscow, Energiya Publ., 1978. 416 p. [in Russian].

8. Zhelanov V.P., Usachev A.P., Shurait A.L., Gustov S.V. Razrabotka matematicheskoi modeli po obosnovaniyu tipa sistemy gruboi ochestki prirodnogo gaza ot tverdykh chastits i optimizatsii ee geometricheskikh i ekspluatatsionnykh parametrov [Development of a Math Model Substantiating the Type of the System of Natural Gas Primary Cleaning from Solids and Optimizing its Geometric and Operation Parameters]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefii i nefteproduktov — Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Petroleum Products*, 2011, Issue 1 (83), pp. 148–158. [in Russian].

9. Shurait A.L. Matematicheskaya model' optimizatsii sistemy kompleksnoi zashchity podzemnykh rezervuarov i truboprovodov szhizhennogo uglevodorodnogo gaza putem zaklyucheniya v futlyar, zapolnennyy azotom [Mathematical Model of Optimization System for Complex Safety of Underground Tanks and Pipelines for Liquefied Hydrocarbon Gas by Enclosing them into the Casing, Filled with

Nitrogen]. *Neftegazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2008, Vol. 6, No. 2, pp. 88–93. [in Russian].

10. Usachev A.P., Shurait A.L., Gustov S.V., Zhelanov V.P. Obosnovanie tipa sistemy ochestki prirodnogo gaza, ustanavlivaemoi pered reguliruyushchei, predokhranitel'noi, zashchitnoi armaturoi i uzlami ucheta gazoregulyatornykh punktov [Substantiation of the Type of Natural Gas Purification System Installed before Control and Safety Valves and Metering Stations of Gas Control Units]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefii i nefteproduktov — Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Petroleum Products*, 2011, Issue 1 (83), pp. 159–167. [in Russian].

11. Bulatov V.P., Voropaj N.I., Gamm A.Z. e.a. *Sistemnye issledovaniya v energetike v novykh sotsial'no-ekonomicheskikh usloviyakh* [System Studies in the Energy Sector in the New Socio-Economic Conditions]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1995. 189 p. [in Russian].

12. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke effektivnosti investitsionnykh projektov: utv. Minekonomiki RF, Minfinom RF, Gosstroem RF ot 21.06.1999 № VK447* [Methodical Recommendations on Estimation of Investment Projects Effectiveness: Approved by Ministry of Economy of the Russian Federation, the Ministry of Finance of the Russian Federation, Gosstroy of the Russian Federation dd. 21.06.1999 No. BK447]. Moscow, Informelektro Publ., 1999. 201 p. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ABOUT THE AUTHORS

Усачев Александр Прокофьевич, д-р техн. наук, профессор кафедры «Теплогазоснабжение, вентиляция, водообеспечение и прикладная гидрогазодинамика», СГТУ, г. Саратов, Российская Федерация

Aleksandr P. Usachev, Doctor of Engineering Sciences, Professor of Heat and Gas Supply, Ventilation, Water Supply and Applied Fluid Dynamics Department, SSTU, Saratov, Russian Federation

e-mail: usachev-ap@mail.ru

Шурайц Александр Лазаревич, д-р техн. наук, генеральный директор АО «Гипрониигаз», г. Саратов, Российская Федерация

Aleksandr L. Shurayts, Doctor of Engineering Sciences, General Director of Giproniigaz JSC, Saratov, Russian Federation

Салин Дмитрий Валерьевич, начальник отдела испытаний и внедрения новой техники, материалов и технологий научно-технического центра АО «Гипрониигаз», г. Саратов, Российская Федерация

Dmitry V. Salin, Head of Testing and Implementation of New Equipment, Materials and Technologies, Scientific and Technical Center, Giproniigaz JSC, Saratov, Russian Federation

Хомутов Антон Олегович, начальник технического отдела АО «Гипрониигаз», г. Саратов, Российская Федерация

Anton O. Khomutov, Head of Technical Department Giproniigaz JSC, Saratov, Russian Federation