

ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 614.844

doi: 10.23968/2305–3488.2018.20.2.3–9

МЕТОДИКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Баранчикова Н. И., Епифанов С. П., Зоркальцев В. И.

METHODS OF HYDRAULIC CALCULATION OF AUTOMATIC FIRE EXTINGUISHING SYSTEMS

Baranchikova N. I., Epifanov S. P., Zorkaltsev V. I.

Аннотация

Введение: за последние десятилетия в России ведется интенсивное строительство высотных зданий, многофункциональных комплексов, складов и автостоянок, в том числе подземных, возгорания в которых иногда приводят к человеческим жертвам и большим материальным потерям. Поэтому важно эффективно решать задачу оборудования зданий и сооружений автоматическими системами противопожарной защиты для подавления очагов пожара автоматическими установками пожаротушения, использующими воду или растворы на ее основе в качестве огнетушащего вещества. Запроектированные автоматические установки пожаротушения должны обеспечивать требуемую интенсивность орошения в течение определенного времени и не допускать избыточного попадания огнетушащего вещества в помещения, где нет возгорания, чтобы избежать порчи имущества и оборудования. **Методы и материалы:** в статье приводится математическая модель потокораспределения в автоматических системах пожаротушения и водяных завесах, на основе которой ставится задача потокораспределения с нефиксированными отборами у потребителей. Предлагаемая модель позволяет получать более реалистичные величины отборов воды через насадки (распылители) и давлений в узлах. Приводится простой и достаточно эффективный алгоритм решения рассмотренной задачи потокораспределения в виде системы нелинейных алгебраических уравнений. Дается краткая характеристика программного комплекса в сети Интернет, предназначенного для моделирования гидравлических режимов в системах наружного и внутреннего водопровода, в том числе системах автоматического пожаротушения с учетом местных сопротивлений. **Результаты:** предложена модель потокораспределения с нефиксированными отборами в виде системы нелинейных алгебраических уравнений, позволяющая одновременно находить все искомые параметры потокораспределения в многокольцевых автоматизированных установках пожаротушения. **Заключение:** предложенная постановка задачи может быть использована для гидравлического расчета совмещенных противопожарных водопроводов (внутреннего противопожарного водопровода и автоматической установки пожаротушения) и водяных завес. Приведенная в статье модель потокораспределения использована в программном комплексе ИСИГР и апробирована на многочисленных примерах.

Ключевые слова: задача потокораспределения, нефиксированные отборы, системы автоматического пожаротушения, оросители, пьезометрические напоры, давление, программный комплекс.

Abstract

Introduction: Russia has been intensively building high-rise buildings, multifunctional complexes, warehouses and car parks, including underground ones, where ignition sometimes leads to human casualties and large material losses in recent decades. Therefore it is important to efficiently solve the task of equipping buildings and structures with automatic fire protection systems to suppress fires with automatic fire extinguishing installations using water or solutions based on it as a fire extinguishing agent. The designed automatic fire extinguishing systems should provide the required irrigation intensity for a certain time and prevent excessive exposure to fire extinguishing substances in rooms where there is no fire to avoid damage to property and equipment. **Methods and materials:** the mathematical model of flow distribution in automatic fire extinguishing systems and water curtains is considered in the article, on the basis of which the problem of flow distribution with non-fixed selection from consumers is put. The proposed model allows to obtain more realistic values of water sampling through the nozzles (sprays) and pressures in the nodes. An algorithm for solving the considered flow distribution problem is presented in the form of a system of nonlinear algebraic equations, as well as a numerical example. A short characteristic of web-based software for modeling of water supply system and fire extinguishing is given. **Results:** a flow distribution model with non-fixed selections in the form of a system of nonlinear algebraic equations is proposed. It simultaneously allows finding all the required flow distribution parameters in multi-ring automated fire extinguishing installations. **Conclusion:** the proposed statement of the problem can be used for the hydraulic calculation of combined fire-fighting water pipes (internal fire-fighting water supply and automatic fire-extinguishing installation) and water curtains. The flow distribution model used in the article was used in the software package "ISIGR" and was tested on numerous examples.

Keywords: the task of flow distribution, non-fixed nodal selection, automatic flow distribution system, water curtains, sprinklers, piezometric pressure, pressure, software.

Введение

За последние десятилетия в России ведется интенсивное строительство высотных зданий, многофункциональных комплексов и складов, возгорания в которых иногда приводят к человеческим жертвам и большим материальным потерям. Для тушения возгораний в этих зданиях требуются большие расходы воды на внутреннее пожаротушение (70–500 л/с) [1]. В связи с этим важно уметь эффективно решать задачу оборудования зданий и сооружений автоматическими системами противопожарной защиты для подавления очагов пожара автоматическими установками пожаротушения (АУП), использующими воду или растворы на ее основе в качестве огнетушащего вещества [2–5]. Запроектированные АУП должны обеспечивать требуемую интенсивность орошения в течение определенного времени и не допускать избыточного попадания огнетушащего вещества в помещения, где нет возгорания, чтобы избежать порчи имущества и оборудования, в том числе на ниже расположенных этажах [5, 6]. Одной из наиболее важных и сложных задач, решаемых в процессе проектирования АУП, является задача гидравлического расчета трубопроводной системы, включающей в себя распылители (оросители), распределительные, магистральные и питающие трубопроводы, сигнальные клапаны, насосные установки и другое оборудование [7, 8]. В общем случае гидравлический расчет проводится одинаково для АУП различного типа: спринклерных, дренчерных, спринклерно-дренчерных и спринклерных установок с водяной завесой, водяных завес, АУП, совмещенных с внутренним противопожарным водопроводом [8–13].

Методы и материалы

При описании потокораспределения в производных трубопроводных системах наиболее широко применяется модель потокораспределения с сосредоточенными параметрами [14], в которой параметры модели задаются в виде постоянных величин. Такая модель не позволяет достаточно адекватно описывать важные для практики случаи потокораспределения. Так, в ситуациях, когда требуется учитывать зависимость изменения расхода в узле (через ороситель, насадок, пожарный кран) от давления (напора) в нём, возникает потребность решения задачи потокораспреде-

ления с нефиксированными узловыми расходами. Такая необходимость связана с тем, что при расчетах систем автоматического пожаротушения, в том числе водяных завес, требуется, чтобы интенсивность орошения заданного участка была не ниже требуемой (через диктующий ороситель, пожарный кран) и в то же время чтобы расходы через другие оросители незначительно превышали требуемые расходы. В работах [5, 13, 15, 16] рассматривались задачи гидравлического расчета систем автоматического пожаротушения и устройство водяных завес. В этих работах гидравлический расчет производится, в основном, для тупиковых систем, начиная с диктующего оросителя. Затем определяются последовательно расчетные параметры (расходы на участках и через оросители, давление или пьезометрические высоты в узлах) от диктующего оросителя до водопитателя (насосной установки или сигнального клапана). Уравнение Д. Бернулли в явном виде не используется, поэтому определить потоко-распределение в многокольцевой сети затруднительно. Чтобы более точно определить величины расходов через оросители и, следовательно, расчетный расход от водопитателя, а также напоры в узлах, необходимо привлекать модель потокораспределения с нефиксированными отборами [17] и находить искомые величины не по каждому отдельному элементу последовательно, а решать систему нелинейных алгебраических уравнений итерационно, каким-либо методом. Для этого часто применяют различные программные комплексы, позволяющие выполнять гидравлические расчеты трубопроводных систем с учетом всех местных сопротивлений и изменения шероховатости трубопроводов в процессе эксплуатации.

При описании модели потокораспределения можно использовать величины пьезометрических напоров либо приведенных давлений, то есть

$$\tilde{p} = \rho g z + p,$$

где \tilde{p} — приведенное давление, Па; ρ — плотность среды, кг/м³; g — ускорение свободного падения, м/с²; z — расстояние от плоскости сравнения до выбранной точки сечения трубопровода, в которой определяется давление, м; p — избыточное давление в выбранной точке сечения, Па.

Рассмотрим систему уравнений, описывающую задачу потокораспределения с нефиксированными узловыми расходами:

$$Ax = b(u), \quad (1)$$

$$A^T u = y - c, \quad (2)$$

$$y = f(x). \quad (3)$$

Структура моделируемой гидравлической системы может быть описана ориентированным графом [18]. Пусть m — число узлов, n — число дуг этого графа, тогда A — матрица инцидентности графа размера $m \times n$ с элементами: $a_{ij} = 1$, если дуга j выходит из узла i ; $a_{ij} = -1$, если дуга j входит в узел i ; $a_{ij} = 0$, если дуга j не инцидентна узлу i .

Компоненты вектор-функции $b(u)$ — заданные для узлов $i = 1, \dots, m$ функции, описывающие зависимость узлового расхода от напора (давления) в каждом узле, причём $\sum_{i=1}^m b_i(u_i) = 0$. Если $b_i(u_i) > 0$, то величина $b_i(u_i)$ является узловым расходом в систему в узле i . Если $b_i(u_i) < 0$, то величина $|b_i(u_i)|$ задает узловой расход (через ороситель) из системы в узле i . Компоненты вектора c соответствуют заданным приращениям напора на дугах $j = 1, \dots, n$, то есть это величина напора (давления) насоса при нулевом расходе. Кроме того, заданы величины напора (приведенного давления), отбора в диктующем узле и z_i — расстояние от плоскости сравнения до выбранной точки сечения в узле i .

Искомыми величинами являются компоненты векторов: $x, y \in \mathbf{R}^n$, $u \in \mathbf{R}^{m-1}$. Величины x_j — расходы на дугах $j = 1, \dots, n$. Величины y_j — потери напора (давления) на дугах $j = 1, \dots, n$. Компоненты вектора переменных u — напоры в соответствующих узлах ($u_i, i = 2, \dots, m$).

Уравнение (1) выражает баланс расходов в узлах. Уравнение (2) определяет баланс между разностью напоров (приведенных давлений) $(A^T u)_j$ в концевых узлах дуги j и алгебраической суммой потери напора y_j и приращения напора c_j на каждой дуге j графа трубопроводной системы. Условие (3) выражает зависимость между расходом x_j и потерей напора y_j по всем дугам $j = 1, \dots, n$.

Зависимость узлового расхода через ороситель от напора (давления) в узле может быть описана формулой

$$b_i(u_i) = k\sqrt{u_i - z_i}, \quad u_i \geq z_i, \quad (4')$$

либо

$$b_i(\tilde{p}_i) = k\sqrt{\tilde{p}_i - \rho g z_i}, \quad \tilde{p}_i \geq \rho g z_i, \quad i \in I, \quad (4'')$$

где k — коэффициент производительности оросителя (пожарного крана (ПК)), принимаемый по технической документации, л/(с·м^{0,5}), (л/(с·МПа^{0,5})); z_i — расстояние от плоскости сравнения до оросителя, м; I — множество узлов, в которых расположены оросители диктующей защищаемой орошаемой площади помещения.

Если плоскость сравнения совместить с плоскостью расположения рядков оросителей, то формулы (4) приобретут более простой вид

$$b_i(u_i) = k\sqrt{u_i} \quad \text{и} \quad b_i(p_i) = k\sqrt{p_i}, \quad i \in I, \quad (5)$$

при условии, что все оросители находятся в одной плоскости. Тем, что распределительные трубопроводы прокладываются с небольшим уклоном, можно пренебречь.

Формулы (4) — это преобразование формулы расхода из незатопленного внешнего цилиндрического насадка [19]. Коэффициент расхода находится в диапазоне от 0,73 до 0,82.

В [5] одновременно с поиском расходов (в том числе отборов) и напоров в узлах подбираются диаметры трубопроводов. В предлагаемой постановке задачи диаметры трубопроводов, напор и отбор в диктующем узле должны быть найдены предварительно, до проведения гидравлического расчета. Для этого можно предположить, что все отборы — постоянные величины, и определить диаметры трубопроводов для разветвленной сети расчетом либо по таблице В.3 [5]. После выполнения поверочного гидравлического расчета диаметры некоторых трубопроводов можно изменить так, чтобы скорости движения жидкости в них были в допустимых пределах [5].

В диктующем оросителе заданы одновременно две величины, отбор и напор (давление). В то же время на водопитателе не задано ни одной величины. Они являются искомыми величинами. Такая задача рассмотрена в [22].

После подстановки y из (3) в (2), система (1)–(3) приобретает вид

$$Ax = b(u), \quad (6)$$

$$A^T u = f(x) - c. \quad (7)$$

Приведем один достаточно простой алгоритм решения этой системы уравнений.

Представим функцию $f(x)$ в виде

$$f(x) = \tilde{f}(x)x,$$

где $\tilde{f}(x)$ — диагональная матрица порядка n , на диагонали которой стоят элементы $\tilde{f}_j(x_j)$, такие, что $f_j(x_j) = \tilde{f}_j(x_j)x_j$, $j = 1, \dots, n$. Такое представление всегда можно сделать для функций, описывающих потери напора в трубопроводах и для напорно-расходных характеристик насосов.

Для получения начального приближения примем отборы из всех оросителей равными отбору из диктующего оросителя (ПК) \bar{b}_1 , а напор в диктующем оросителе — требуемому напору перед диктующим оросителем и решим систему линейных уравнений,

$$\begin{aligned} Ax &= \bar{b}, \\ A^T u &= \tilde{f}(x^0)x - c. \end{aligned}$$

Пусть вычислено (или задано) начальное приближение (x^0, u^0) . Тогда приближения (x^{3k-2}, u^{3k-2}) и (x^{3k-1}, u^{3k-1}) , $k = 1, 2, \dots$ можно получить, решая системы уравнений:

$$\begin{aligned} Ax &= b(u^{3k-3}), \tilde{f}(x^{3k-3})x - A^T u = c, \\ \text{и } Ax &= b(u^{3k-2}), \tilde{f}(x^{3k-2})x - A^T u = c. \end{aligned}$$

Приближения (x^{3k-2}, u^{3k-2}) , (x^{3k-1}, u^{3k-1}) осциллируют около решения, поэтому $3k$ -е приближение можно определять по формуле

$$\begin{aligned} x^{3k} &= (x^{3k-2} + x^{3k-1})/2, \quad u^{3k} = (u^{3k-2} + u^{3k-1})/2, \\ k &= 1, 2, \dots \end{aligned}$$

Окончание итераций можно осуществлять при выполнении неравенств:

$$\|x^k - x^{k-1}\| \leq \varepsilon_1, \quad \text{и} \quad \|u^k - u^{k-1}\| \leq \varepsilon_2,$$

где $\varepsilon_1 > 0$, $\varepsilon_2 > 0$ заданы заранее.

После отыскания решения (x, u) с заданной точностью из (4) определяются $b(u)$, а из уравнения (3) — y .

Результаты и обсуждение

1. Предлагаемый метод имеет достаточно широкую область для выбора начального приближения (по сравнению с ньютоновскими методами).

2. Осцилляция приближений позволяет в ходе вычислений оценивать погрешность решения.

3. На каждой итерации сохраняется сильная разреженность матрицы системы линейных алгебраических уравнений.

4. Метод обладает достаточно высокой скоростью сходимости.

5. Метод сходится даже тогда, когда начальное приближение достаточно далеко от решения, хотя хорошее начальное приближение позволяет существенно сократить число итераций.

После нахождения решения, по требуемому напору и расходу перед водопитателем подбирается насосная установка. Затем необходимо, используя характеристику выбранного насоса (насосной установки), вновь решить задачу поточкораспределения с нефиксированными отборами, причем напор задан только перед насосом (на источнике), а во всех остальных узлах, в том числе и в диктующем, напоры являются искомыми величинами, как и расходы и потери напора на участках. После решения этой задачи имеются фактические отборы во всех узлах с оросителями. Кроме этого расчета, необходимо провести еще гидравлический расчет АУП на случай, когда расчетный участок орошаемой площади находится в непосредственной близости к водопитателю. В этом случае суммарный расход через оросители будет больше, чем для диктующей орошаемой площади, и подача насоса может превышать допустимую, что может потребовать включения дополнительного насоса либо выбора другой насосной установки.

Приведенная выше модель поточкораспределения была использована в программном комплексе ИСИГР (Интернет Система Гидравлических Расчетов, см. 51.isem.irk.ru), предназначенном для моделирования режимов функционирования трубопроводных систем произвольной структуры. При наличии подключения к Интернет и стандартного веб-обозревателя без установки прикладного программного обеспечения можно выполнять гидравлические расчеты в любое время. Программа находится в свободном доступе [20, 21].

Подготовка к гидравлическому расчету АУП в ИСИГР сводится к построению схемы сети и заданию исходных данных: давление (напор) на вводе, требуемый напор и отбор воды у оросителей, параметры участков (длина, диаметр, материал стенок труб, местные сопротивления, износ); для задвижек (диаметр, степень закрытия, тип) и насосных установок. Подбор насосной установки должен выполняться так, чтобы суммарный расход через оросители (предварительно можно принять, что расходы через оросители равны требуемым) находился в середине рабочей характеристики насоса.

С помощью проведения многовариантных гидравлических расчетов программа позволяет по-

добрать требуемое давление (напор) на источнике, характеристику насоса и насосную установку.

Кроме того, ИСИГР позволяет учесть все местные сопротивления и изменение в процессе эксплуатации шероховатости трубопроводов. В результате проведения гидравлического расчета отбор в диктующем узле, как и напор, в общем случае, могут не соответствовать требуемым. Изменяя напор (давление) на вводе, после нескольких итераций можно добиться, чтобы отбор и напор у диктующего оросителя стали равны требуемым. Разность между гарантированным напором на вводе и принятом при последнем расчете необходимо добавить (вычесть) к напору насоса. По полученным напору и подаче, необходимо подобрать насосную установку. Теперь можно проводить гидравлические расчеты, меняя диктующие площади и оросители, и проверять, чтобы рабочая точка не выходила из рабочей зоны характеристики насоса, а расходы через оросители незначительно превышали требуемые.

Заключение

Сформулируем основные результаты исследования задачи гидравлического расчета автоматической системы пожаротушения.

1. Предложена модель потокораспределения с нефиксированными отборами в виде системы нелинейных алгебраических уравнений, позволяющая одновременно находить все искомые параметры потокораспределения в многокольцевых автоматизированных установках пожаротушения.

2. Приведен алгоритм решения поставленной задачи потокораспределения, представленной в форме системы уравнений.

3. Предложенная постановка задачи может быть использована для гидравлического расчета совмещенных противопожарных водопроводов (внутреннего противопожарного водопровода и АУП) и водяных завес.

4. Предложенная модель потокораспределения использована в программном комплексе ИСИГР и апробирована на многочисленных примерах.

Литература

1. Шушкевич, Е. В., Бастрыкин, Р. И., Алешина, Е. В. (2010). Особенности режима работы системы подачи и распределения воды в условиях снижения водопотребления. *Водоснабжение и санитарная техника*, № 10, ч. 1, сс. 16–19.

2. Бубырь, Н. Ф., Бабуров, В. П., Мангасаров, В. И. (1984). *Пожарная автоматика*. М.: Стройиздат, 208 с.

3. Герловин, Е. Н. (1974). *Автоматические средства обнаружения и тушения пожаров*. М.: Стройиздат, 240 с.

4. Баратов, А. Н., Иванов, Е. Н., Корольченко, А. Я. (1987). *Пожарная безопасность. Взрывобезопасность*. М.: Химия, 272 с.

5. МЧС РФ (2009). СП 5.13130. 2009. *Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические*. М.: МЧС РФ, 100 с.

6. ГУГПС МВД РФ (2001). НПБ 88-2001*. *Установки пожаротушения и сигнализации. Нормы и правила проектирования*. М.: ГУГПС МВД РФ, 51 с.

7. Груданова, О. В. (2006). *Аналитический метод гидравлического расчета автоматических установок водяного пожаротушения в градостроительстве*. Канд. техн. наук. Санкт-Петербург.

8. Иванов, Е. Н. (1990). *Расчет и проектирование систем противопожарной защиты*. М.: Химия, 384 с.

9. Национальное объединение строителей, Национальное объединение проектировщиков (2014). *Устройство систем водоснабжения, канализации и водяного пожаротушения*. СТО НОСТРОЙ/НОП 2.15.71–2012. М.: Издательство «БСТ», 36 с.

10. Качалов, А. А., Кузнецова, А. Е., Богданова, Н. В. (1975). *Противопожарное водоснабжение*. М.: Стройиздат, 272 с.

11. МЧС РФ (2009). СП 10.13130.2009. *Системы противопожарной защиты. Внутренний противопожарный водопровод. Требования пожарной безопасности*. М.: МЧС РФ, 13 с.

12. Мешман, Л. М., Цариченко, С. Г., Былинкин, В. А., Алешин, В. В., Губин, Р. Ю. (2002) *Проектирование водяных и пенных автоматических установок пожаротушения*. М.: ФГУ ВНИИПО МВД России, 413 с.

13. Сенчишак, Т. И. (2003). *Защитные водяные завесы для борьбы с газопаровоздушными облаками горючих газов и токсичных веществ*. Канд. техн. наук. Москва.

14. Меренков, А. П., Хасилев, В. Я. (1985). *Теория гидравлических цепей*. М.: Наука, 294 с.

15. Министерство морского флота СССР (1987). ВСН 12-87/ММФ. *Причальные комплексы для перегрузки нефти и нефтепродуктов, Противопожарная защита. Нормы проектирования*. М.: Министерство морского флота СССР, 13 с.

16. Болдырев, В. В. (2016). Гидравлический расчет водяной завесы как трубопровода с попутным расходом. *Водоснабжение и санитарная техника*, № 11, сс. 64–68.

17. Елифанов, С. П., Зоркальцев, В. И. (2012). Задача потокораспределения с нефиксированными отборами. *Водоснабжение и санитарная техника*, № 9, сс. 30–35.

18. Евстигнеев, В. А., Касьянов, В. Н. (1999). *Толковый словарь по теории графов в информатике и программировании*. Новосибирск: Наука, 288 с.

19. Штеренлихт, Д. В. (2006). *Гидравлика*. М.: КолосС, 656 с.

20. Новицкий, Н. Н., Михайловский, Е. А. (2016). Программно-вычислительный комплекс «ИСИГР» для применения методов теории гидравлических цепей в сети Интернет. *Научный вестник НГТУ*, № 3(64), сс. 30–43.

21. Новицкий, Н. Н., Михайловский, Е. А. (2017). Инновационный программный комплекс «ИСИГР» для моделирования режимов работы систем водоснабжения. Водоснабжение и санитарная техника, № 12, сс. 45–49.

22. Баранчикова, Н. И., Епифанов, С. П., Зоркальцев, В. И. (2014). Неканоническая задача потокораспределения с заданными напорами и отборами в узлах. Вода и экология: проблемы и решения, № 2, сс. 31–38.

References

1. Shushkevich, E. V., Bastrykin, R. I., Aleshina, E. V. (2010). Osobennosti rezhima raboty sistemy podachi i raspredeleniya vody v usloviyah snizheniya vodopotrebleniya [Peculiarities of operation of the system of supply and distribution of water in the face of declining water use]. Water Supply and Sanitary Technique, № 10, part 1, pp. 16–19. (in Russian).

2. Bubyr', N. F., Baburov, V. P., Mangasarov, V. I. (1984). Pozharnaya avtomatika [Fire automatics]. M.: Strojizdat, 208 p. (in Russian).

3. Gerlovin, E. N. (1974). Avtomaticheskie sredstva obnaruzheniya i tusheniya pozharov [Automatic fire detection and suppression equipment]. M.: Strojizdat, 240 p. (in Russian).

4. Baratov, A. N., Ivanov, E. N., Korol'chenko, A. Ya. (1987). Pozharnaya bezopasnost'. Vzryvbezopasnost' [Fire safety. Explosion safety]. M.: Himiya, 272 p. (in Russian).

5. MCHS RF (2009). SP 5.13130. 2009. Sistemy protivopozharnoj zashchity. Ustanovki pozharnoj signalizacii i pozharotusheniya avtomaticheskie [Fire protection system. Fire alarm and fire extinguishing systems are automatic]. M.: MCHS RF, 100 p. (in Russian).

6. GUGPS MVD RF (2001). NPB 88-2001*. Ustanovki pozharotusheniya i signalizacii. Normy i pravila proektirovaniya [Fire extinguishing and alarm systems. Norms and rules of design]. M.: GUGPS MVD RF, 51 p. (in Russian).

7. Grudanova, O. V. (2006). Analiticheskij metod gidravlicheskogo rascheta avtomaticheskikh ustanovok vodyanogo pozharotusheniya v gradostroitel'stve [Analytical method for hydraulic calculation of automatic installations of fire extinguishing in urban planning]. Kand. tekhn. nauk. Sankt-Peterburg. (in Russian).

8. Ivanov, E. N. (1990). Raschet i proektirovanie sistem protivopozharnoj zashchity [Calculation and design of fire protection systems]. M.: Himiya, 384 p. (in Russian).

9. Nacional'noe ob»edinenie stroitelej, Nacional'noe ob»edinenie proektirovshchikov (2014). Ustrojstvo sistem vodosnabzheniya, kanalizacii i vodyanogo pozharotusheniya [Installation of water supply, sewerage and water fire extinguishing systems]. STO NOSTROJ/NOP 2.15.71-2012. M.: Izdatel'stvo «BST», 36 p. (in Russian).

10. Kachalov, A. A., Kuznecova, A. E., Bogdanova, N. V. (1975). Protivopozharnoe vodosnabzhenie [Fire-fighting water supply]. M.: Strojizdat, 272 p. (in Russian).

11. MCHS RF (2009). SP 10.13130.2009. Sistemy protivopozharnoj zashchity. Vnutrennij protivopozharnyj vodoprovod. Trebovaniya pozharnoj bezopasnosti [Fire protection System. Internal fire-prevention water supply. Fire safety requirements]. M.: MCHS RF, 13 p. (in Russian).

12. Meshman, L. M., Carichenko, S. G., Bylinkin, V. A., Aleshin, V. V., Gubin, R. Yu. (2002). Proektirovanie vodyanyh i pennyh avtomaticheskikh ustanovok pozharotusheniya [Design

of water and foam automatic fire extinguishing installations]. M.: FGU VNIPO MVD Rossii, 413 p. (in Russian).

13. Senchishak, T. I. (2003). Zashchitnye vodyanye zavesy dlya bor'by s gazoparovo zdushnymi oblakami goryuchih gazov i toksichnyh veshchestv [Protective water curtain to combat hazoprovodne clouds of combustible gases and toxic substances]. Kand. tekhn. nauk. Moskva, 170 p. (in Russian).

14. Merenkov, A. P., Hasilev, V. Ya. (1985). Teoriya gidravlicheskih cepej [Theory of hydraulic circuits]. M.: Nauka, 294 p. (in Russian).

15. Ministerstvo morskogo flota SSSR (1987). VSN 12-87/MMF. Prichal'nye komplekсы dlya peregruzki nefli i nefteproduktov, Protivopozharnaya zashchita. Normy proektirovaniya [Berthing complexes for oil and oil products transshipment, fire protection. Design standards]. M.: Ministerstvo morskogo flota SSSR, 13 p. (in Russian).

16. Boldyrev, V. V. (2016). Gidravlicheskij raschet vodyanoy zavesy kak truboprovoda s poputnym raskhodom [Hydraulic calculation of water curtain as pipelines with associated flow]. Water Supply and Sanitary Technique, № 11, pp. 64–68. (in Russian).

17. Epifanov, S. P., Zorkal'cev, V. I. (2012). Zadacha potokoraspredeleniya s nefiksirovannymi otborami [The Problem of flow with non-fix selection]. Water Supply and Sanitary Technique, № 9, pp. 30–35. (in Russian).

18. Evstigneev, V. A., Kas'yanov, V. N. (1999). Tolkovyj slovar' po teorii grafov v informatike i programmirovanii [Explanatory dictionary of graph theory in computer science and programming]. Novosibirsk: Nauka, 288 p. (in Russian).

19. Shterenliht, D. V. (2006). Gidravlika [Hydraulics: Textbook for universities]. M.: KolosS, 656 p. (in Russian).

20. Novickij, N. N., Mihajlovskij, E. A. (2016). Programmno-vychislitel'nyj kompleks "ISIGR" dlya primeneniya metodov teorii gidravlicheskih cepej v seti Internet [Software package "ISIGN" to apply methods of the theory of hydraulic circuits in a network the Internet]. Nauchnyj vestnik NGTU, № 3(64), pp. 30–43. (in Russian).

21. Novickij, N. N., Mihajlovskij, E. A. (2017). Innovacionnyj programmnyj kompleks "ISIGR" dlya modelirovaniya rezhimov raboty sistem vodosnabzheniya [Innovative program complex "ISIGN" for modeling of operation modes of water supply systems]. Water Supply and Sanitary Technique, № 12, pp. 45–49. (in Russian).

22. Baranchikova, N. I., Epifanov, S. P., Zorkal'cev, V. I. (2014). Nekanonicheskaya zadacha potokoraspredeleniya s zadannymi naporami i otborami v uzлах [non-Canonical flow distribution problem with given pressures and selections in nodes]. Water and Ecology, № 2, pp. 31–38. (in Russian).

Авторы

Баранчикова Надежда Ивановна, канд. физ.-мат. наук
Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет
E-mail: nadin-0105@mail.ru

Епифанов Сергей Петрович, канд. физ.-мат. наук
ООО «Иркутский ремонтно-механический завод»
E-mail: epifanov.1954@mail.ru

Зоркальцев Валерий Иванович, д-р техн. наук
Институт систем энергетики имени Л. А. Мелентьева
Сибирского отделения Российской академии наук
E-mail: zork@isem.irk.ru

Authors

Baranchikova Nadezhda Ivanovna, PhD in Physico-
mathematical sciences
Irkutsk National Research Technical University
E-mail: nadin-0105@mail.ru

Epifanov Sergei Petrovich, PhD in Physico-mathematical
sciences

ООО «Irkutskij remontno-mekhanicheskij zavod»
E-mail: epifanov.1954@mail.ru

Zorkaltsev Valerii Ivanovich, Dr. of Engineering
Melentiev Energy Systems Institute
E-mail: zork@isem.irk.ru