

УДК: 614.841:624.014:532.5

**ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ  
ЗАЩИТЫ МНОГОСТЕРЖНЕВЫХ ТРУБЧАТЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ  
КОНСТРУКЦИЙ**

**Нишанбаев Х А**

*Академия МЧС Республики Узбекистан*

**Аннотация:** *В статье исследуются гидравлические особенности повышения огнестойкости многостержневых трубчатых металлических конструкций. Предложен способ защиты, основанный на заполнении элементов водой с одновременным самоорошением.*

*Экспериментально определены зависимости коэффициента местного сопротивления узлов от числа Рейнольдса. Установлено его снижение при увеличении скорости потока. Получены аппроксимирующие зависимости с учетом конструктивных особенностей соединений.*

*Результаты сопоставлены с теоретическими решениями и рекомендациями Иосиф Евгеньевич Идельчик. Предложенные зависимости могут применяться при гидравлическом расчете систем противопожарной защиты.*

**Ключевые слова:** *гидравлика, огнестойкость, трубчатые металлические конструкции, самоорошение, коэффициент сопротивления, число Рейнольдса, противопожарная защита*

**HYDRAULIC ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF FIRE PROTECTION OF  
MULTI-MEMBER TUBULAR METAL STRUCTURES**

**Kh.A. Nishanbaev**

*Academy of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Uzbekistan*

**Abstract:** *This article investigates the hydraulic aspects of enhancing the fire resistance of multi-member tubular metal structures. A protection method is proposed based on filling the structural elements with water combined with simultaneous self-irrigation.*

*Experimental studies determined the relationships between the local resistance coefficient of joint nodes and the Reynolds number. A decrease in the coefficient with increasing flow velocity was established. Approximation relationships were obtained, taking into account the structural features of the joints.*

*The results were compared with theoretical solutions and recommendations of Iosif Yevgenyevich Idelchik. The proposed relationships can be applied in hydraulic calculations of fire protection systems.*

**Keywords:** *hydraulics, fire resistance, tubular metal structures, self-irrigation, resistance coefficient, Reynolds number, fire protection*

## **KO'P STERJENLI QUVURLI METALL KONSTRUKSIYALARNING YONG'INDAN HIMOYA SAMARADORLIGINI GIDRAVLIK BAHOLASH**

**X.A. Nishanbayev**

*O'zbekiston Respublikasi FVV Akademiyasi*

**Annotatsiya:** *Maqolada ko'p sterjenli quvurli metall konstruksiyalarning yong'inga chidamliligini oshirishning gidravlik xususiyatlari o'rganilgan. Konstruksiya elementlarini suv bilan to'ldirish va bir vaqtning o'zida o'z-o'zini sovutish asosidagi himoya usuli taklif etilgan.*

*Tajriba natijalariga ko'ra, tugunlardagi mahalliy qarshilik koeffitsiyentining Reynolds soniga bog'liqligi aniqlangan. Oqim tezligi ortishi bilan koeffitsiyent kamayishi kuzatilgan. Biriktiruvchi tugunlarning konstruktiv xususiyatlari inobatga olingan holda yaqinlashtiruvchi bog'lanishlar olingan.*

*Natijalar Iosif Yevgenyevich Idelchik tavsiyalari va nazariy yechimlar bilan solishtirilgan. Taklif etilgan bog'lanishlar yong'inga qarshi himoya tizimlarini gidravlik hisoblashda qo'llanishi mumkin.*

**Kalit so'zlar:** *gidravlika, yong'inga chidamlilik, quvurli metall konstruksiyalar, o'z-o'zini sug'orish, qarshilik koeffitsiyenti, Reynolds soni, yong'indan himoya*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Широкое применение металлических конструкций в строительстве ограничивается их низкой огнестойкостью. На практике используются различные методы её повышения, включая оштукатуривание, нанесение огнезащитных покрытий, обетонирование и другие. Однако данные способы характеризуются высокой трудоёмкостью, приводят к значительному увеличению массы конструкций, а также со временем теряют эффективность вследствие отслаивания под воздействием динамических (сейсмических) нагрузок и изменений адгезионных свойств при температурных колебаниях.

На наш взгляд, одним из наиболее эффективных способов повышения огнестойкости металлических конструкций является их заполнение водой с одновременным самоорошением. В данном случае трубчатые элементы конструкции, помимо выполнения несущих функций, одновременно выступают в качестве компонентов системы автоматического пожаротушения и обеспечивают эффективное охлаждение конструкции.

С целью всестороннего исследования гидравлических характеристик предложенного способа противопожарной защиты был разработан и изготовлен натурный фрагмент конструкции модуля «Кисловодск» с габаритными

размерами 6,0×6,0×2,12 м. Данный экспериментальный образец позволил максимально приближенно воспроизвести реальные условия эксплуатации трубчатых металлических конструкций.

На основе проведённых экспериментальных исследований были получены данные, характеризующие особенности распределения потоков, потерь напора и гидравлических сопротивлений в узлах соединения. Ниже приведены наиболее значимые результаты выполненного исследования, отражающие основные закономерности функционирования рассматриваемой системы.

Общее количество стержневых элементов, использованных в исследуемом фрагменте конструкции, составляет 32 единицы. Указанные элементы объединены в 7 независимых линий, каждая из которых функционирует автономно и подключена к магистральной подпитывающей трубе.

В качестве объектов исследования были выбраны характерные шунты, отличающиеся между собой геометрическими параметрами, в частности углами соединений, диаметрами сопрягаемых стержней, а также конфигурацией узлов. Это позволило всесторонне оценить влияние конструктивных особенностей на гидравлические характеристики системы.

Перепад давления на узлах соединения измерялся с использованием ртутного дифференциального манометра ДТ-50. Измерительный прибор подключался к исследуемым стержневым элементам через штуцеры, установленные до и после шунтов, что обеспечивало возможность определения потерь давления на соответствующих участках системы.

Расстояние от штуцеров до шунтов, а также после них до точек отбора давления, было выбрано таким образом, чтобы обеспечивалось формирование стабилизированного потока с плавным изменением параметров или близкого к параллельно-струйному режиму. Это позволило повысить точность измерений гидравлических характеристик.

Давление перед выходным отверстием, а также в контрольных точках системы измерялось с использованием манометра МТП-600. Расход воды в каждой серии экспериментов определялся объёмным методом на выходе исследуемой линии.

Экспериментальные исследования проводились в трёх сериях, при этом общее количество выполненных опытов составило 36, что обеспечило достаточную достоверность и репрезентативность полученных результатов.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что значения суммарного коэффициента сопротивления узлов соединения существенно зависят от скорости потока воды. Установлена устойчивая тенденция к снижению коэффициента сопротивления по мере увеличения скорости потока.

В частности, в диапазоне изменения скорости воды в шунтах от 2 до 4 м/с наблюдается уменьшение суммарного коэффициента сопротивления в пределах 9–20 %. Полученные результаты свидетельствуют о значительном влиянии

гидродинамических параметров потока на характеристики местных сопротивлений исследуемой системы.

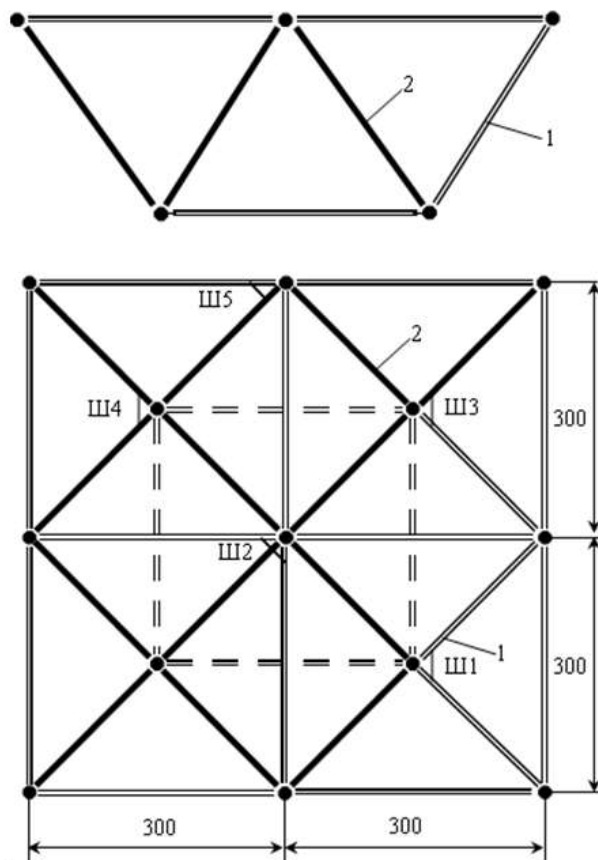


Рис.1. Фрагмент металлической трубчатой конструкции.

1-трубы с диаметром 60 мм; 2- трубы с диаметром 76 мм.

Известно, что при установившемся движении перепад давления (потери напора) на местных сопротивлениях зависит от скорости потока ( $V$ ), физических свойств жидкости ( $\rho$ ,  $\mu$ ), размеров трубопровода ( $d$ ) и типа местного сопротивления и практически не зависит от длины участка. Функциональную зависимость этих величин можно представить в следующем виде

$$\Delta p = f(V, d, \rho, \mu, \Theta), \quad (1)$$

где  $\Theta$ -безразмерная величина, характеризующая соотношения геометрических размеров местных сопротивлений.

Используя метод теории размерности можно получить следующую общую функциональную зависимость

$$h_M = 2f\left(\frac{1}{Re}, \Theta\right) \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

Численное значение  $2f\left(\frac{1}{Re}, \Theta\right)$  обозначают [2] обычно  $\xi$  и называют коэффициентом местного сопротивления. Откуда следует, что коэффициент местного сопротивления в общем случае зависит от числа Рейнольдса и

безразмерной величины  $\Theta$ . При этом с увеличением  $Re$  значение коэффициента  $\xi$  уменьшается.

Однако, результаты многочисленных исследований показали, что при квадратичной области сопротивления коэффициент  $\xi$  зависит только от вида местных сопротивлений.

Анализ графической зависимости суммарного коэффициента сопротивления узлов соединения от числа Рейнольдса (рис. 2), построенной на основе экспериментальных данных, полученных на характерных узлах, показал, что результаты измерений с достаточной точностью аппроксимируются уравнением соответствующего вида.

$$\xi = k \cdot e^{a \cdot Re} \quad (3)$$

где  $a$  - коэффициент при показателе степени, который является для всех характерных узлов постоянным и равняется  $a = -5,46 \cdot 10^{-6}$ ;  $k$  - коэффициент, зависящий от вида соединения. Например: для узла №1  $k=3,53$ ; для узла №2  $k=3,44$ ; для узла №4  $k=3,14$ ; для узла №5  $k=3,68$ .

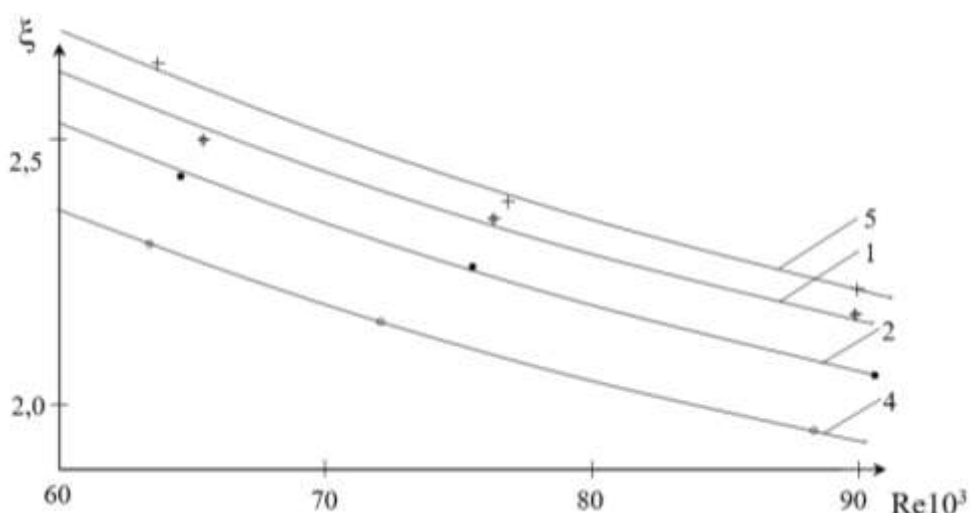


Рис.2. График зависимости  $\xi$  от числа Рейнольдса.

1,2,3,4,5 – номера шунтов на рис.1.

Для сопоставления полученных экспериментальных результатов были использованы теоретические зависимости, предназначенные для определения коэффициентов местных сопротивлений при резком сужении, поворотах потока и резком расширении, характерных для узлов соединения рассматриваемой конструкции.

Сравнение полученных экспериментальных данных с теоретическими зависимостями показало, что фактические значения суммарного коэффициента сопротивления несколько превышают расчётные. Данное расхождение, по-видимому, обусловлено неравномерностью обработки поверхностей узлов соединений, а также влиянием диапазона изменения числа Рейнольдса на характер течения жидкости.

Следует отметить, что теоретические формулы относятся к квадратичной области сопротивления, где коэффициент  $\xi$  не зависит от  $Re$ .

Вместе с тем, прослеживается четкая связь между опытными значениями коэффициента сопротивления  $\xi_{on}$  с теоретическими  $\xi_t$ . Статистическая обработка полученных результатов показала, что отмеченная связь описывается уравнением:

$$\xi_{on} = 1,474 \cdot \xi_T^{0,654} \quad \text{или} \quad \xi_{on} = 1,215 \cdot e^{0,324 \cdot \xi_T} \quad (4)$$

В литературе [3] для определения коэффициента сопротивления с внезапным расширением и внезапным сужением рекомендуются следующие выражения:

$$\text{-для резкого расширения} \quad \xi = \xi_m + \xi_{тр}/n^2,$$

$$\text{-для резкого сужения} \quad \xi = \xi_m + \xi_{тр},$$

где -  $\xi$  суммарный коэффициент сопротивления;  $\xi_m$  - коэффициент сопротивления непосредственно на расширении или сужении;  $\xi_{тр}$  - коэффициент сопротивления трения на участке полного выравнивания профиля скорости.

Сопоставление полученных результатов с рекомендациями Иосиф Евгеньевич Идельчик показало, что с увеличением числа Рейнольдса наблюдается уменьшение расхождений между экспериментальными и теоретическими данными. Согласно данным указанного автора, коэффициент местного сопротивления при резком расширении и сужении также имеет тенденцию к снижению с ростом числа  $Re$ .

Анализ полученных данных показал, что для практических гидравлических расчетов аналогичных конструкций вместо формулы (3) можно пользоваться более удобным выражением типа

$$\xi = \frac{k}{\sqrt{Re}} \quad (5)$$

где  $k$ -коэффициент, зависящий от вида соединения. Например: для узла №1  $k=644$ ; для узла №2  $k=620$ ; для узла №4  $k=578$ ; для узла №5  $k=662$ .

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Таким образом, результаты проведенных экспериментальных исследований показали, что гидравлические характеристики многостержневых трубчатых металлических конструкций существенно зависят от режимов течения жидкости и конструктивных особенностей узлов соединений. Установлено, что с увеличением числа Рейнольдса наблюдается закономерное снижение суммарного коэффициента местного сопротивления, что подтверждает влияние гидродинамических факторов на эффективность работы системы противопожарной защиты.

Сравнительный анализ экспериментальных данных с теоретическими зависимостями и рекомендациями известных исследователей показал наличие

определённых расхождений, обусловленных, прежде всего, конструктивной сложностью узлов, шероховатостью внутренних поверхностей и особенностями формирования потока в реальных условиях эксплуатации. При этом установлено, что с ростом числа Рейнольдса данные расхождения уменьшаются, что свидетельствует о применимости классических гидравлических зависимостей в области развитого турбулентного течения.

На основе обработки экспериментальных данных получены аппроксимирующие зависимости, позволяющие учитывать влияние конструктивных параметров соединений на величину местных гидравлических сопротивлений. Предложенные зависимости (3) и (5) обеспечивают более точное определение суммарного коэффициента местного сопротивления узлов по сравнению с традиционными методами расчёта.

Практическая значимость выполненного исследования заключается в возможности использования полученных результатов при проектировании и расчёте систем противопожарной защиты, основанных на заполнении трубчатых элементов конструкций водой с последующим самоорошением. Применение уточнённых зависимостей позволяет повысить достоверность гидравлических расчётов, оптимизировать параметры системы и обеспечить повышение эффективности охлаждения конструкций в условиях пожара.

Таким образом, при выполнении гидравлических расчётов аналогичных конструкций целесообразно использовать известные теоретические зависимости и рекомендации, дополняя их корректирующими коэффициентами, полученными в результате проведённых исследований. Значения суммарного коэффициента местного сопротивления узлов соединения рекомендуется определять с использованием зависимостей (3) или (5), обеспечивающих более точный учёт конструктивных и гидродинамических особенностей системы.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Худоев А.Д., Буриев Т., Абдуллаев Э.Р. Повышение взрывопожарной безопасности покрытий зданий категорированных объектов, эксплуатирующихся в условиях сейсмических воздействий. II. Пожаро-взрывобезопасность, Москва. Т11. №1 2002 г. с.45-51

2. Курбанов Х.А., Камолов Л.А. Результаты испытания температурного режима многостержневых трубчатых металлических конструкций. Бердақ номидаги Қорақалпоқ Давлат университетининг АХБОРОТНОМАСИ. Нукус-2019 йил 4-сон.

3. Киселев П.Г. Гидравлика, основы механики жидкости. -М.:Энергия,1980г.

4. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. -М:Машиностроение.1975г.

5. Иосиф Евгеньевич Идельчик I.E. Handbook of Hydraulic Resistance. Moscow: Mashinostroenie, 1975.

6. Павел Григорьевич Киселев P.G. Hydraulics: Fundamentals of Fluid Mechanics. Moscow: Energiya, 1980.

7. Cengel Y.A., Cimbala J.M. Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications. McGraw-Hill, 2014.

8. National Fire Protection Association. NFPA 13: Standard for the Installation of Sprinkler Systems. 2022.

9. HEC-RAS River Analysis System. Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers, 2021.+