

Известия вузов. Строительство. 2022. № 5. С. 85–99.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022; (5): 85–99.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 621.646

DOI: 10.32683/0536-1052-2022-761-5-85-99

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ АРМАТУРЫ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

Дмитрий Юрьевич Желдаков<sup>1</sup>, Сергей Михайлович Усиков<sup>2</sup>,  
Дмитрий Сергеевич Визерский<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН  
(НИИСФ РААСН), Москва, Россия

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный  
университет (НИУ МГСУ), Москва, Россия

<sup>3</sup>Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки  
соответствия в строительстве Минстроя РФ (ФАУ ФЦС), Москва, Россия

**Аннотация.** На основании разработанных авторами общих принципов оценки долговечности описывается методика исследования изменения гидравлических характеристик арматуры системы отопления при изменении концентрации и температуры раствора, имитирующего химически подготовленную воду. Разработанная методика позволяет оценить кинетические характеристики протекания процесса химической коррозии поверхности клапанов и оценить срок службы запорной арматуры до наступления предельных характеристик. Приводятся результаты исследований и их анализ. Делается вывод о необходимости внесения в паспорт арматуры характеристик работы клапанов отдельно для систем отопления и водоснабжения.

**Ключевые слова:** система отопления, химически подготовленная вода, запорно-регулирующая арматура, долговечность

**Для цитирования:** Желдаков Д.Ю., Усиков С.М., Визерский Д.С. Исследование долговечности работы гидравлической арматуры системы отопления // Известия вузов. Строительство. 2022. № 5. С. 85–99. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-761-5-85-99.

Original article

## STUDY OF THE DURABILITY OF THE HYDRAULIC FITTINGS OF THE HEATING SYSTEM

Dmitry Yu. Zheldakov<sup>1</sup>, Sergey M. Usikov<sup>2</sup>, Dmitry S. Vizersky<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture  
and Building Sciences (NIISF RAASN), Moscow, Russia

<sup>2</sup>National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU),  
Moscow, Russia

<sup>3</sup>Federal Center for Standardization, Standardization and Technical Conformity  
Assessment in Construction of the Ministry of Construction of the Russian Federation  
(FAA FTS), Moscow, Russia

**Abstract.** The article, based on the general principles of durability assessment developed by the authors, describes a methodology for studying changes in the hydraulic characteristics of the heating system fittings when the concentration and temperature of

a solution simulating chemically prepared water change. The developed technique makes it possible to evaluate the kinetic characteristics of the process of chemical corrosion of the valve surface and to estimate the service life of the shut-off valves before the onset of the limiting characteristics. The results of the research and their analysis are presented. It is concluded that it is necessary to enter the valve operation characteristics separately for heating and water supply systems in the valve passport.

**Keywords:** heating system, chemically prepared water, shut-off and control valves, durability

**For citation:** Zheldakov D.Yu., Usikov S.M., Vizersky D.S. Study of the durability of the hydraulic fittings of the heating system. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2022; (5): 85–99. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2022-761-5-85-99.

**1. Введение.** В настоящее время рынок отопительной техники заполнен большим перечнем запорной, запорно-регулирующей и регулирующей трубопроводной арматуры, как правило в паспорте которой указываются гидравлические характеристики. Достоверность этих данных вызывает сомнение, так как экспериментальными исследованиями для получения характеристик занимается весьма малое количество лабораторий на территории РФ, а методики испытаний, регламентируемые в нормативных документах, не отражают специфики режима работы систем отопления.

При этом современные системы водяного отопления для удобства их наладки, эксплуатации, а также рационального потребления тепловой энергии оборудуются различными видами запорной, запорно-регулирующей и регулирующей арматуры. Коллекторная система, широко применяемая в жилых многоквартирных зданиях, позволяет вести учет потребления тепловой энергии у каждого потребителя. Система имеет ряд преимуществ [1, 2], связанных с возможностью экономить тепловую энергию за счет поквартирного учета тепловой энергии. Кроме того, она ремонтпригодна, не требует отключения стояка для замены радиатора, позволяет использовать поквартирные системы защиты от протечек.

Вопросы энергоэффективности в настоящее время чрезвычайно актуальны для всех направлений строительной отрасли. От эффективной работы системы отопления в первую очередь зависит поддержание комфортных условий для пребывания человека в отапливаемых помещениях здания. В системах водяного отопления, согласно требованиям нормативных документов, необходима установка автоматических регуляторов у каждого отопительного прибора, а также при необходимости в узлах системы для регулирования теплоотдачи и гидравлического режима работы [3, 4].

Влияние химического состава теплоносителя на изменение гидравлических характеристик арматуры вообще не изучалось. Вместе с тем изменение гидравлических характеристик регулирующей арматуры может быть весьма значительным, так как нормативные требования к химически подготовленной воде контролируют значение водородного показателя pH теплоносителя для открытых систем отопления в интервале 8,5–9,0, для закрытых – 8,5–10,5 (СП 124.13330.2012 «Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02–2003». СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»). Учитывая, что регулирующая арматура, в том числе терморегулирующие клапаны, в процессе строительства здания монтируется

с преднастройкой, определяемой на стадии проектирования, существенные отличия реальных гидравлических характеристик от проектных могут привести к полной разбалансировке системы отопления.

Установленный срок службы арматуры в системах отопления и горячего водоснабжения составляет 25 лет (СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. СНиП 41-01-2003». СП 30.13330.2020 «Внутренний водопровод и канализация зданий»). Очень важно иметь данные о продолжительности работы арматуры в системе отопления, а также об изменении гидравлических характеристик в определенный временной промежуток.

## 2. Общие принципы расчета срока службы гидравлической арматуры.

Общее уравнение расчета долговечности можно записать следующим образом [5, 6]:

$$\begin{cases} N_1(\tau) \geq N_1^H \\ N_2(\tau) \geq N_2^H \leftrightarrow \wedge f(N_i) d\tau \geq \{N_i^H\}, \\ \dots\dots\dots \\ N_n(\tau) \geq N_n^H \end{cases} \quad (1)$$

где  $N_i$  ( $i = 1, 2 \dots n$ ) – текущие значения параметров, обеспечивающих нормальное функционирование объекта;

$N_i^H$  – соответствующие нормативные значения параметров, заданные при проектировании объекта;

$\tau$  – время.

Знак конъюнкции указывает, что предельная долговечность конструкции определяется падением хотя бы одного параметра ниже нормативного значения.

Характеристики материала или изделия во времени не могут уменьшаться ниже какой-либо величины, после которой объект не будет выполнять заданные функции.

Долговечность по параметру  $i$ ,  $D$  вычисляется следующим выражением:

$$D_i = \frac{N_i - N_i^H}{W_i} = \frac{N_i - N_i^H}{\sum_{j=1}^k W_{i,j}}, \quad (2)$$

где  $W_i$  – скорости деструкции параметра  $i$ -го материала.  $W_i$  является функцией, определяемой суммой изменения параметра  $N_i$  под действием независимых сил  $J_i$  в единицу времени.

Введем понятие коэффициента деструкционной устойчивости  $k_d$ :

$$k_d = \frac{N_i}{N_i^H}, \quad (3)$$

тогда (2) примет вид

$$D_i = \frac{N_i^H(k_d - 1)}{W_i} = \frac{N_i^H(k_d - 1)}{\sum_{j=1}^k W_{i,j}}. \quad (4)$$

Из (4) следует, что долговечность материала или конструкции определяется при условии  $k_d \geq 1$ . При  $k_d = 1$  конструкция имеет нормативный запас прочности, но ее предельная долговечность, т.е. время, в течение которого она будет сохранять нормативный запас прочности, равно нулю.

Нельзя рассматривать коэффициент запаса прочности, применяемого при проектировании, в качестве коэффициента деструкционной устойчивости, так как коэффициент запаса нормируется исходя из возможного случайного воздействия сверхнормативных сил на ограждающую конструкцию.

В настоящее время коэффициент деструкционной устойчивости не нормируется. Поэтому предельная долговечность зданий есть величина неопределенная, зависящая от качества строительства и материалов каждого сооружения в отдельности. Сочетание параметров, положительно влияющих на окончательный результат строительства, определяет ненормативный запас, который по существу и является коэффициентом деструкционной устойчивости.

На основании общего уравнения теории долговечности (1) разработана методика расчета долговечности материала стеновой керамики [7, 8]. Используем эту методику расчета срока службы гидравлической арматуры системы отопления и горячего водоснабжения для:

1) установления основного параметра деградации, по которому предполагается проведение оценки долговечности материала или конструкции. Для оценки срока службы гидравлической арматуры примем параметр увеличения сопротивления потоку.

Тогда срок службы или долговечность работы клапана по параметру изменения (уменьшения) расхода теплоносителя при постоянном перепаде давления на клапане  $\Delta Q$ , Па, согласно (2), может быть найден из выражения

$$D = \frac{\Delta Q}{\sum_{j=1}^k W_j}, \quad (5)$$

где  $W_j$  – скорость изменения расхода теплоносителя при постоянном перепаде давления на клапане при протекании процессов химической деструкции;

2) нахождения факторов деградации (независимых сил  $J_i$ ), влияющих на материал, под действием которых происходит изменение функциональных характеристик или изделия по основному параметру деградации.

В соответствии с нашей научной гипотезой деградация основного параметра работы клапана, уменьшения расхода теплоносителя при постоянном перепаде давления на клапане зависит от происходящих процессов химической коррозии. Химическая коррозия материала клапана протекает под действием щелочных гидроксидов химподготовленного теплоносителя, концентрация которого может быть в 1000 раз выше ( $\text{pH} = 10$ ), чем в воде системы ХВС;

3) разработки основного процесса химической деструкции материала, условий его протекания и продуктов реакций. Химические реакции, рассматриваемые как определяющие процесс химической деградации материала, их направление и продукты реакций обосновываются с использованием методов химической термодинамики. Основной процесс должен быть поставлен

таким образом, чтобы изменение состава материала могло учитываться при его исследовании. На данном этапе важна стадийность основного процесса;

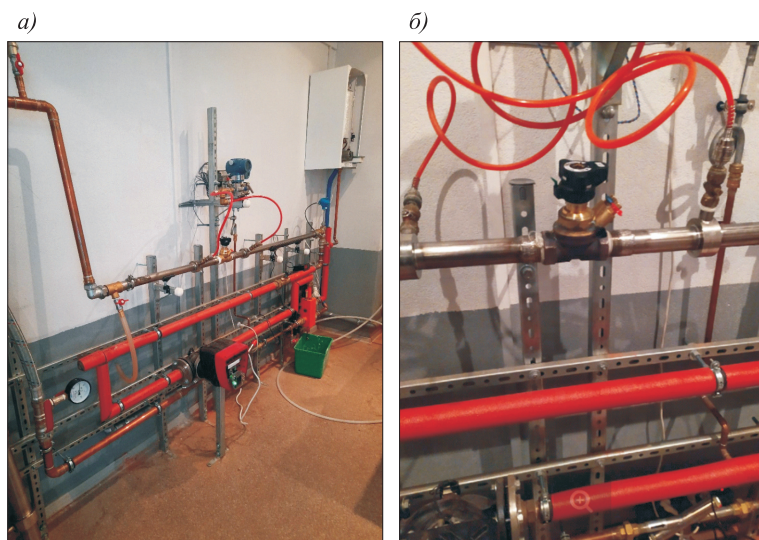
4) определения схемы протекания основного процесса деструкции в изучаемом материале: объемной или фронтальной. В случае химической коррозии материала внутренней поверхности гидравлической арматуры процесс носит исключительно фронтальный характер;

5) установления наступления предельного состояния при расчете предельной долговечности. Предельное состояние материала может быть описано введением коэффициента деструкционной устойчивости по уравнению (3). Данный параметр особенно важен для описания поведения материала в эксплуатационных условиях;

6) выявления побочных процессов химической деструкции. В отличие от основного процесса деструкции материала (см. п. 3 данной методики), протекание побочных процессов может быть обусловлено такими факторами, как наличие растворенного кислорода, солей или нефтепродуктов в химподготовленной воде системы отопления;

7) разработки математической модели протекания процесса химической деструкции и на ее основе разработки инженерного метода определения долговечности материала. Наличие расчета позволит создать стандарт для гидравлических характеристик арматуры систем отопления.

**3. Проведение экспериментальных исследований.** *3.1. Исследовательский стенд.* Для исследования гидравлических характеристик современной запорной, запорно-регулирующей и регулирующей арматуры, применяемой в системе отопления в режимах, близких к реальным режимам эксплуатации системы, в НИИ строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук был разработан и создан уникальный стенд (рис. 1), позволяющий провести гидравлические испытания трубной



*Рис. 1. Испытательный гидравлический стенд  
а – общий вид; б – испытательный узел установленным клапаном*

*Fig. 1. Hydraulic test bench*

*a – general view; b – test unit with valve installed*

арматуры, условным диаметром от Ду10 до Ду50, с общей погрешностью результатов, не превышающей 5 %, в диапазоне работы, характерном для систем водяного отопления.

Стенд представляет единую систему, состоящую из источника теплоты, труб и основного оборудования. Для проведения измерений на образцах различного типоразмера предусмотрен сменный участок, прикрепленный к стенду на быстроразъемных соединениях. Принципиальная схема стенда приведена на рис. 2.

На рис. 2 использованы следующие обозначения: 1 – электрокотел; 2 – гидравлическая стрелка; 3 – ультразвуковой расходомер; 4 – циркуляционный насос; 5 – балансировочный клапан для тонкой регулировки расхода; 6 – датчик температуры; 7 – датчик давления; 8 – датчик разницы давления (дифманометр); 9 – испытуемый образец; 10 – автоматический воздухоотводчик; 11 – кран для спуска воды; 12 – гибкая вставка; 13 – контрольный манометр; 14 – шаровые краны для отключения измерительного участка; 15 – шаровые краны контура электрокотла; 16 – шаровой кран подпитки системы.

Распределение расхода жидкости происходит с помощью частотного регулирования, предусмотренного в контроллере насоса, а более тонкая настройка осуществляется изменением проходного сечения балансировочного клапана 5. Гидравлическая стрелка 2 позволяет разграничить греющий и нагреваемый контур системы. Трубы стенда медные, материал сменного участка – нержавеющая сталь, для исключения преждевременной коррозии.

Основное оборудование испытательного стенда имеет следующие характеристики:

- преобразователь давления ПД200-ДИ 0,4-315-0,1-2-Н – диапазон измерения от 0,04 до 0,4 МПа (от 40 000 до 400 000 Па);
- термопреобразователь сопротивления ДТС035М-50М.0,5.60.МГ.И – показатель тепловой инерции не более 30 с (класс допуска А);
- преобразователь перепада давления ПД200-ДД 0,04-155-0,1-2-Н – диапазон измерения перепада давления от 0,0004 до 0,04 МПа (от 400 до 40 000 Па);
- ультразвуковой расходомер US-800-11-015-G-005-R-RS485-A – максимальный диапазон измерения расхода воды  $Q_{\max} = 5 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; минимальный

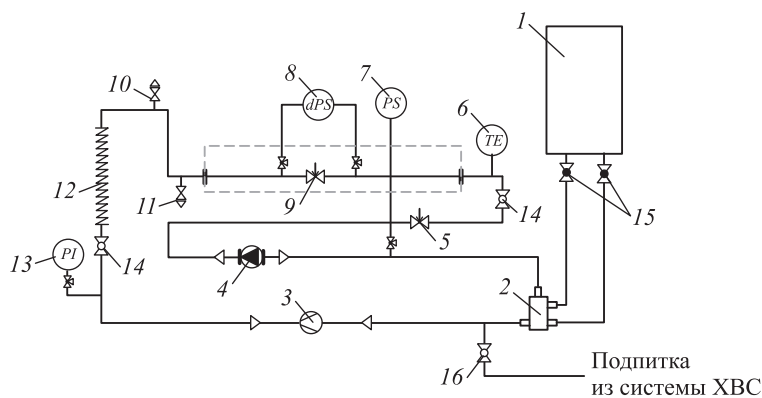


Рис. 2. Принципиальная схема испытательного гидравлического стенда

Fig. 2. Schematic diagram of the hydraulic test bench



(при температуре воды от 0 до 60 °С)  $Q_{m1} = 0,3$  м<sup>3</sup>/ч; минимальный (при температуре воды от 60 до 150 °С)  $Q_{m2} = 0,15$  м<sup>3</sup>/ч;

– циркуляционный насос Magna 3 40-100F с максимальным развиваемым напором 10 м вод. ст. и расходом до 10 м<sup>3</sup>/ч;

– модернизированный электродвигатель РЭКО 3П со сбросным устройством и закрытым расширительным баком.

Оценка достоверного диапазона измерений на разработанном стенде показала, что погрешность измерений расхода и перепада давления не более 2,5 и 3,5 % соответственно.

*3.2. Методика подготовки образцов.* Для исследования процесса химической деструкции поверхности клапанов при работе их в системе отопления, анализа влияния температуры теплоносителя и концентрации гидроксидов в химически подготовленной воде была разработана следующая методика исследования.

В испытаниях принимают участие образцы одного типа запорной и двух типов запорно-регулирующей арматуры. Перед исследованием химического воздействия на арматуру все образцы проходят контрольные испытания по методике п. 3.3.

Для каждого из образцов запорно-регулирующей и запорной арматуры выбирается режим химического воздействия: концентрация гидроксида натрия 0,5 и 5,0 н и температура среды 20 и 100 °С.

Период выдержки образцов между последовательными испытаниями: для образцов, выдерживаемых при температуре 20 °С, 15 сут, для образцов, выдерживаемых при температуре 100 °С, 5 ч. Все резервуары при проведении испытаний должны быть герметично закрыты пленкой и располагаться в вытяжном шкафу. Для исследований при температуре 100 °С используется обратный холодильник. Нагрев проводится на лабораторной плитке в вытяжном шкафу. После каждого периода испытания образцы достаются из раствора, промываются и проходят испытания по п. 3.3.

*3.3. Методика определения гидравлических характеристик арматуры.* Испытуемую арматуру устанавливают на испытательном участке стенда (см. рис. 2) согласно требованиям конструкторской документации. При этом контролируют соответствие направления подачи рабочей среды направлению стрелки, указанной на корпусе или на чертеже. В процессе проведения эксперимента на фиксированном ходе (положении настройки) при изменении расхода испытательной среды величина хода должна оставаться постоянной.

Находим коэффициент сопротивления  $\zeta$  арматуры в следующей последовательности: исследуемый образец располагают на испытательном участке стенда. Регулировочный шток арматуры приводится в положение полного открытия и остается в этом положении.

Включается циркуляционный насос стенда и выбирается режим испытания изделия в зависимости от условного прохода исследуемого образца. Автоматикой стенда устанавливается температура теплоносителя 20 °С. Контроль температуры производится в течение не менее 3 мин термометром, с отклонением  $\pm 1$  °С. При установившемся расходе  $Q$ , м<sup>3</sup>/ч, с отклонением по показаниям расходомера  $\pm 0,05$  м<sup>3</sup>/ч в течение 3 мин измеряется

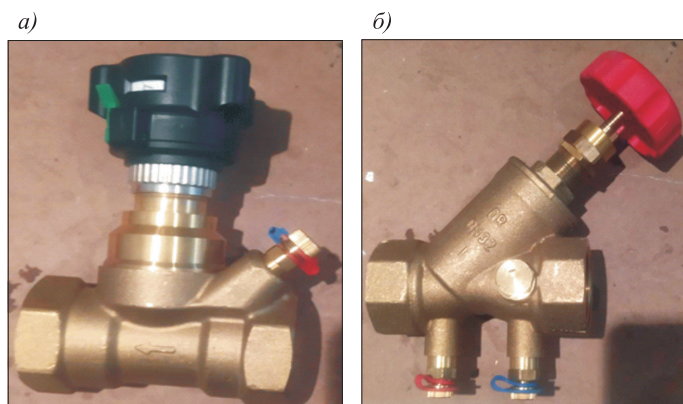


Рис. 3. Испытуемые образцы балансировочных клапанов  
а – Danfoss Leno MVT DN32; б – Herz-Armaturen Штремакс-М  
DN32

*Fig. 3. Test samples of balancing valves*

*a – Danfoss Leno MVT DN32; b – Herz-Armaturen Stremax-M  
DN32*

расход и температура среды, проходящей через арматуру, и перепад давления на ней.

С помощью арматуры стенда расход уменьшается так, чтобы перепад давления на исследуемом образце изменился не менее чем на 15 %. Изменяются расход и температура среды, перепад давления на арматуре.

Исследования в том же порядке проводятся при температуре рабочей среды 95 °С.

Далее исследуемый образец отсоединяется, сменные участки трубопроводов испытательного стенда соединяются между собой и проводятся испытания без испытуемого образца.

**4. Результаты исследований и их анализ.** *4.1. Результаты исследований.* В настоящее время проведены пилотные исследования влияния химподготовленной воды на запорно-регулирующих клапанах Danfoss Leno MVT DN32 и Herz-Armaturen Штремакс-М DN32. Испытуемые образцы клапанов показаны на рис. 3.

В соответствии с методикой исследования клапаны после проведения контрольных испытаний на гидравлическом стенде погружались в химические стаканы емкостью 2 л с предварительно приготовленным раствором гидроксида натрия (рис. 4). В один стакан заливался раствор концентрации 1 н, в другой 5 н. Данный эксперимент проводился при температуре 20 °С.

Результаты испытаний клапана Danfoss Leno MVT DN32 приведены в табл. 1, выполнены для обоих клапанов при разном времени их выдержки в растворе гидроксида натрия концентрацией 1 и 5 н. Визуально действие гидроксида натрия на клапан Danfoss показано на рис. 5.

*4.2. Анализ результатов исследований.* Результаты, представленные в табл. 1, позволяют сделать следующие выводы:

1. Температура воды в системе экспериментальной установки существенно не влияет на потери давления при работе клапана.





Рис. 4. Воздействие на балансировочные клапаны Danfoss гидроксида натрия

Fig. 4. Effect of sodium hydroxide on Danfoss balancing valves

2. Увеличение потерь давления на регулирующем клапане после воздействия на клапан гидроксида натрия наиболее сильно проявляется при малых значениях открытия маховика клапана.

Учитывая данные выводы, было исследовано изменение работы клапана при условии открытия маховика регулирующего клапана равного 0,5. Анализ изменения расхода воды через клапан проводился при постоянном перепаде давления на нем 30 кПа и температуре 20 °С.

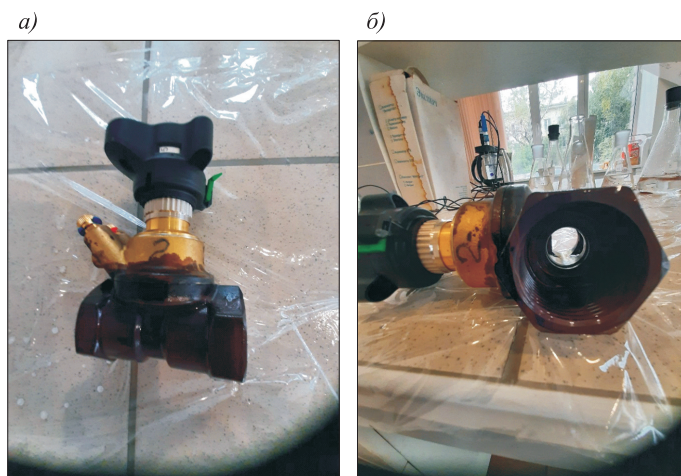
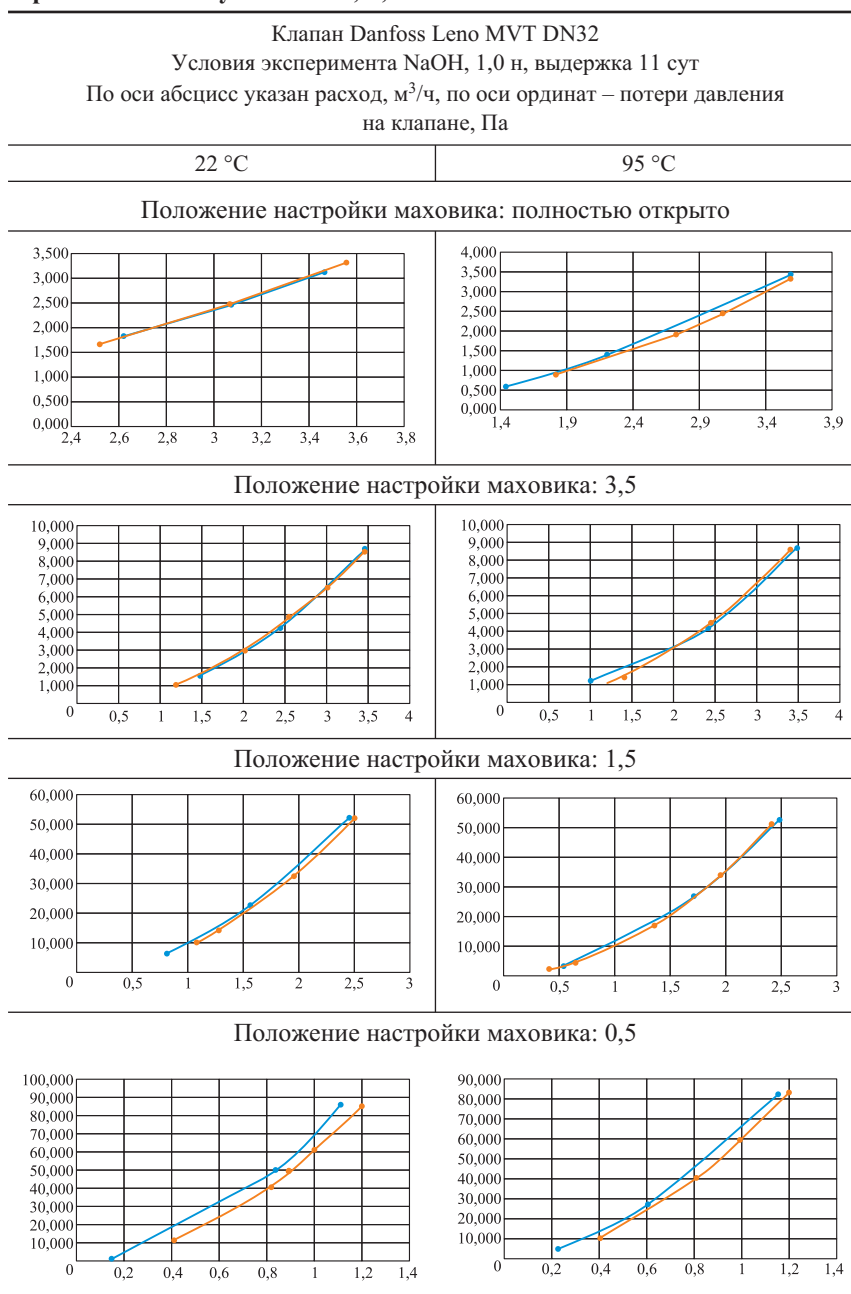


Рис. 5. Состояние образцов клапанов Danfoss Leno MVT DN32 после воздействия гидроксидом натрия концентрацией 5,0 н в течение 10 сут

Fig. 5. Condition of samples of valves Danfoss Leno MSV DN32 after exposure to sodium hydroxide at a concentration of 5.0 n for 10 days

Таблица 1. Результаты эксперимента клапана Danfoss Leno MVT DN32 после выдержки 11 сут в NaOH, 1,0 н

Table 1. Results of the Danfoss valve experiment, Leno MVT DN32 after exposure for 11 days in NaOH, 1,0 n



На основании проведенных экспериментов были построены обобщенные графики перепада давления на клапанах от изменения расхода воды при условии открытия маховика регулирующего клапана равного 0,5 при воздействии гидроксида натрия на клапан в течение 11 и 20 сут (рис. 6, а) и при воздействии на клапан в течение 11 сут гидроксида натрия концентрацией 1 и 5 н (см. рис. 6, б).

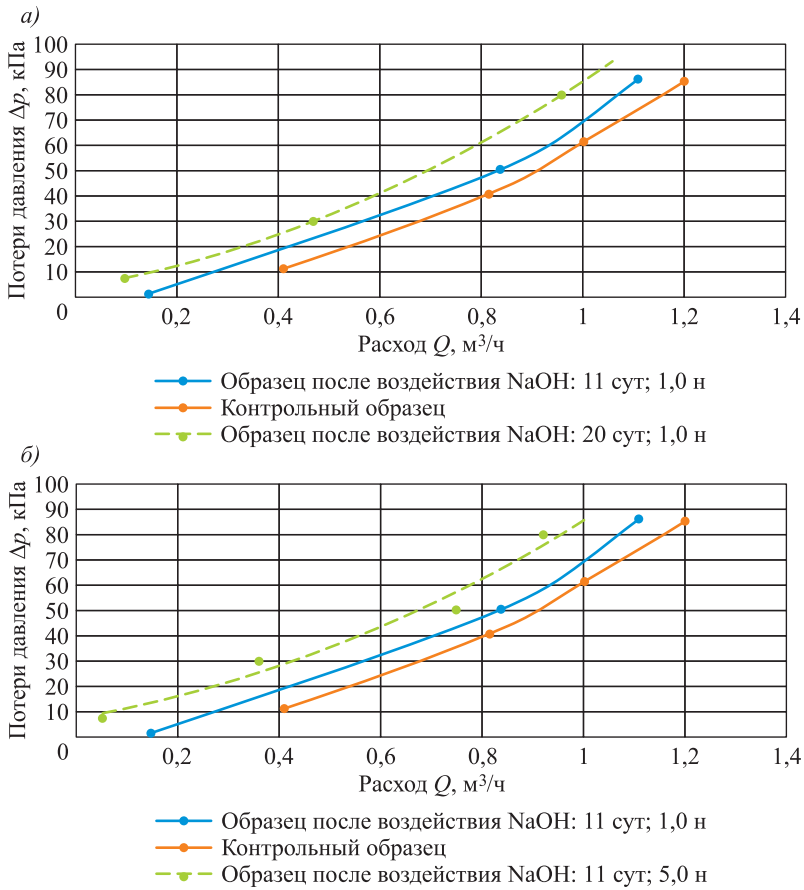


Рис. 6. Изменение перепада давления на клапане от времени воздействия на клапан гидроксида натрия (а) и от концентрации гидроксида натрия после 11 сут воздействия (б)

Fig. 6. Change in the pressure drop on the valve from the time of exposure to sodium hydroxide on the valve (а) and from the concentration of sodium hydroxide after 11 days of exposure (б)

Результаты лабораторных исследований, приведенные на графиках рис. 6, позволяют провести анализ работы клапана при воздействии на него щелочной среды химически подготовленной воды системы отопления.

Целью анализа результатов этих исследований является установление зависимости скорости изменения характеристик гидравлической арматуры (перепада давления на клапане и изменение расхода теплоносителя при постоянном перепаде давления) при воздействии на клапан агрессивной среды химически подготовленной воды теплоносителя, в составе которой присутствует гидроксид натрия.

Для достижения поставленной цели в процессе анализа были решены следующие задачи:

- определена зависимость изменения расхода теплоносителя при постоянном перепаде давления на регулирующем клапане от времени при воздействии на клапан водного раствора гидроксида натрия разной концентрации;

– разработана методика определения скорости химической деструкции клапана от концентрации щелочи в гидравлической системе.

На основании результатов экспериментальных исследований были построены графики зависимости изменения расхода теплоносителя от времени воздействия химически активной среды, выраженной в долях от первоначального (контрольного) значения (см. рис. 6).

Для оценки скорости изменения контролируемого параметра введен коэффициент химической деструкции клапана  $Cd$  ( $a$ ), представляющий изменение параметра его работы в долях ( $a$ ), наступающее за время химического воздействия (время<sup>-1</sup>). Физический смысл данного параметра при рассмотрении исследуемого процесса – это скорость  $W_j$  по формуле (5), определяющая долговечность работы клапана по параметру изменения расхода.

Графики химической деструкции клапана при разной концентрации воздействующего на него гидроксида натрия показаны на рис. 7. Численно коэффициент деструкции равен коэффициенту в линейном графике тренда.

Графики на рис. 7 позволяют провести расчет зависимости интенсивности деструкции клапана по параметру расхода при постоянном перепаде давления от концентрации щелочи. Справедливо уравнение

$$Cd_2/Cd_1 = (C_2/C_1)^n, \quad (6)$$

тогда

$$n = \ln(Cd_2/Cd_1)/\ln(C_2/C_1). \quad (7)$$

Используя результаты расчета значений коэффициента химической деструкции (см. рис. 7) вычисляется значение  $n$ . Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Значение коэффициента  $n$  очень важно для дальнейшего анализа результатов исследования. Водородный показатель химически подготовленной воды в системе отопления равен 8,5–10,5. Если принять среднее значение рН = 9,0 при условии, что щелочность воды определяет гидроксид натрия

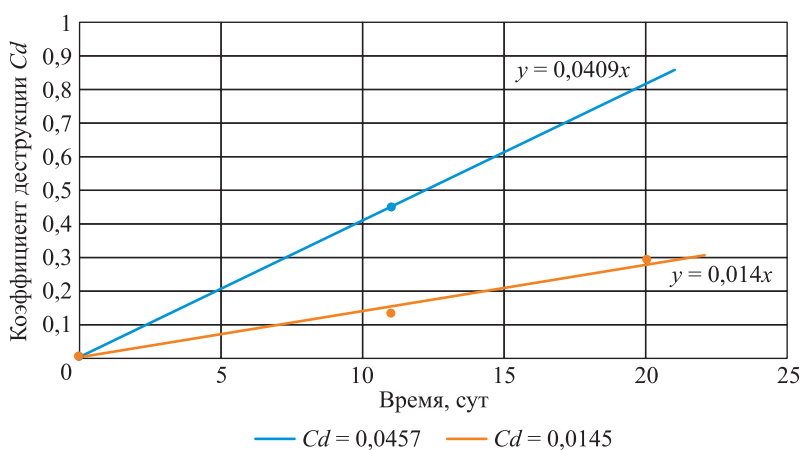


Рис. 7. Коэффициент химической деструкции для клапана при воздействии на клапан NaOH с концентрацией 1 н (красного цвета) и 5 н (синего цвета)

Fig. 7. Chemical degradation coefficient for the valve when exposed to NaOH with a concentration of 1 n (red) and 5 n (blue) on the valve

Таблица 2. Значения степени  $n$  для процесса деструкции

Table 2. Values of degree  $n$  for the destruction process

$Cd_2/Cd_1$	$\ln(Cd_2/Cd_1)$	$C_2/C_1$	$\ln(C_2/C_1)$	$n$
2,92	1,07	5	1,61	0,66

(допущение), концентрация гидроксида натрия в химически подготовленной воде системы отопления составит  $1 \cdot 10^{-5}$  н, т.е. в 100 тыс. раз меньше, чем в проведенном исследовании при концентрации NaOH 1 н.

Можно рассчитать коэффициент химической деструкции клапана при условии его работы в системе отопления. Из (6) получим:

$$Cd_{э\kappa}/Cd = (C_{э\kappa}/C)^{0,66}, \quad (8)$$

где  $Cd_{э\kappa}$ ,  $C_{э\kappa}$  – коэффициент химической деструкции, определенный экспериментально при концентрации гидроксида натрия равной  $C_{э\kappa}$ ;  $Cd$ ,  $C$  – коэффициент химической деструкции, в системе отопления при концентрации гидроксида натрия равной  $C$ .

Тогда справедливо

$$Cd = Cd_{э\kappa}/(C_{э\kappa}/C)^{0,66}. \quad (9)$$

Все значения в (9) известны. Определим коэффициент химической деструкции для запорно-регулирующего клапана, работающего в системе отопления:

$$Cd = 0,014/(1/1 \cdot 10^{-5})^{0,66} = 0,014/1995 = 7,02 \cdot 10^{-6} \text{ дней}^{-1}.$$

Величина, обратная коэффициенту химической деструкции, равна долговечности клапана. Долговечность клапана составит 142450,1 дней или 390 лет. Однако эту величину можно определять только как условную, так как физический смысл полученного значения – полное прекращение расхода жидкости через клапан. Кроме того, данный расчет не учитывает двух важных параметров: увеличение скорости химической деструкции при увеличении температуры и нелинейность изменения характеристик работы клапана при химическом воздействии, что принято в настоящем расчете.

Влияние температуры на скорость химической реакции принято описывать уравнением Вант-Гоффа, в соответствии с которым скорость химической реакции увеличивается в 2–4 раза при возрастании температуры на каждые 10 градусов. Можно записать

$$Cd_{95} = Cd_{э\kappa}/\xi^n, \quad (10)$$

где  $n = T_2 - T_1/10$ .

Температура химически подготовленной воды в системе отопления равна 95 °С. Учет влияния температуры на процесс деструкции материала клапанов внесет существенные изменения в результаты расчетов. Методика исследований, описанная в разделе 3 данной статьи, позволяет определить значение температурного коэффициента  $\xi$  в уравнении (10).

Количество экспериментальных точек и увеличение времени воздействия гидроксида натрия на клапаны в соответствии с разработанной методикой уточнит коэффициент химической деструкции и также внесет коррективы в окончательные результаты расчетов.



На основании приведенных пилотных исследований определено значительное влияние щелочности химически подготовленной воды на гидравлические характеристики запорно-регулирующей арматуры системы отопления и разработана методика достоверной оценки изменения гидравлических характеристик арматуры и времени, в течение которого эти изменения будут происходить, при химическом воздействии теплоносителя системы отопления.

**5. Выводы.** 1. Доказано, что гидравлическая арматура при ее работе в системе отопления в процессе эксплуатации приобретает гидравлические характеристики, значительно отличающиеся от гидравлических характеристик той же арматуры при тех же сроках эксплуатации в системах горячего и холодного водоснабжения. Изменение гидравлических характеристик связано с повышенным содержанием гидроксидов щелочных металлов в химически подготовленной воде системы отопления и высокой температурой теплоносителя, что вызывает активное протекание химических процессов взаимодействия щелочей с материалом клапанов.

2. Согласно теории долговечности разработана методика экспериментальных исследований и расчета изменения работы гидравлической запорно-регулирующей арматуры в течение определенного временного интервала по параметру изменения расхода теплоносителя через клапан при постоянном перепаде давления под воздействием процесса химической деструкции.

3. Определена необходимость указания в паспортных данных на запорно-регулирующую арматуру гидравлических характеристик клапанов отдельно для их эксплуатации в системах водоснабжения и водяного отопления.

#### Список источников

1. Карнов В.Н. Проблемы внедрения поквартирного учета расхода тепла в системах отопления // АВОК. 2012. № 4. С. 50–54.
2. Грановский В.Л., Никитина С.В. Индивидуальный учет тепловой энергии в многоквартирных домах: особенности, возможности, проблемы // АВОК. 2020. № 2. С. 58–63.
3. Стронгин А.С., Желдаков Д.Ю. Актуализация нормативной базы: СП 60.13330–2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2020. № 6. С. 4–13.
4. Усиков С.М., Дютин В.В. Оценка необходимости установки автоматических регуляторов перепада давления на двухтрубных стояках системы водяного отопления с точки зрения возникновения шума // Изв. КГАСУ. 2019. № 2 (48). С. 197–203.
5. Желдаков Д.Ю. Прогнозирование предельной долговечности ограждающих конструкций // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2018. № 3 (375). С. 247–252.
6. Zheldakov D.Yu. The Brick Material Durability in Brickwork // AlfaBuild. 2020. Vol. 15, no. 3. P. 1504.
7. Zheldakov D.Yu., Kozlov V.V., Kuznetsov D.V., Sinitsin D.A. Moisture crystallization in bricks // Nanotechnologies in Construction. 2020. Vol. 12, no. 5. P. 305–312.
8. Zheldakov D., Mustafin R., Kozlov V., Gaysin A., Sinitsin D., Bulatov B. Durability Control of Brickwork's Material Including Operation Parameters of the Building Enclosure // Mathematical Modelling of Engineering Problems. 2021. Vol. 8, no. 6. P. 871–880.

## References

1. *Karpov V.N.* Problems of implementation of apartment-by-apartment accounting of heat consumption in heating systems. *AVOK = AVOK*. 2012; (4): 50–54. (In Russ.).
2. *Granovskiy V.L., Nikitina S.V.* Individual accounting of thermal energy in apartment buildings: features, opportunities, problems. *AVOK = AVOK*. 2020; (2): 58–63. (In Russ.).
3. *Strongin A.S., Zheldakov D.Yu.* Updating of the regulatory framework: SP 60.13330–2020 «Heating, ventilation and air conditioning». *AVOK: Ventilyatsiya, otopleniye, konditsionirovaniye vozdukha, teplosnabzheniye i stroitel'naya teplofizika = AVOK: Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and construction thermophysics*. 2020; (6): 4–13. (In Russ.).
4. *Usikov S.M., Dyutin V.V.* Assessment of the need to install automatic differential pressure regulators on two-pipe risers of a water heating system from the point of view of noise occurrence. *Izvestiya KGASU = News of KGASU*. 2019; (2(48)): 197–203. (In Russ.).
5. *Zheldakov D.Yu.* Forecasting the ultimate durability of enclosing structures. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti = News of higher educational institutions. Textile industry technology*. 2018; (3(375)): 247–252. (In Russ.).
6. *Zheldakov D.Yu.* The Brick Material Durability in Brickwork. *AlfaBuild*. 2020; 15(3): 1504.
7. *Zheldakov D.Yu., Kozlov V.V., Kuznetsov D.V., Sinitsin D.A.* Moisture crystallization in bricks. *Nanotechnologies in Construction*. 2020; 12(5): 305–312.
8. *Zheldakov D., Mustafin R., Kozlov V., Gaysin A., Sinitsin D., Bulatov B.* Durability Control of Brickwork's Material Including Operation Parameters of the Building Enclosure. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*. 2021; 8(6): 871–880.

### Информация об авторах

**Д.Ю. Желдаков** – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, djeld@mail.ru

**С.М. Усиков** – кандидат технических наук, доцент

**Д.С. Визерский** – инженер

### Information about the authors

**D.Yu. Zheldakov** – PhD, Head Scientist, djeld@mail.ru

**S.M. Usikov** – PhD, Ass. Professor

**D.S. Vizersky** – Engineer

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 21.03.2022  
Одобрена после рецензирования 21.04.2022  
Принята к публикации 28.04.2022

The article was submitted 21.03.2022  
Approved after reviewing 21.04.2022  
Accepted for publication 28.04.2022