

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

HEATING, VENTILATION, AIR CONDITIONING (HVAC), LIGHTING SYSTEMS AND GAS NETWORKS

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 2. С. 173–182.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2023; 25 (2): 173–182.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 697.343

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-2-173-182

АКТУАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ НА ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ. УНИФИКАЦИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

**Николай Ильич Куриленко, Кирилл Евгеньевич Кузьменко,
Лариса Юрьевна Михайлова, Константин Николаевич Илюхин**
Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия

Аннотация. Объектом исследования являются тепловые сети. Предмет исследования – методы и техническое оборудование, задействованное в проведении испытаний, и результаты, полученные в ходе проведенных мероприятий.

Методом исследования является анализ фактически проведенных испытаний на тепловых сетях Тюменской области с различными диаметрами тепловых сетей, а также различными источниками теплоснабжения: будь то ТЭЦ или автономные котельные.

В процессе исследования проведена оценка существующих методов организации испытаний на гидравлические потери, а также выполнен анализ результатов, полученных в ходе данных работ.

Предложен комплекс доработок процедуры организации испытаний с целью повышения точности определения параметров состояния тепловых сетей. Рассмотрены вопросы подбора вычислительного оборудования и определения наиболее подходящего для каждого вида испытаний.

Ключевые слова: тепловые сети, тепловая изоляция, теплоснабжение, тепловые потери, трубопроводы, испытания трубопроводов

Для цитирования: Куриленко Н.И., Кузьменко К.Е., Михайлова Л.Ю., Илюхин К.Н. Актуализация методов измерения параметров при проведении испытаний на гидравлические сопротивления. Унификация средств измерений // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 2. С. 173–182. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-2-173-182.

ORIGINAL ARTICLE

METHODS OF PARAMETER MEASUREMENT IN TESTING HYDRAULIC RESISTANCE. UNIFICATION OF MEASURING INSTRUMENTS

**Nikolai I. Kurilenko, Kirill E. Kuz'menko,
Larisa Yu. Mikhailova, Konstantin N. Ilyukhin**
Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia

Abstract. Purpose: The study of heating networks; methods and technical equipment are proposed for testing heating networks.

Methodology: The analysis of actual tests carried out on in the Tyumen region for heat networks with different diameter and heat supply sources, whether CHP or stand-alone boilers.

Research results: Existing methods of organising hydraulic loss tests are evaluated, and the results obtained in the course of this work are analyzed. The test organization procedure is proposed to improve the parameter accuracy of thermal network state. The selection of computing equipment and determination of the most suitable ones for each type of tests.

Value: The relevance of the topic under consideration is due to the imperfection of the requirements of the current regulatory and technical legislation of the Russian Federation for testing on heat networks of resource-supplying organizations. Existing test methods for thermal and hydraulic losses do not take into account the possibility of using modern instrumentation.

Keywords: heating networks, thermal insulation, heat supply, heat losses, pipelines, pipeline testing

For citation: Kurilenko N.I., Kuz'menko K.E., Mikhailova L.Yu., Ilyukhin K.N. Methods of parameter measurement in testing hydraulic resistance. Unification of measuring instruments. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (2): 173–182. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-2-173-182.

Введение

Анализ текущего состояния фонда тепловых сетей, находящихся на балансе или обслуживаемых теплоснабжающих организаций России, или обслуживаемых ими, показал, что средний износ трубопроводов составляет от 50 до 80 % всего фонда линейных объектов. В целях предупреждения аварийных ситуаций во время отопительного осенне-зимнего периода соответствующими организациями принимаются меры по диагностике внутреннего состояния тепловых сетей методами неразрушающего контроля, в том числе испытания тепловых сетей на гидравлические сопротивления.

В процессе эксплуатационной деятельности теплоснабжающих организаций предусмотрены плановые меры по диагностике внутреннего состояния трубопроводов, а также проверки на техническую пригодность перед началом осенне-зимнего отопительного периода. Необходимость проведения соответ-

ствующих испытаний сетей и их периодичность отражены в документе «Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок» (дата актуализации 01.01.2021 г.), введенных приказом Минэнерго России от 24 марта 2003 г. № 115 «Об утверждении Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок». Перечень регламентных мероприятий, связанных с испытанием тепловых сетей, включает в себя: испытания на тепловые потери, гидравлические сопротивления, максимальную температуру теплоносителя, прочность и плотность трубопроводов. В процессе исполнения требований действующей нормативно-технической документации выявлено отсутствие четких методических документов, определяющих методы проведения подобных испытаний, существующие же методики датированы 1997 годом и опираются на устаревшие методы измерений, не учитывают расширение парка контрольно-измерительных приборов, технических возможностей нового насосного оборудования и новых видов трубопроводов из полимерных материалов.

При проведении испытаний руководствовались РД 34.20.519-97 «Методические указания по испытанию водяных тепловых сетей на гидравлические потери».

Оборудование, применяемое для определения соответствующих параметров: манометры механические типа МТ:1, класс точности 0,6, с действительной поверкой с отметкой в паспорте прибора; расходомеры электромагнитные и ультразвуковые, вариативно.

Результаты и обсуждение

Процессы организации и последовательность проведения испытаний на гидравлические сопротивления были изложены ранее в опубликованных научных работах авторов настоящей статьи [1, 2, 3].

Перед определением недостатков проведения гидравлических испытаний следует обозначить текущие моменты выявления гидравлических сопротивлений в трубопроводах с теплоносителем типа вода.

Потери давления в идеальных эксплуатационных либо лабораторных условиях складываются из двух составляющих: местные и линейные (гидравлические) сопротивления.

Потери давления на участках местных сопротивлений рассчитываются исходя из типа установленных фасонных частей трубопровода (отводы, тройники, переходы диаметра, сальниковые/сильфонные компенсаторы и т. д.), а также скорости движения теплоносителя. Определение местных сопротивлений в трубопроводе определяется по следующей формуле, кгс/м²:

$$\Delta H_{\text{м}} = \frac{\xi \cdot V^2}{2 \cdot g}, \quad (1)$$

где ξ – коэффициент местного сопротивления; V – скорость потока воды, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,8 м/с².

Гидравлические потери давления определяются потерями давления, зависящими от длины трубопровода. Данный вид потерь обусловлен силами трения. Линейные потери возникают в трубопроводах независимо от срока использования и режима эксплуатации, увеличение данных потерь прямо

пропорционально длине трубной части. Определение линейных потерь принято в соответствии с формулой, кгс/м²:

$$\Delta H_{\text{л}} = \Delta h \cdot l, \quad (2)$$

где l – длина участка трубопровода по плану, м; Δh – потери на 1 м трубопровода, кгс/м².

Потери давления на единицу длины трубопроводов приняты согласно номограмме для гидравлического расчета трубопроводов [6] при $k_3 = 0,5$ мм и $\gamma = 958$ кгс/м³ при расходе теплоносителя от 300 до 30 000 т/ч.

Данные вычисления допустимы для турбулентного и ламинарного режима движения жидкости, исходные расчёты приняты для новых трубопроводов с учетом наличия ламинарной плёнки и отсутствия шероховатости [4].

Расчётные методы определения гидравлических потерь, представленные выше, являются фундаментальными для определения потерь давления трубопроводов, вновь введенных в эксплуатацию. Полученные таким образом данные будут являться значениями, с которыми необходимо сравнивать потери в трубопроводах, находящихся в эксплуатации и испытываемых теплоснабжающими организациями.

Измерительное оборудование

Оборудование, задействованное в испытаниях на тепловые и гидравлические сопротивления, включает в себя расходомер, термометры и манометры.

Подбор и установку средств измерений следует выполнять в соответствии с настоящими требованиями:

- в процессе подготовки к испытаниям выбираются типы и пределы измерения средств измерений, которые должны обеспечивать необходимую точность измерений, что достигается подбором приборов соответствующего класса, правильностью их установки, полнотой введения поправок, контролем за правильностью снятия показаний;

- для измерения давления воды в трубопроводах при испытаниях используются манометры для точных измерений типа МТ-1, класс точности 0,6, прошедшие калибровку. Пределы измерения должны выбираться таким образом, чтобы значение измеряемого давления не превышало 2/3 предела шкалы;

- измерение расходов сетевой и подпиточной воды при испытаниях производится штатными приборами, установленными на источнике теплоснабжения. Допускаемая погрешность измерения расхода воды не должна превышать $\pm 2,5$ %, место расположения расходомера – источник теплоснабжения;

- температура воды при испытаниях измеряется на источнике тепла штатными приборами с основной погрешностью не более ± 1 °С.

На основании результатов соответствующих испытаний более чем на 30 объектах теплоснабжения (квартирные и локальные котельные различной мощности с подключенными тепловыми сетями), а также на участках магистральных и квартальных сетей от городских ТЭЦ определены технические особенности. Ввиду того, что системы потребителей тепловой энергии отключаются друг от друга, циркуляция обеспечивается через вновь монтируемую/существующую перемычку в тепловых сетях между подающим

и обратным трубопроводами системы теплоснабжения с трубопроводами до DN800-1000 [5]. При этом в случае использования для определения перепада давления между измеряемыми точками технических манометров определение фактически располагаемого перепада давления невозможно. Причиной тому являются малые участки протяженности измеряемых участков, а также малые перепады, не фиксируемые обычными механическими манометрами даже при наличии действительной поверки и соответствующей отметки в паспорте измерительного прибора.

Корректировка методологии измерений

Согласно принятым методикам организации и проведения испытаний на гидравлические потери, в соответствии с РД 34.20.519-97 «Методические указания по испытанию водяных тепловых сетей на гидравлические потери», в ходе подготовительных расчетов и сбора первоначальной информации перед организатором испытаний стоит задача обеспечения на испытуемом циркуляционном кольце тепловых сетей определенного расхода и давления на источнике в подающем и обратном трубопроводах. В ходе предварительных расчетов моделируется цифровая модель гидравлических сопротивлений, возникающих при циркуляции теплоносителя, вследствие чего происходит сравнение полученных данных и определение увеличения уровня гидравлических сопротивлений с поправкой на временной коэффициент зарастания внутренней поверхности трубопровода [6].

Описанный выше метод является приемлемым для лабораторных условий, т. к. на фактически работающем оборудовании, особенно со сроком эксплуатации более 10 лет, отсутствует возможность установки заданного расхода теплоносителя и давления в сети на аппаратном уровне. Регулировка расхода и давления нередко осуществляется методом дросселирования (шайбирования) отдельных ответвлений или потребителей, подбором сопла элеватора, или выполняется регулировка соответствующей шаровой арматурой, не предусмотренной для регулировки гидравлических режимов. При отсутствии на источниках либо распределительных узлах теплоснабжения городов и поселений частотного регулирования теплоносителя не представляется возможным обеспечить заданные параметры при проведении испытаний на тепловых сетях, и, как следствие, проведение данных испытаний по представленной методике невозможно.

В целях адаптации существующих методов измерений к фактическим особенностям эксплуатируемых материалов и оборудования предложен ряд технологических мероприятий по адаптации методологии проведения испытаний [7]. Ввиду слабого оснащения теплосетевых организаций высокотехнологичными приборами измерения давления (как аналог рассматривается цифровой манометр с функцией высокочастотных измерений), применяемые контрольно-измерительные приборы механического типа действия не в состоянии зафиксировать и отобразить измеряемые параметры испытываемой среды. Для примера на рис. 1 представлен общий вид механического манометра и манометра с функцией высокотехнологичного измерения.

В результате сравнения представленного оборудования можно сделать вывод о технической точности двух типов манометров. Так, тип манометра А

имеет шкалу измерений, представленную до десятых типов значений, промежуточные значения определяются с величиной значения 0,025 МПа; тип манометра Б имеет цифровое обозначение и шкалу измерений до тысячных единиц, т. е. предоставляет более точный результат измерений, отображаемый в дальнейших отчетах и вычислениях.

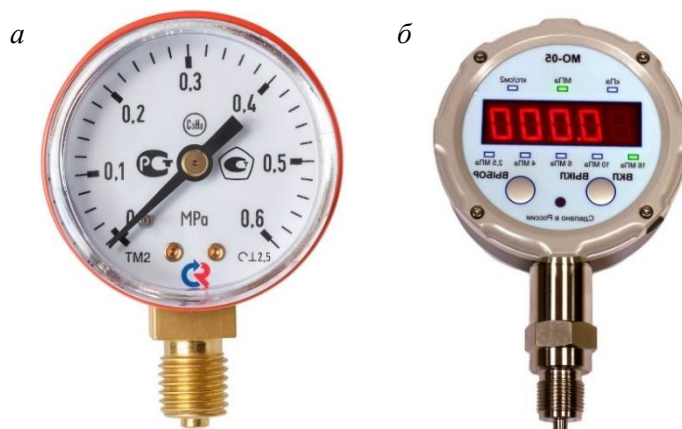


Рис. 1. Вид типов манометров, применяемых при испытаниях:

a – манометр механического типа действия, измеряемый предел – 0,025 МПа;
б – манометр цифрового типа действия, предел измерений определяется в соответствии с паспортом конкретного типа вычислительного оборудования

Fig. 1. Pressure gauges used in tests:

a – mechanical pressure gauges, 0.025 MPa measurement limit, *b* – digital pressure gauge; measurement limit is determined according to specifications

В рамках фактически проводимых испытаний, при отсутствии разветвленной структуры тепловых сетей, применение манометров типа А не представляется возможным. Данный вывод сделан на основании результатов фактически проведенных испытаний на гидравлические потери от котельной № 27 в г. Тобольске. Для определения технических характеристик испытуемого циркуляционного кольца данные представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Характеристики участков тепловых сетей,
включенных в испытуемое циркуляционное кольцо**

Table 1

Heat network parameters included in tested circulating ring

№ п/п	Назначение участка, т/с	Наименование участка	Протяженность, м	Год ввода в эксплуатацию	Ду, м
1 циркуляционное кольцо					
1	Подающий	Кот. № 27 – уз. 4	121,04	2009	0,15
	Обратный				
2	Подающий	Уз. 4–8	151,61	2009	0,1
	Обратный				
3	Подающий	Уз. 8–14	65,68	1987	0,082

Далее в рамках рассматриваемого исследования приведены результаты фактически полученных данных в ходе проведения испытаний на выбранном циркуляционном кольце, данные сведены в табл. 2.

Таблица 2

**Усредненные значения измеряемых параметров.
Динамический этап проведения испытаний**

Table 2

Averaged measurement parameters. Dynamic stage of testing

Конечные контрольные точки участка тепловой сети	Назначение участка тепловой сети	Давление в начале участка, кгс/см ²	Давление в конце участка, кгс/см ²	Геодезическая поправка, м	ΔH , м
Кот. № 27 – узел 4	Подающий	3,00	3,00	–0,8	0,05
	Обратный	2,79	2,79		0,05
Узлы 4–8	Подающий	3,00	2,94	1,3	0,55
	Обратный	2,85	2,79		0,54
Узлы 8–14	Подающий	2,94	2,89	0,3	0,50
	Обратный	2,89	2,85		0,45

Исходя из данных таблицы определено, что перепад давления в тепловой сети от источника теплоснабжения до циркуляционной переемычки составляет 0,15 кгс/см², что подтверждает тезис о невозможности корректной фиксации параметров манометрами типа А в условиях проведения испытаний определенными существующими методиками [8, 9].

В ходе проводимых исследований был принят ряд мероприятий по увеличению технических параметров (искусственное завышение параметров на источнике с использованием насосного оборудования – расхода и давления), проводимых в ходе гидравлических испытаний с целью искусственного завышения падения давления посредством увеличения скорости движения теплоносителя в системе, данный параметр принят для расчетов в формуле (1).

Для определения влияния расхода теплоносителя на результаты, получаемые в ходе проведения испытаний, были приведены расчетные данные при различных расходах (и других, зависящих от этого данных) (табл. 3).

В рамках сравнения представлены показатели участка тепловой сети трубопровода диаметром 159×4,5 мм. Местные сопротивления включают в себя 3 полнопроходных задвижки и 8 углов поворота 90° при различных режимах работы насосного оборудования (изменение параметра расхода теплоносителя) [10]. Важно, что параметр давления внутри трубопровода не превышает 16 кг/см², предусмотренных нормативно-технической документацией и эксплуатационными нормами.

Таблица 3

**Изменение характеристик испытуемого циркуляционного кольца
при различных режимах проведения испытаний**

Table 3

Circulating ring parameters at different testing modes

Д159×4,5 мм								
Режимы	Расход $G, t/h$	Ско- рость $U,$ м/с	Потери давления $R, \text{Па/м}$	Потери давления			Гидравличе- ские сопро- тивления на участке сети	
				Ли- нейные $L, \text{м}$	Местные (эквива- лентные) L_{Σ}	Суммар- ные поте- ри участ- ка $L_{\text{пр}}$	$\Delta P,$ кПа	$\Delta P,$ кг/см ²
Режим 1	50	0,82	59	73	33,6	106,6	6,29	0,06
Режим 2	70	1,26	116				12,37	0,13
Режим 3	105	1,72	260				27,72	0,28
Режим 4	120	1,97	340				36,24	0,37

Выводы

На основании представленных данных следует вывод о невозможности проведения испытаний на тепловых сетях на гидравлические сопротивления принятыми методами проведения данных испытаний с учетом применения стандартных манометров механического принципа действия.

При невозможности обеспечения теплоснабжающей организации высокотехнологичными измерительными приборами необходимо скорректировать проведение испытаний на гидравлические сопротивления контролируемым увеличением потерь в тепловой сети для физической возможности фиксирования их показаний на каждом измерительном участке.

Корреляция увеличения расхода теплоносителя и возникающие при этом гидравлические потери являются темой отдельного исследования в рамках рассматриваемой научной работы, однако повышение расхода в 2,4 раза способно увеличить гидравлические потери в 6 раз, что, в свою очередь, обеспечивает возможность фиксации данных с применением манометров механического принципа действия.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Куриленко Н.И., Кузьменко К.Е. Анализ методов определения коррозионного износа теплопроводов // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе : материалы Национальной с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов, учёных и специалистов. Тюмень, 2020. С. 32–34.
2. Куриленко Н.И., Кузьменко К.Е. Методы определения циркуляционного кольца при проведении испытаний на тепловые потери и гидравлические сопротивления // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции : сб. докладов VIII Всероссийской науч-

- но-технической конференции, посвященной столетию МИСИ-МГСУ. Москва, 2020. С. 139–141.
3. Куриленко Н.И., Кузьменко К.Е. Актуализация методов проведения испытаний на тепловых сетях // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. № 1. С. 116–123.
 4. Иванов В.В., Шкрёбко С.В. Моделирование тепловых процессов подземных бесканальных теплотрасс // Труды Второй Российской национальной конференции по теплообмену. Москва, 1998. Т. 7. С. 43–55.
 5. Иванов В.В., Вершинин Л.Б. Распределение температур и тепловых потоков в зоне подземных теплотрасс // Труды Второй Российской национальной конференции по теплообмену. Москва, 1998. Т. 7. С. 117–138.
 6. Николаев А.А. Проектирование тепловых сетей : справочник. Москва : Стройиздат, 1965. 273 с.
 7. Манюк В.И., Каплинский Я.И., Хин Э.Б. и др. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: справочник. Москва : Стройиздат, 1988. 174 с.
 8. Williams B. Point Arguello Project Start-up Blocked Again // Oil and Gas Journal. 1990. V. 88. № 47. P. 22–31.
 9. Krylov G.V., Moiseev B.V., Stepanov O.A. Fundamentals of Heat Power Engineering in Gas Industry. Moscow : Nedra-Business Center, 1999. 140 p.
 10. Zemenkov Yu.D., Moiseev B.V., Toropov S.Y. Industrial power system: Textbook. Tyumen : Oil and Gas University Publishing House, 2014. 217 p.

REFERENCES

1. Kurilenko N.I., Kuzmenko K.E. Analysis of methods for determining corrosion wear of heat pipelines. In: *Proc. 10th Int. Sci. Conf. 'Energy Saving and Innovation Technologies in Fuel and Energy Sector'*. 2020. Pp. 32–34. (In Russian)
2. Kurilenko N.I., Kuzmenko K.E. Methods for determining the circulation ring during tests for heat losses and hydraulic resistance. In: *Proc. 8th All-Russ. Conf. 'Theory of Heat and Gas Supply and Ventilation'*. 2020. Pp. 139–141. (In Russian)
3. Kurilenko N.I., Kuz'menko K.E. Heat network testing actualization. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2021; 23 (1): 116–123. (In Russian)
4. Ivanov V.V. Modeling of thermal processes of underground channelless heating mains. In: *Proc. 2nd Russ. National Conf. on Heat Transfer*. 1998. Pp. 43–55. (In Russian)
5. Ivanov V.V. Distribution of temperatures and heat flows in underground heating mains. In: *Proc. 2nd Russ. National Conf. on Heat Transfer*. 1998. Pp. 117–138. (In Russian)
6. Nikolayev A.A. Design of thermal networks. Reference book. 1965. 273 p. (In Russian)
7. Manyuk V.I., Kaplinskiy Ya.I., Khin E.B. Adjustment and operation of water heating networks. Reference book, 1988. 174 p. (In Russian)
8. Williams B. Point Arguello project start-up blocked again. *Oil and Gas Journal*. 1990; 88 (47): 22–31.
9. Krylov G.V., Moiseev B.V., Stepanov O.A. Fundamentals of heat power engineering in gas industry. Moscow: Nedra Business Center, 1999. 140 p.
10. Zemenkov Yu.D., Moiseev B.V., Toropov S.Y. Industrial power system. Tyumen: Oil and Gas University Publishing House, 2014. 217 p.

Сведения об авторах

Куриленко Николай Ильич, канд. физ.-мат. наук, доцент, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Луначарского, 2, Kurilenkoni@tyuiu.ru

Кузьменко Кирилл Евгеньевич, аспирант, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Луначарского, 2, Kuzmenkoke@suenco.ru

Михайлова Лариса Юрьевна, канд. техн. наук, доцент, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Луначарского, 2, mihajlovalj@tyuiu.ru

Илюхин Константин Николаевич, канд. техн. наук, доцент, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Луначарского, 2, iljuhinkn@tyuiu.ru

Authors Details

Nikolai I. Kurylenko, PhD, A/Professor, Tyumen Industrial University, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia, Kurilenkoni@tyuiu.ru

Kirill E. Kuzmenko, Research Assistant, Tyumen, Tyumen Industrial University, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia, KuzmenkoKE@suenko.ru

Larisa L. Mikhailova, PhD, A/Professor, Tyumen Industrial University, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia, mihajlovalj@tyuiu.ru

Konstantin N. Ilyukhin, PhD, A/Professor, Tyumen Industrial University, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia, iljuhinkn@tyuiu.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 26.01.2023
Одобрена после рецензирования 27.02.2023
Принята к публикации 20.03.2023

Submitted for publication 26.01.2023
Approved after review 27.02.2023
Accepted for publication 20.03.2023