

**Зависимость фактической степени наполнения самотечных сетей водоотведения от толщины слоя осадка в лотковой части труб****О.А. Продоус¹, Д.И. Шлычков²✉, С.В. Пархоменко³, И.А. Абросимова⁴**¹ООО «ИНКО-эксперт», г. Санкт-Петербург, Россия^{2,4}Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия³Управление капитального строительства АО «Мосводоканал», г. Москва, Россия

Аннотация. Нормативными требованиями СП 32.13330.2018 «Канализация. Наружные сети и сооружения» установлены минимальные скорости движения сточных вод в сетях водоотведения, в зависимости от наибольшей степени наполнения труб. Известно, что в процессе эксплуатации самотечных сетей водоотведения при определенных условиях возможно образование слоя внутренних отложений, способствующего увеличению степени наполнения труб и изменению значений гидравлических характеристик потока. Предложена зависимость, устанавливающая связь значений гидравлических характеристик потока от величины слоя внутренних отложений на поверхности, по которой движется сточная жидкость. Используются расчетные зависимости, предложенные авторами для выполнения гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения с отложениями на поверхности, по которой движется сточная жидкость. Подтверждено существование зависимости фактической степени наполнения труб сетей водоотведения от величины слоя внутренних отложений на поверхности, по которой движется сточная жидкость. Приведен конкретный пример, подтверждающий существование такой зависимости. Представлен график зависимости фактической степени наполнения труб от толщины слоя осадка в их лотковой части. Показано, что в процессе эксплуатации сетей водоотведения с внутренними отложениями необходимо контролировать величину фактической степени наполнения труб $\frac{H_{\phi}}{d_{np}}$ и величину слоя осадка в их лотковой части h , оказывающих существенное влияние на значения гидравлических характеристик потока сточной жидкости.

Ключевые слова: сети водоотведения, степень наполнения труб, осадок, гидравлический расчет, гидравлический потенциал

Для цитирования: Продоус О.А., Шлычков Д.И., Пархоменко С.В., Абросимова И.А. Зависимость фактической степени наполнения самотечных сетей водоотведения от толщины слоя осадка в лотковой части труб // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 1. С. 70–75. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-70-75>.

Original article**Dependence of actual filling level of gravity flow water distribution on sediment thickness in benching part of pipes****Oleg A. Prodous¹, Dmitriy I. Shlychkov²✉, Sergey V. Parkhomenko³, Ivanna A. Abrosimova⁴**¹INCO-Expert LLC, Saint Petersburg, Russia^{2,4}Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia³Capital Construction Department of Mosvodokanal JSC, Moscow, Russia

Abstract. The regulatory requirements of SP 32.13330.2018 (Sewerage. Pipelines and wastewater treatment plants) set the minimum sewage velocity in water distribution systems, depending on the

highest filling level of pipes. It is known that during the operation of gravity flow water distribution systems under certain conditions, a layer of internal sediments might be formed, which increases the filling level of pipes and changes the values of the hydraulic characteristics of the flow. The study suggests the dependence between the values of hydraulic characteristics of the flow and the amount of internal sediments on the surface where the sewage flows. The authors introduced the calculated dependencies for hydraulic calculation of gravity flow water distribution systems with sediments on the surface where the sewage is moving. The study confirmed the dependence of the actual filling level of gravity flow water distribution systems on the amount of sediments on the surface. A specific example confirming the existence of such a dependence was given. The paper presented a graph of dependence between actual filling level and sediment thickness in benching part of pipes. It was shown that during the operation of gravity flow water distribution systems with internal sediments it is necessary to control the value of the actual filling of pipes $\frac{H_{\phi}}{d_{\text{пр}}}$ and the amount of sediment in their benching part h , which have a significant impact on the values of the hydraulic characteristics of the sewage flow.

Keywords: sewerage networks, degree of filling of pipes, sediment, hydraulic calculation, hydraulic potential

For citation: Prodous O.A., Shlychkov D.I., Parkhomenko S.V., Abrosimova I.A. Dependence of actual filling level of gravity flow water distribution on sediment thickness in benching part of pipes. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(1):70-75. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-70-75>.

ВВЕДЕНИЕ

Для самотечных сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб необходимо ввести понятие [1] фактическая степень наполнения труб – величина, являющаяся отношением фактического уровня наполнения в трубах H_{ϕ} к величине их приведенного диаметра $d_{\text{пр}}$, $\frac{H_{\phi}}{d_{\text{пр}}}$. Понятие «приведенный диаметр труб» $d_{\text{пр}}$ подробно описано в работах¹ [2]. В работе [3] представлен график, подтверждающий изменение фактической скорости потока V_{ϕ} в зависимости от величины слоя внутренних отложений h на поверхности, по которой движется сточная жидкость, а также график зависимости $d_{\text{пр}} = f(h)$, подтвержда-

ющий, что чем больше значение фактической толщины слоя осадка h , тем меньше значение приведенного диаметра труб $d_{\text{пр}}$, входящего в уточненную авторами расчетную зависимость А. Шези для гидравлического расчета самотечных сетей водоотведения с отложениями в их лотковой части.

Фактический уровень наполнения труб H_{ϕ} (рис. 1) всегда отличается в большую сторону от нормативного H , за счет величины слоя внутренних отложений h на поверхности по которой движется сточная жидкость. Значение величины фактического уровня наполнения в трубах H_{ϕ} зависит от значения толщины слоя осадка h в их лотковой части (рис. 1).

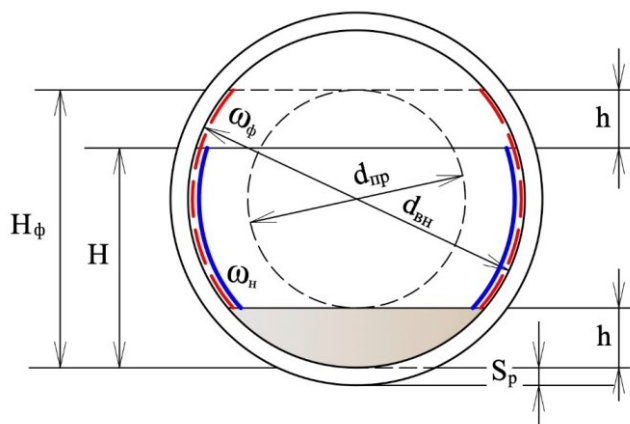


Рис. 1. Изменение уровня наполнения H при наличии слоя отложений h
Fig. 1. Change in filling level H in the presence of a layer of deposits h

¹СП 32.13330.2018. Свод правил. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85 // Кодекс.ру [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200094155> (28.10.2022).

Это подтверждается также существованием зависимости $V_{\phi} = f(h)$ [4], свидетельствующей о необходимости обязательного контроля фактических значений H_{ϕ} , влияющих на значение регламентированной СП 32. 13. 330. 2018¹ степени наполнения труб $\frac{H}{d_{\text{вн}}}$.

МЕТОДЫ

Проанализируем на конкретном примере изменение значений H_{ϕ} , а следовательно, и фактической степени наполнения труб $\frac{H_{\phi}}{d_{\text{пр}}}$ в зависимости от измеренной толщины слоя осадка h в их лотковой части составляет $h = 120$ мм (0,12 м).

РЕШЕНИЕ

По СП 32.13330.2018¹ определяют рекомендуемое значение уровня наполнения H в новой бетонной трубе с условным проходом 400 мм при отсутствии слоя внутренних отложений в лотковой части:

$$\frac{H}{d_{\text{вн}}} = 0,7, \text{ откуда } H = 0,7 \cdot 0,4 = 0,28 \text{ м.}$$

Согласно условиям задачи, определяют значение H_{ϕ} . Для этого по формуле (1) подсчитывают значение d_{ϕ} [3]:

$$d_{\phi} = (d_{\text{н}} - 2S_{\text{р}}) - h, \text{ м} \quad (1)$$

где $d_{\text{н}}$ – наружный диаметр бетонной трубы по ГОСТ, м, $d_{\text{н}} = 0,511$ м; $S_{\text{р}}$ – толщина стенки трубы по ГОСТ, м, $S_{\text{р}} = 0,055$ м; H – толщина слоя внутренних отложений в лотковой части, $h = 0,12$ м (задана).

Требованиями СП 32.13330.2018¹ нормируется степень наполнения $\frac{H}{d_{\text{вн}}}$ труб водоотведения конкретного диаметра.

Поэтому от фактической толщины слоя осадка H_{ϕ} будет зависеть значение фактического уровня наполнения труб:

$$H_{\phi} = H_{\text{н}} + h_{\phi},$$

где $H_{\text{н}}$ – нормативное значение наполнения труб по СП 32.13330.2018¹, м.

По заданной степени наполнения труб $\frac{H}{d_{\text{вн}}} = 0,7$, диаметром 400 мм вычисляют значения d_{ϕ} по формуле (1):

$$d_{\phi} = (d_{\text{н}} - 2S_{\text{р}}) - h = d_{\text{вн}} - h = 0,400 - 0,12 = 0,28 \text{ м, (2)}$$

т.е. значение d_{ϕ} характеризует уровень фактического наполнения труб H_{ϕ} на 10% больше, чем значение нормативного уровня $H = 0,28$ м:

$$H_{\phi} = 1,1 \times H = 1,1 \times 0,28 = 0,308 \text{ м,}$$

тогда

$$\frac{H}{d_{\text{вн}}} = 1,1 \times \frac{H}{d_{\text{вн}}} = 1,1 \times 0,7 = 0,77.$$

По формуле (3) определяют значение $d_{\text{пр}}^{\phi}$ в трубе с толщиной слоя отложений $h = 0,12$ м [3]: $d_{\text{вн}}$ – значение по ГОСТ для бетонных труб – $d_{\text{вн}} = 0,400$ м:

$$\begin{aligned} d_{\text{пр}}^{\phi} &= \sqrt{d_{\text{н}}^2 - (d_{\text{вн}} - h)^2}, \text{ м} \\ d_{\text{пр}}^{\phi} &= \sqrt{0,511^2 - (0,4 - 0,12)^2} = \\ &= \sqrt{0,2611 - 0,0784} = \\ &= \sqrt{0,1827} = 0,428 \text{ м;} \end{aligned} \quad (3)$$

$$d_{\text{пр}}^{\phi} = d_{\text{пр}} - d_{\text{вн}} = 0,428 - 0,400 = 0,028 \text{ м.}$$

Далее определяют значение фактической степени наполнения в трубе со слоем отложений с толщиной осадка $h = 0,12$ м:

$$\frac{H_{\phi}}{d_{\text{пр}}} = \frac{1,1H}{d_{\text{вн}}} = 1,1 \times 0,7 = 0,77.$$

Если принять, что нормативное значение $\frac{H}{d_{\text{вн}}} = 0,7$, то фактическое значение $\frac{H_{\phi}}{d_{\text{пр}}}$ составит: $0,7 + 10\% = 0,77$ [1].

Тогда фактический уровень наполнения труб H_{ϕ} будет больше значения нормативного H на величину, равную толщине слоя внутренних отложений h в их лотковой части, т.е. $H_{\phi} = H + h = 0,28 + 0,12 = 0,400$ м.

Это свидетельствует о нарушении требований СП 32.13330.2018¹, так как трубопровод начинает работать полным сечением и отсутствует свободное пространство между сводом трубы и поверхностью самотечного потока для обеспечения его вентиляции и удаления дурнопахнущих газов.

Приведенный в работе [1] график зависимости $H_{\phi} = f(h)$ подтверждает это.

Работа самотечных сетей водоотведения с полным наполнением также недопустима по правилам их технической эксплуатации [4, 5].

Построим график зависимости фактической степени наполнения труб $\frac{H_{\phi}}{d_{\text{пр}}}$ от толщины слоя внутренних отложений h в лотковой части труб для условий приведенного примера. В таблице приведены значения параметров, необходимые для построения графика зависимости $\frac{H_{\phi}}{d_{\text{пр}}} = f(h)$.

По данным таблицы на рис. 2 построен график зависимости степени фактического наполнения труб $\frac{H_{\phi}}{d_{\text{пр}}}$ от толщины слоя осадка h в их лотковой части.

Значения параметров, необходимых для построения графика зависимости $\frac{H_f}{d_{pr}} = f(h)$

Parameter values required to plot the dependence $\frac{H_f}{d_{pr}} = f(h)$

Толщина слоя отложений в лотковой части труб, h , м	Внутренний диаметр / приведенный $d_{вн}/d_{пр}$, м	Толщина стенки, S_p , м	Уровень фактического наполнения труб, $H_{ф}$, м	Степень фактического наполнения $\frac{H_{ф}}{d_{пр}}$
0	0,300 / 0,3	0,04	0,180	0,66 (0,6)
0,05	0,400 / 0,206	0,055	0,280	0,77 (0,7)
0,07	0,500 / 0,174	0,065	0,375	0,83 (0,75)
0,10	0,600 / 0,135	0,075	0,450	0,88 (0,8)
0,12	0,800 / 0,114	0,085	0,640	0,90 (0,8)
0,15	0,800 / 0,088	0,085	0,790	0,92 (0,8)

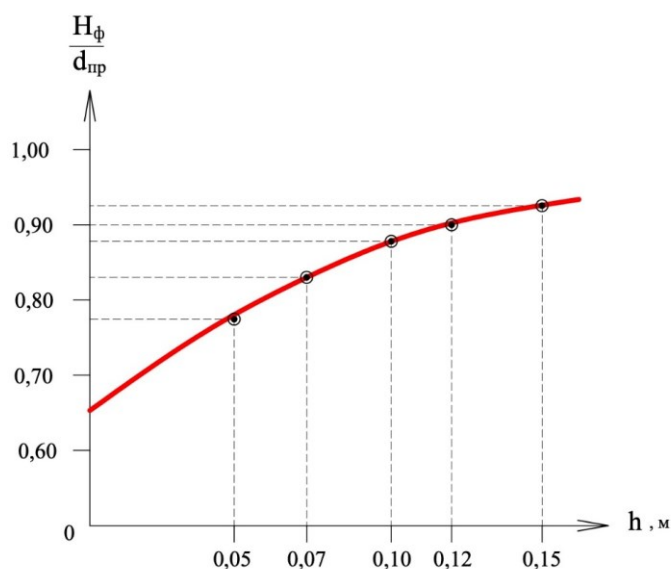


Рис. 2. График зависимости $\frac{H_{\phi}}{d_{пр}} = f(h)$

Fig. 2. Dependency graph $\frac{H_f}{d_{pr}} = f(h)$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ значений характеристик, приведенных в таблице и графика на рис. 2 зависимости $\frac{H_{\phi}}{d_{пр}} = f(h)$ показывает, что чем больше значение величины слоя внутренних отложений h на поверхности, по которой движется сточная жидкость, тем больше значение степени их фактического наполнения $\frac{H_{\phi}}{d_{пр}}$ и тем больше уровень фактического наполнения труб H_{ϕ} . График на рис. 2 подтверждает также необходимость постоянного контроля величины фактического уровня наполнения труб H_{ϕ} с целью предотвращения возможности работы сети водоотведения полным сечением. Таким образом, принимая во внимание вышесказанное, можно сделать следующие выводы: для предотвращения нарушений требований

СП 32.13330.2018¹, касающихся значений фактической степени наполнения труб $\frac{H_{\phi}}{d_{пр}}$ сети водоотведения с отложениями в их лотковой части, необходимо:

- разработать методику контроля величины слоя внутренних отложений h на поверхности по которой движется сточная жидкость h в лотковой части труб, используя разработанные для этого устройства, например [6];
- нормативно установить необходимость обязательного контроля (не реже одного раза в месяц) значений величины фактического уровня наполнения труб H_{ϕ} , контролируемого с помощью специальных устройств [7];
- для расчета степени фактического наполнения труб $\frac{H_{\phi}}{d_{пр}}$ разработать методику подсчета значений приведенного диаметра $d_{пр}$ для труб

разного диаметра по сортаменту из разных видов материалов и с разной величиной слоя внутренних отложений h на поверхности, по которой движется сточная жидкость;

– рекомендовать при эксплуатации сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб не допускать превышения нормативной степени наполнения труб $\frac{H}{d_{\text{вн}}}$ более чем на 10% [1].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На конкретном примере показано, что существует зависимость фактической степени наполнения самотечных сетей водоотведения

$\frac{H_{\text{ф}}}{d_{\text{пр}}}$ от величины слоя внутренних отложений h на поверхности, по которой движется сточная жидкость:

$$\frac{H_{\text{ф}}}{d_{\text{пр}}} = f(h)$$

Для контроля уровня фактического наполнения труб сетей водоотведения с отложениями в их лотковой части, а также толщины слоя отложений в них h разработаны и рекомендованы специальные устройства [6, 7].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Продоус О.А., Шлычков Д.И., Абросимова И.А. Обоснование необходимости проведения гидродинамической очистки самотечных сетей водоотведения // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. № 1. С. 106–114.
<https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.1.106-114>.
2. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Прогнозирование возможности продолжения эксплуатации самотечных сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. Иркутск, 2021. Т. 11. № 4. С. 646–653.
<https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-4-646-653>.
3. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Зависимость фактической скорости потока в самотечных сетях водоотведения от толщины слоя отложений в лотковой части труб // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2021»: материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. (г. Сочи, Красная Поляна, 14–17 декабря 2021 г.). Новочеркасск: ООО «Лик», 2021. С. 101–104.
4. Яковлев С.В., Калицун В.Н. Самоочищение канализационной сети // Водоснабжение и санитарная техника. 1970. № 7. С. 4–7.
5. Чупин Р.В., Шишелова Т.И., Бобер А.А. Напорное – безнапорное движение стоков в системах водоотведения кольцевой структуры // Фундаментальные исследования. 2012. № 11-6. С. 1480–1486.
6. Пат. № 207822 РФ, МПК G01B 5/06, G01B 5/28, G01B 17/02, G01B 17/08, E21B 47/085, G01N 29/265. Устройство для измерения толщины отложений в трубе / О.А. Продоус, Д.И. Шлычков; заявители и патентообладатели О.А. Продоус, Д.И. Шлычков. Заявл. 23.07.2021; опубл. 18.11.2021. Бюл. № 32.
7. Пат. № 2022102567 РФ, МПК G01F 23/30. Устройство для измерения уровня жидкости / О.А. Продоус, Д.И. Шлычков, С.В. Пархоменко; заявители и патентообладатели О.А. Продоус, Д.И. Шлычков, С.В. Пархоменко. Заявл. 02.02.2022; опубл. 08.07.2022.

REFERENCES

1. Prodous O.A., Shlychkov D.I., Abrosimova I.A. Justification of the need for the hydrodynamic cleaning of gravity water discharge networks. *Vestnik MGSU = Vestnik MGSU*. 2022;17(1):106-114. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.1.106-114>. (In Russ.).
2. Prodous O.A., Shlychkov D.I. Forecasting continued operation of gravity drainage networks with deposits in pipe water troughs. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11(4):646-653. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-4-646-653>.
3. Prodous O.A., Shlychkov D.I. Dependence of the actual flow rate in gravity sewerage networks on the thickness of the sediment layer in the tray part of the pipes. *Tekhnologii ochistki vody «TEKHNNOVOD-2021»: materialy XIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Water purification technologies "TECHNOVOD-2021": materials of the XIII International Scientific and Practical Conference*. 14-17 December 2021, Sochi, Krasnaya Polyana. Novocherkassk: PC «Lik»; 2021. p. 101-104. (In Russ.).
4. Yakovlev S.V., Kalitsun V.N. Self-cleaning sewer network. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water Supply and Sanitary Technique*. 1970;7:4-7. (In Russ.).
5. Chupin R.V., Shishelova T.I., Bober A.A. The pressure – non-pressure movement of drains in ring systems of water removal. *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental Research*. 2012;11-6:1480-1486. (In Russ.).
6. Prodous O.A., Shlychkov D.I. A device for measuring the thickness of deposits in a pipe. Patent RF, no. 207822; 2021. (In Russ.).
7. Prodous O.A., Shlychkov D.I. Parkhomenko S.V. Liquid level measuring device. Patent RF, no. 2022102567; 2022. (In Russ.).

Информация об авторах

Продоус Олег Александрович,
д.т.н., генеральный директор,
ООО «ИНКО-эксперт»,
190005, г. Санкт-Петербург, Московский пр.,
37/1, лит. А, Россия,
e-mail: pro@enco.su
<https://orcid.org/0000-0003-0389-3695>

Шлычков Дмитрий Иванович,
к.т.н., доцент кафедры
водоснабжения и водоотведения,
Национальный исследовательский
Московский государственный строительный
университет,
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26,
Россия,
e-mail: ShlyichkovDI@mgsu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0210-2695>

Пархоменко Сергей Викторович,
главный инженер, заместитель директора
Управления капитального строительства
АО «Мосводоканал»,
105005, г. Москва, Плетешковский пер., 2,
Россия,
e-mail: parhomenko_sv@mosvodokanal.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2514-8629>

Абросимова Иванна Александровна,
старший преподаватель кафедры
общей и прикладной физики,
Национальный исследовательский
Московский государственный строительный
университет,
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26,
Россия,
e-mail: AbrosimovaIA@mgsu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4207-4449>

Information about the authors

Oleg I. Prodous,
Dr. Sci. (Eng.), General Director,
INCO-Expert LLC,
37/1, letter A, Moskovskii Ave.,
190005, Saint Petersburg, Russia,
e-mail: pro@enco.su
<https://orcid.org/0000-0003-0389-3695>

Dmitriy I. Shlychkov,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor
of the Department of Water Supply
and Water Disposal,
Moscow State University of Civil Engineering
(National Research University),
26 Yaroslavskoye Shosse, Moscow 129337,
Russia,
e-mail: ShlyichkovDI@mgsu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0210-2695>

Sergey V. Parkhomenko,
Chief Engineer, Deputy Director
Capital Construction Department
of Mosvodokanal JSC,
2 Pleteshkovsky per., Moscow 105005,
Russia,
e-mail: parhomenko_sv@mosvodokanal.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2514-8629>

Ivanna A. Abrosimova,
Senior Lecturer of Department
of General and Applied Physics,
Moscow State University
of Civil Engineering
(National Research University),
26 Yaroslavskoye Shosse, Moscow 129337,
Russia,
e-mail: AbrosimovaIA@mgsu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4207-4449>

Вклад авторов

Авторы имеют равные авторские права и несут
равную ответственность за плагиат.

Contribution of the authors

The authors have equal author's rights and bears
the responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта ин-
тересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regard-
ing the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили окончатель-
ный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 02.12.2022.
Одобрена после рецензирования 23.12.2022.
Принята к публикации 26.12.2022.

Information about the article

The article was submitted 02.12.2022.
Approved after reviewing 23.12.2022.
Accepted for publication 26.12.2022.