



УДК 628.35

С. М. ГУСЕЙНОВА, ст. преп. кафедры водоснабжения, водоотведения, инженерной экологии и химии; **А. Л. ВАСИЛЬЕВ**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой водоснабжения, водоотведения, инженерной экологии и химии; **И. В. КАТРАЕВА**, доц. кафедры водоснабжения, водоотведения, инженерной экологии и химии; **О. В. КАЛИНА**, преподаватель

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ВОЗВРАТНЫХ ВОД УЧАСТКОВ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОСАДКОВ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (831) 430-54-87; эл. почта: k_viv@nngasu.ru

Ключевые слова: фугат, фильтрат, возвратные потоки, очистка сточных вод, загрязнение водных объектов, биологическая очистка, биогенные элементы, городские очистные сооружения, обезвоживание осадка.

В статье выполнен анализ процессов образования возвратных вод после обезвоживания осадков на городских очистных сооружениях, рассматриваются особенности применения при обезвоживании метода центрифугирования и фильтр-прессования, проанализированы основные качественные и количественные характеристики фугата и фильтрата, влияние их возврата в начало очистных сооружений на эффективность работы станций и на содержание в общем потоке сточных вод биогенных соединений, описаны основные перспективные методы очистки высококонцентрированных возвратных вод и возможности их применения.

Одним из основных источников поступления загрязняющих веществ в водные объекты являются хозяйственно-бытовые и промышленные сточные воды, которые аккумулируются с городской территории и направляются на очистные сооружения канализации (далее – ОСК).

ОСК крупнейших городов в России, как правило, относятся к 1 категории негативного воздействия на окружающую среду (далее – НВОС). Некоторые сооружения в соответствии с приказом Министерства внесены в перечень объектов, вклад которых в суммарные сбросы загрязняющих веществ по стране составляет не менее чем 60 % [1].

Промышленные и хозяйственно-бытовые сточные воды, направляемые на очистку на ОСК, насыщены органическими и биогенными веществами, в том числе содержащими азот и фосфор. Данные экологического мониторинга подтверждают актуальность проблемы загрязнения водных объектов данными соединениями. К примеру, за период наблюдений с 2013 по 2024 год вода в водных объектах, относящихся к бассейну Горьковского водохранилища, имела класс качества «загрязненная» или «очень загрязненная» [2–5]. При этом наиболее часто превышения ПДК фиксировались по нитритному азоту, аммонийному азоту и органическим веществам [6].

На сегодняшний день в России действуют нормативно-правовые акты,



регулирующие допустимый сброс сточных вод, однако несоблюдение установленных нормативов предприятиями и сброс недостаточно очищенных на ОСК городских сточных вод (далее – ГСВ) приводит к загрязнению водных объектов.

В соответствии со статьей 31.1 Федерального закона от 10.01.2002 №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» с 1 января 2025 года хозяйственная деятельность на объектах НВОС 1 категории, к которым относятся ОСК, может осуществляться только при наличии комплексного экологического разрешения (далее – КЭР) [7]. Ужесточение природоохранных требований влечет за собой необходимость модернизации ОСК, так как в крупных городах России большинство из них были построены во второй половине прошлого века и технически не могут обеспечить очистку стоков до обновленных нормативных значений. Однако процесс полномасштабной реконструкции ОСК является трудозатратным и дорогостоящим, а также влечет за собой приостановку работы сооружений на определенный период, что оказывает негативное воздействие на водные ресурсы.

Таким образом, актуальным направлением является оптимизация отдельных технологических процессов на ОСК.

Одной из наиболее актуальных задач в контексте модернизации ОСК является поиск решений по эффективной обработке возвратных вод, образующихся после участков механического обезвоживания осадков (далее – УМОО) ГСВ. Основная проблема заключается в том, что возвратные воды являются высококонцентрированными и направляются в начало очистных сооружений без предварительной обработки, что приводит к увеличению нагрузки на сооружения и вследствие этого к снижению эффективности очистки общего потока сточных вод [6].

Данный тип возвратных вод образуется на сверхкрупных (производительность 600000 м³/сут) и крупнейших (производительность 200000–600000 м³/сут) очистных сооружениях [8], в технологической схеме которых имеется этап сбрасывания осадка в метантенках.

На большинстве станций в России возвратные воды УМОО образуются в процессе обезвоживания осадков ГСВ с использованием центрифуг или фильтр-прессов. Основная функция процесса обезвоживания осадка заключается в уменьшении его влажности и разделении жидкой фазы (фугата в случае использования центрифуг и фильтрата в случае использования фильтр-прессов) от твердой – кека.

Осадок предварительно может обрабатываться реагентами (в подавляющем числе случаев органическими флокулянтами). В результате нарушения коллоидной структуры частиц осадка выделяется свободная вода, которая отделяется под давлением (в ленточных или камерных фильтр-прессах, либо шнековых прессах) или в центробежном поле (в центрифугах). Образующийся фильтрат (фугат) отводится.

Состав фугата и фильтрата зависит от исходного состава осадка и степени его предварительной обработки.

В случае с центрифугированием интенсивность отделения жидкой фазы определяется режимом и конструктивными особенностями центрифуги. Обезвоживание осадка в центрифугах может проводиться как с использованием реагентов, так и без них, что влияет на свойства образующегося фугата.

Принципиально иным является процесс образования фильтрата: осадок



сточных вод, предварительно обработанный методом флокуляции или коагуляции, подается в фильтр-пресс, где подвергается воздействию высокого давления, что способствует удалению свободной воды из осадка, уменьшению его объема и увеличению плотности.

В данной работе был проведен анализ состава фугата центрифуг и фильтрата фильтр-прессов, поэтому более подробно рассмотрены преимущества и недостатки именно этих вариантов обезвоживания (табл. 1).

Таблица 1

**Сравнительный анализ преимуществ и недостатков применения
центрифугирования и фильтр-прессования для обезвоживания осадка ГСВ**

Критерий	Центрифугирование	Фильтр-прессование
Преимущества	Высокая производительность и непрерывность процесса, возможность автоматизации. Компактность установок, возможность работы по безреагентным схемам или с применением флокулянтов для повышения эффективности задержания сухого вещества до 90–95 %.	Очень низкая влажность осадка (40–50 %, особенно при предварительном кондиционировании реагентами). Сокращение расхода электроэнергии [9]. Высокое давление способствует эффективному отжиму.
Недостатки	Высокие показатели БПК и ХПК в фугате при безреагентной схеме. Быстрое изнашивание центрифуг при наличии в осадке абразивных включений, необходимость их предварительного удаления. Более высокие эксплуатационные затраты на электроэнергию по сравнению с фильтр-прессами.	Фильтровальная ткань со временем изнашивается и требует замены. Увеличение потребления энергии из-за необходимости термосушки. Затраты на реагенты. Эксплуатация может сопровождаться распространением запаха.

Таким образом, применение метода центрифугирования позволяет сэкономить производственную площадь благодаря компактности, однако требует предварительного удаления песка и других абразивных веществ из осадка. Фильтр-пресс позволяет получить кек максимально низкой влажности и обеспечить меньший расход электроэнергии, однако требует использования реагентов.

Был проведен сравнительный анализ показателей фугата УМОО ОСК г. Москвы и фильтрата УМОО ОСК г. Нижнего Новгорода. На обеих станциях реализована многоступенчатая очистка, включающая стадии механической, биологической очистки и обеззараживания. Однако производительность рассматриваемых в данной работе ОСК г. Москвы почти в 5 раз выше производительности ОСК г. Нижнего Новгорода, также в г. Москва внедрены более сложные и современные методы очистки, включая глубокое удаление биогенных элементов.

И в фугате, и в фильтрате рассматриваемых ОСК обнаружено высокое содержание ионов аммония и фосфат-ионов, также более высокое содержание нитрат-ионов наблюдается в фугате (табл. 2).



Таблица 2

**Сравнительный анализ показателей фугата ОСК г. Москвы и фильтрата
ОСК г. Нижнего Новгорода**

Показатель	Фугат (ОСК г. Москвы)	Фильтрат (ОСК г. Нижнего Новгорода)
ХПК, мг/дм ³	1270	256
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	174	42,5
Аммоний-ион, мг/дм ³	340	213
Нитрат-ион, мг/дм ³	49,5	2,62
Фосфат-ион, мг/дм ³	35,8	63,9

Фугат центрифуг имеет более высокие значения ХПК и БПК из-за присутствия органических веществ. Концентрации нитратов, фосфатов и аммония и в фугате, и в фильтрате отличаются и могут варьироваться в зависимости от исходного осадка и условий обработки, однако по всем трем показателям возвратные воды являются «высококонцентрированными».

Таким образом, на рассматриваемых очистных сооружениях г. Нижнего Новгорода и г. Москвы УМОО ОСК является местом образования возвратных потоков, насыщенных биогенными элементами.

На примере ОСК г. Нижнего Новгорода был проведен анализ изменения концентрации фосфатов в процессе очистки сточных вод и влияния возврата фильтрата без обработки в начало очистных сооружений (рис.).

При очистке сточных вод на этапе осветления после первичных отстойников в месте возврата неочищенного высококонцентрированного фильтрата концентрация фосфат-иона в воде возрастает на 0,7 мг/дм³.

Таким образом, возврат фильтрата без предварительной обработки приводит к увеличению содержания загрязняющих веществ в общем потоке сточных вод, что в свою очередь увеличивает нагрузку на ОСК и снижает эффективность очистки ГСВ.

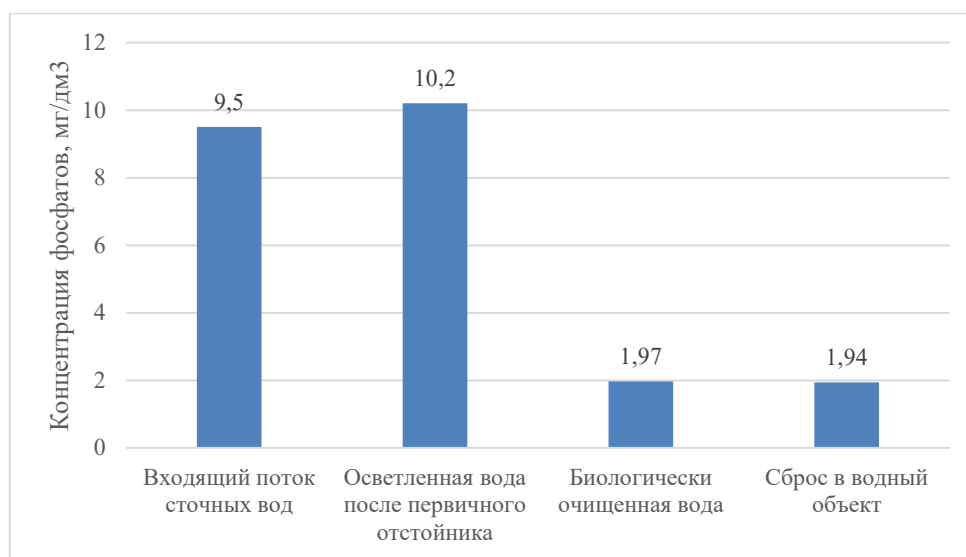


Рисунок. Анализ изменения концентрации фосфатов в процессе очистки сточных вод

Согласно данным справочника ИТС НДТ, из всех анкетизируемых при разработке справочника объектов ОСК, менее 10 % используют современные технологии, обеспечивающие удаление азота и фосфора [10], что подтверждает актуальность проблемы очистки сточных вод от данных биогенных элементов и обработки высококонцентрированного фугата и фильтрата перед возвратом в начало ОСК.

Согласно данным справочника ИТС НДТ, существующие технологии обработки возвратных вод УМОО в России имеют статус «перспективные» и отнесены к категориям А1, то есть применяются на некоторых объектах за рубежом, при этом в России выполнен большой объем исследований и разработаны новые конфигурации процесса, или к категории Б1, то есть не имеющим достаточного числа применений в России (более 5 применений), но также используемым за рубежом.

Среди перспективных технологий приведены очистка возвратных потоков от фосфатов с получением сырья для производства удобрения, где возвратный поток обрабатывается в реакторе с псевдоожиженным слоем песка с добавлением реагента (соль магния) с образованием потенциального фосфорно-азотного удобрения – струвита. Данный метод обеспечивает рекуперацию фосфора и снижение его концентрации в воде, что позволяет снизить негативное воздействие на водные объекты. Метод экономически целесообразно применять при концентрации фосфора фосфатов в возвратной воде от 50–70 мг/л и выше.

Для удаления соединений азота в качестве наиболее перспективных в ИТС НДТ рассматривается аноксидное окисление аммония с помощью анаммокс-технологии. Метод позволяет повысить эффективность и снизить себестоимость очистки возвратных потоков от азота. Для реализации метода применяется стационарная или подвижная иммобилизующая загрузка с анаммокс бактериями. В первом отдельном реакторе или в ходе совместного процесса происходит окисление аммония до нитрита, при этом оставшая часть аммония окисляется образовавшимся нитритом с образованием молекулярного азота. Метод позволяет обеспечить глубокое удаление азота при высокой энергоэффективности, но для



его осуществления необходимы анаэробные условия и отсутствие органического углерода.

Анализ процессов образования возвратных вод позволяет сделать вывод о том, что, несмотря на различия процессов центрифугирования и фильтропрессования, образующиеся на УМОО ГСВ фугат и фильтрат являются высококонцентрированными по содержанию соединений азота и фосфора. Возврат данных потоков в начало очистных сооружений перед первичными отстойниками увеличивает концентрацию биогенных элементов в общем потоке сточных вод, негативно влияет на работу сооружений и снижает эффективность очистки ГСВ.

Анализ технологий обработки возвратных вод УМОО ГСВ позволяет сделать вывод о том, что на данный момент не разработаны технологии их комплексной очистки от органических веществ, азота и фосфора, а избирательные методы очистки для отдельных биогенных веществ остаются в перечне перспективных и не имеют практического внедрения на ОСК в России. В связи с ужесточением природоохранных требований для объектов ОСК, относящимся к I категории НВОС, актуальным является внедрение на данных объектах локальных узлов комплексной доочистки возвратных вод с целью повышения эффективности очистки ГСВ и снижения негативного воздействия на окружающую среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Российская Федерация. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Об утверждении перечня объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, относящихся к I категории, вклад которых в суммарные выбросы, сбросы загрязняющих веществ в российской федерации составляет не менее чем 60 процентов : приказ Минприроды Российской Федерации от 18.04.2018 № 154. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Режим доступа: КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф. – Текст : электронный.
2. Качество поверхностных вод Российской Федерации : ежегодник 2013 / редактор А. М. Никаноров. – Ростов-на-Дону : Гидрохимический институт : Росгидромет, 2014. – URL: <https://gidrohim.com/node/24>. – Текст : электронный.
3. Качество поверхностных вод Российской Федерации : ежегодник 2017 / редактор М. М. Трофимчук. – Ростов-на-Дону : Гидрохимический институт : Росгидромет, 2018. – URL: <https://gidrohim.com/node/72>. – Текст : электронный.
4. Качество поверхностных вод Российской Федерации : ежегодник 2021 / редактор М. М. Трофимчук. – Ростов-на-Дону : Гидрохимический институт : Росгидромет, 2022. – URL: <https://gidrohim.com/node/2796>. – Текст : электронный.
5. Качество поверхностных вод Российской Федерации : ежегодник 2024 / редактор М. М. Трофимчук. – Ростов-на-Дону : Гидрохимический институт : Росгидромет, 2023. – URL: <https://gidrohim.com/node/2843>. – Текст : электронный.
6. Васильев, А. Л. Анализ влияния возвратных потоков на эффективность биологической очистки городских сточных вод / А. Л. Васильев, С. М. Гусейнова, М. А. Патова // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2024. – № 3 (71). – С. 82–87. – EDN PKODRG.
7. Российская Федерация. Законы. Об охране окружающей среды : федеральный закон Российской Федерации от 10 января 2002 №7-ФЗ [принят Государственной Думой 20 декабря 2001 года : одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 года] : [с изм. и доп.,



вступ. в силу с 01.03.2026]. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Режим доступа: КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф. – Текст : электронный.

8. Российская Федерация. Правительство. Об утверждении технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов : постановление Правительства Российской Федерации от 15 сентября 2020 № 1430. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Режим доступа: КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф. – Текст : электронный.

9. Крымов, Р. С. Исследование процесса обезвоживания осадков городских сточных вод г. Красноперкопск / Р. С. Крымов, Н. С. Мельникова, С. В. Остренко. – Текст : электронный // Экономика строительства и природопользования. – 2022. – № 4 (85). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-protsessa-obezvozhivaniya-osadkov-gorodskih-stochnyh-vod-g-krasnoperekopsk>.

10. ИТС 10-2019. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов : утвержден Приказом Росстандарта от 12.12.2019 № 2981 : дата введения 2020-09-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/564068889?ysclid=m8igyk8sli332534046>. – Текст : электронный.

GUSEINOVA Sayad Mukhtarovna, senior teacher of the chair of water supply, sewage, engineering ecology and chemistry; VASILEV Aleksey Lvovich, doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of water supply, sewage, engineering ecology and chemistry; KATRAYEVA Inna Valentinovna, associate professor of the chair of water supply, sewage, engineering ecology and chemistry; KALINA Olga Vladimirovna, teacher

ANALYSIS OF FORMATION PROCESSES AND RETURN WATER TREATMENT TECHNOLOGIES FOR MECHANICAL SLUDGE DEWATERING FACILITIES IN MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: (831) 430-54-87; e-mail: k_viv@nngasu.ru

Key words: centrate, filtrate, return flows, wastewater treatment, water body pollution, biological treatment, nutrients, municipal wastewater treatment plants, sludge dewatering.

This article presents an analysis of the formation processes of return water generated during sludge dewatering at municipal wastewater treatment plants. The study examines the specific operational features of centrifugation and filter press dewatering methods. It analyzes the primary qualitative and quantitative characteristics of the resulting centrate and filtrate, as well as the impact of returning these streams to the plant headworks on overall treatment efficiency and the nutrient load in the main wastewater flow. Furthermore, the article describes advanced prospective treatment methods for highly concentrated return water and discusses the potential for their practical application.

REFERENCES

1. Rossiyskaya Federatsiya. Ministerstvo prirodnnykh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii. Ob utverzhdenii perechnya obektov, okazyvayushchikh negativnoe vozdeystvie na



okruzhayushchuyu sredu, odnosyashchikhsya k 1 kategorii, vklad kotorykh v summarnye vybrosy, sbrosy zagryaznyayushchikh veshchestv v rossiyskoy federatsii sostavlyayet ne menee chem 60 protsentov [On Approval of the List of Facilities Having a Negative Impact on the Environment, Classified in Category 1, the Contribution of Which to the Total Emissions and Discharges of Pollutants in the Russian Federation is at Least 60 Percent] : prikaz Minprirody Rossiyskoy Federatsii ot 18.04.2018 № 154. URL: <http://www.consultant.ru>. Access mode: ConsultantPlus. Legislation. VersionProf.

2. Kachestvo poverkhnostnykh vod Rossiyskoy Federatsii [Quality of Surface Waters of the Russian Federation]: ezhegodnik 2013. redaktor A. M. Nikanorov. Rostov-on-Don, Gidrokhimicheskiy institut : Rosgidromet, 2014. URL: <https://gidrohim.com/node/24>.

3. Kachestvo poverkhnostnykh vod Rossiyskoy Federatsii 2017 [Quality of Surface Waters of the Russian Federation]: ezhegodnik. redaktor M. M. Trofimchuk. Rostov-on-Don, Gidrokhimicheskiy institut : Rosgidromet, 2018. URL: <https://gidrohim.com/node/72>.

4. Kachestvo poverkhnostnykh vod Rossiyskoy Federatsii [Quality of Surface Waters of the Russian Federation]: ezhegodnik 2021. redaktor M. M. Trofimchuk. Rostov-on-Don, Gidrokhimicheskiy institut : Rosgidromet, 2022. URL: <https://gidrohim.com/node/2796>.

5. Kachestvo poverkhnostnykh vod Rossiyskoy Federatsii [Quality of Surface Waters of the Russian Federation]: ezhegodnik 2024. redaktor M. M. Trofimchuk. Rostov-on-Don, Gidrokhimicheskiy institut : Rosgidromet, 2023. URL: <https://gidrohim.com/node/2843>.

6. Vasilev A. L., Guseynova S. M., Patova M. A. Analiz vliyaniya vozvratnykh potokov na effektivnost biologicheskoy ochistki gorodskikh stochnykh vod [Analysis of the impact of return flows on the efficiency of biological treatment of municipal wastewater]. Privolzhskiy nauchnyy zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2024, № 3 (71), P. 82–87. EDN PKODRG.

7. Rossiyskaya Federatsiya. Zakony. Ob okhrane okruzhayushchey sredy [On Environmental Protection] : federalny zakon Rossiyskoy Federatsii ot 10 yanvarya 2002 №7-FZ. [prinyat Gosudarstvennoy Dumoy 20 dekablya 2001 goda : odobren Sovetom Federatsii 26 dekablya 2001 goda]: [s izm. i dop., vstup. v silu s 01.03.2026]]. URL: <http://www.consultant.ru>. Access mode: ConsultantPlus. Legislation. VersionProf.

8. Rossiyskaya Federatsiya. Pravitelstvo. Ob utverzhdenii tekhnologicheskikh pokazateley nailuchshikh dostupnykh tekhnologiy v sfere ochistki stochnykh vod s ispolzovaniem tsentralizovannykh sistem vodootvedeniya poseleniy ili gorodskikh okrugov [On Approval of Technological Indicators of Best Available Technologies in the Field of Wastewater Treatment Using Centralized Sewerage Systems of Settlements or Urban Okrugs] : postanovlenie Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 15 sentyabrya 2020 № 1430. URL: <http://www.consultant.ru>. Access mode: ConsultantPlus. Legislation. VersionProf.

9. Krymov R. S., Melnikova N. S., Ostrenko S. V. Issledovanie protsessa obezvozhivaniya osadkov gorodskikh stochnykh vod g. Krasnoperekopsk [Study of the dewatering process of municipal wastewater sludge in Krasnoperekopsk]. Ekonomika stroitelstva i prirodopolzovaniya [Economics of Construction and Nature Management]. 2022, № 4 (85). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-protssesa-obevozhozhivaniya-osadkov-gorodskikh-stochnykh-vod-g-krasnoperekopsk>.

10. ITS 10-2019. Informatsionno-tekhnicheskii spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam. Ochistka stochnykh vod s ispolzovaniem tsentralizovannykh sistem vodootvedeniya poseleniy, gorodskikh okrugov [Information and Technical Reference Book on Best Available Technologies. Wastewater Treatment Using Centralized Sewerage Systems of Settlements, Urban Okrugs] : utverzhden Prikazom Rosstandarta ot 12.12.2019 № 2981 : data vvedeniya 2020-09-01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564068889?ysclid=m8igyk8s1i332534046>.

© С. М. Гусейнова, А. Л. Васильев, И. В. Катраева, О. В. Калина, 2026

Получено: 03.04.2026 г.