

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-5-86-91>

УДК 627.83:626.88



РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА СВОБОДНО ЛЕЖАЩЕЕ БЕТОННОЕ ПОЛОТНО МАРКИ BE-NOTEX SK

В.А. Фартуков¹, С.Н. Щукин², М.И. Зборовская³, К.С. Семенова⁴, А.А. Кадысова⁵

^{1,2,3,4,5}ФГБОУ ВО Российской государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

¹fartukov@rgau-msha.ru; ORCID: 0000-0002-8405-8757

²89031025452@mail.ru

³zborovskya@rgau-msha.ru; ORCID: 0000-0002-8405-8757

⁴kristi11.05.88@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-4446-4435

⁵kadyseva@mail.ru; ORCID: 0000-0001-8703-5684

Аннотация. Целью исследований являлась экспериментальная оценка воздействия пульсаций давления водного потока на устойчивость свободно лежащего противофильтрационного покрытия из бетонного полотна BE-NOTEX SK в канале трапецидального сечения. Исследования проводились на физической модели в лабораторном лотке при расходах воды 84, 120 и 168 л/с. Гидродинамическое давление измерялось синхронно на поверхности покрытия и под ним с помощью датчиков ДД-10, что позволило определить разность давления и оценить риски отрыва полотна. Для обработки сигналов использовался специализированный измерительный комплекс с активной фильтрацией. Установлена зависимость амплитуды и частоты пульсаций давления от расхода воды. Выявлено, что максимальные пиковые значения частот (до 800 Гц) наблюдаются под покрытием на откосе. Разность давления на верхней и нижней поверхностях полотна не превышает 2,7 см вод. ст., что свидетельствует об отсутствии значительных отрывных усилий. Покрытие сохраняло устойчивость без деформаций при скорости потока до 1,86 м/с. На основании экспериментальных данных подтверждена эффективность применения бетонного полотна BE-NOTEX SK в качестве защитного покрытия каналов. Установлено, что для обеспечения устойчивости минимальная пригрузка полотна может быть снижена до 0,08-0,10 от величины гидростатического давления.

Исследование выполнено в рамках проекта по созданию и развитию инженерного центра РГАУ-ТСХА имени К.А. Тимирязева (соглашение № 075-15-2025-543 от 16 июня 2025)

Ключевые слова: гидродинамическое давление, пульсации давления, защитное покрытие, защитное покрытие, устойчивость покрытия, экспериментальные исследования

Формат цитирования: Фартуков В.А., Щукин С.Н., Зборовская М.И., Семенова К.С., Кадысова А.А. Результаты исследований гидродинамического давления на свободно лежащее бетонное полотно марки BE-NOTEX SK// Природообустройство. 2025. № 5. С. 86-91. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-5-86-91>

Original article

RESULTS OF RESEARCH OF HYDRODYNAMIC PRESSURE ON A FREE-LYING CONCRETE SLAB OF BE-NOTEX SK BRAND

V.A. Fartukov¹, S.N. Shchukin², M.I. Zborovskaya³, K.S. Semenova⁴, A.A. Kadysova⁵

^{1,2,3,4,5}Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Kostyakov Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russia

¹fartukov@rgau-msha.ru; ORCID: 0000-0002-8405-8757

²89031025452@mail.ru

³zborovskya@rgau-msha.ru; ORCID: 0000-0002-8405-8757

⁴kristi11.05.88@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-4446-4435

⁵kadyseva@mail.ru; ORCID: 0000-0001-8703-5684

Abstract. The aim of the research was to experimentally evaluate the effect of pressure pulsations of a water stream on the stability of a free-lying anti-filtration coating made of BE-NOTEX SK concrete in a trapezoidal channel. The studies were carried out on a physical model in a laboratory tray with water flow rates of 84, 120 and 168 liters/s. The hydrodynamic pressure was measured synchronously on the surface of the coating

and under it using DD-10 sensors, which made it possible to determine the pressure difference and assess the risks of tearing the web. A specialized measuring system with active filtering was used for signal processing. The dependence of the amplitude and frequency of pressure pulsations on the water flow rate has been established. It was revealed that the maximum peak frequency values (up to 800 Hz) are observed under the pavement on the slope. The pressure difference on the upper and lower surfaces of the web does not exceed 2.7 cm of water, which indicates the absence of significant tear-off forces. The coating remained stable without deformations at flow rates up to 1.86 m/s. Based on experimental data, the effectiveness of using BE-NOTEX SK concrete sheet as a protective coating of channels has been confirmed. It was found that to ensure stability, the minimum loading of the web can be reduced to 0.08-0.10 of the hydrostatic pressure value.

The study was carried out as part of the project to create and develop the engineering center of the Russian State Agrarian University – Timiryazev Agricultural Academy (agreement No. 075-15-2025-543 dated June 16, 2025)

Keywords: hydrodynamic pressure, pressure pulsations, protective coating, coating stability, experimental studies

Format of citation: Fartukov V.A., Shchukin S.N., Zborovskaya M.I., Semenova K.S., Kadysova A.A. Results of research of hydrodynamic pressure on a free-lying concrete slab of BE-NOTEX SK brand // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 5. P. 86-91. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-5-86-91>

Введение. Эффективная и безопасная эксплуатация гидромелиоративных каналов во многом определяется надежностью их противофильтрационных и защитных покрытий. Одной из актуальных проблем при проектировании и эксплуатации таких сооружений является обеспечение устойчивости покрытий к динамическим нагрузкам, создаваемым движущимся потоком воды [1, 2]. Пульсации гидродинамического давления, носящие случайный характер, могут вызывать вибрацию, и в крайних случаях – отрыв материала от основания, что приводит к разрушению конструкции [3].

В последнее время все более широкое применение находят инновационные материалы – такие, как бетонные полотна. Полотно BE-NOTEX SK представляет собой гибкую полимерную конструкцию, заполненную сухой бетонно-песчаной смесью, которая после гидратации водой образует прочный, водонепроницаемый и долговечный слой [5]. Несмотря на заявленную производителем устойчивость к различным воздействиям, включая гидродинамические нагрузки, вопросы, связанные с характером и величиной пульсационного давления на такое покрытие и под ним изучены недостаточно полно [6, 7].

Цель исследований: экспериментальное изучение характеристик гидродинамического давления (амплитуды и частоты пульсаций) на поверхности свободно лежащего бетонного полотна BE-NOTEX SK и под ним при различных расходах воды, а также оценка его устойчивости к возникающим нагрузкам.

Материалы и методы исследований. Экспериментальные исследования проводились

на физической модели канала (лотка) трапециoidalного профиля в лабораторных условиях. Ширина дна лотка составляла 485 мм. В качестве исследуемого материала использовалось бетонное полотно BE-NOTEX SK шириной 473 мм, уложенное свободно (без механического крепления) на дно и откосы лотка.

Гидравлические режимы моделировались путем подачи воды в лоток с помощью насосной установки. Были заданы три значения расхода: 84, 120 и 168 л/с, что соответствовало средним скоростям потока 1,24; 1,53; 1,86 м/с.

Для измерения гидродинамического давления использовался комплект из четырех индукционных датчиков давления ДД-10 [8-10]. Датчики были установлены попарно в двух створах (рис. 1). Такая схема позволила синхронно

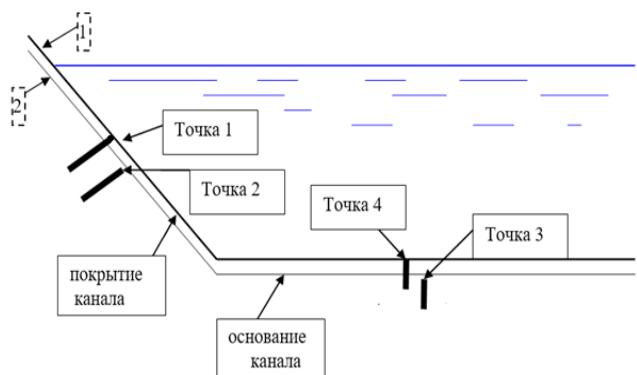


Рис. 1. Расположение датчиков в лотке:
1 – полотно бетонное; 2 – лоток; точка 1 – датчик 1;
точка 2 – датчик 2; точка 3 – датчик 3;
точка 4 – датчик 4

Fig. 2. Location of sensors in the tray:
1 – concrete slab; 2 – tray; point 1 – sensor 1;
point 2 – sensor 2; point 3 – sensor 3; point 4 – sensor 4

регистрировать давление по обе стороны от покрытия и определять перепад давлений, являющийся ключевым фактором для оценки отрывных усилий.

Измерительная система состояла из трех основных групп оборудования (рис. 2): измерение пульсации давления; измерение скоростей потока; анализ и обработка данных. В группу приборов измерения пульсации А входят датчики ДД-10 (1), подключенные к микропроцессорному измерителю давления. Для подавления высокочастотных помех и наводок в цепь был включен активный фильтр нижних частот 3-го порядка Баттервортса (2). Сигнал усиливается усилителем (4), питаемым от блока питания (3). Регистрация сигналов осуществлялась с помощью четырехканального осциллографа АСК-3107 (5).

В группу приборов В (измерение скоростей потока) входит микровертушка (6) с преобразователем сигнала (7), которые позволяют осуществлять контроль скорости потока.

В группе приборов С (анализ и обработка данных) аналоговые сигналы с осциллографа

и преобразователя скорости оцифровывались и передавались на персональный компьютер (8). Обработка данных, включая спектральный анализ, производилась с использованием программных комплексов ViewLab, PC-Lab2000 и Mathcad 14.

Обработка результатов измерений включала в себя статистический анализ. Погрешность измеренных осредненных характеристик пульсаций давления не превышала 10% при доверительной вероятности 90% (интервал $\pm 2\sigma$) и 99,7% при интервале $\pm 3\sigma$ [11]. Результаты, выходящие за эти интервалы, классифицировались как «выбросы» и исключались из дальнейшего анализа. Для управления измерительным комплексом использовался платформонезависимый интерфейс, описанный в работе [3].

Результаты и их обсуждение. В ходе экспериментов были получены данные по амплитудно-частотным характеристикам пульсаций давления для всех контрольных точек и режимов течения (табл. 1).

Таблица 1. Результаты замеров пульсаций давлений

Table 1. Results of pressure pulsation measurements

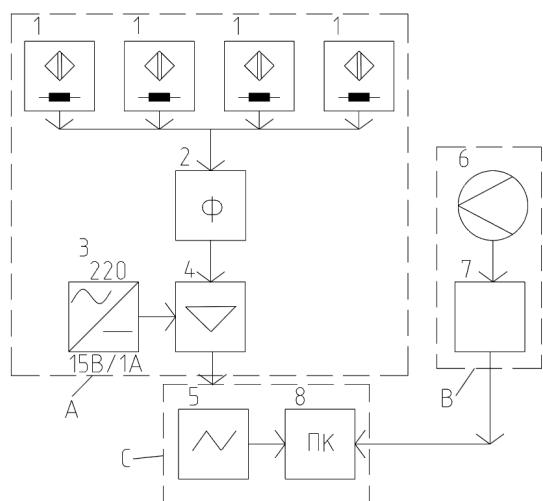


Рис. 2. Принципиальная схема измерительной установки:

А – группа приборов определения пульсации давления; В – определение скоростей потока; С – анализ и обработка данных (1 – датчиками давления ДД-10; 2 – активным фильтром 3-го порядка Баттервортса; 3 – блоком питания; 4 – усилителем; 5 – осциллографом АСК-3107; 6 – микровертушкой; 7 – преобразователем сигнала; 8 – персональным компьютером)

Fig. 2. Schematic diagram of the measuring system:

А – a group of pressure pulsation detection devices;
В – determination of flow rates;
С – data analysis and processing with 1 – DD-10 pressure sensors;
2 – an active 3rd-order Butterworth filter;
3 – a power supply unit; 4 – an amplifier;
5 – an ASK-3107 oscilloscope; 6 – a micro-coil;
7 – signal converter, 8 – personal computer

Расход воды в канале, л/с Water consumption in the channel, l/s	Среднее значение пульсации давления, см вод. ст. Average pressure pulsation value, cm of water column	Частота, Гц Frequency, Hz	Скорость, м/с Speed, m/s
Датчик точки 1 / Point 1 sensor			
168	56,3	400/570	1,86
120	54,12	500	1,53
84	41,04	400	1,24
Датчик точки 2 / Point 2 sensor			
168	49,67	120/800	1,86
120	47,35	–	1,53
84	37,46	320/670	1,24
Датчик точки 3 / Point 3 sensor			
168	56,93	–	1,86
120	55,63	–	1,53
84	45,93	–	1,24
Датчик точки 4 / Point 4 sensor			
168	66,3	350/700	1,86
120	64,12	550	1,53
84	51,04	200/700	1,24

С увеличением расхода (и скорости) потока закономерно возрастают средние значения пульсаций давления во всех точках измерений. Например, для датчика 1 (откос, поверх) при росте расхода с 84 до 168 л/с среднее давление увеличилось с 41,04 до 56,30 см вод. ст., что согласуется с известными закономерностями [1]. Наблюдается сложный многопиковский характер спектра пульсаций, особенно под покрытием (датчики 2 и 4). При максимальном расходе под покрытием на откосе (датчик 2) фиксируются пики на частотах 120 и 800 Гц, что свидетельствует о наличии высокочастотных составляющих, обусловленных, вероятно, турбулентными вихреобразованиями в зазоре между полотном и основанием, аналогично эффектам, описанным в работе [3]. На откосе (точки 1, 2) зафиксированы более высокочастотные пульсации по сравнению с дном (точки 3, 4), где резких пиков частот не наблюдалось. Это согласуется с теорией о более сложной и нестационарной структуре потока на наклонных участках [1].

Для оценки устойчивости покрытия выполнен анализ разности давления на его верхней и нижней поверхностях (табл. 2).

На откосе давление на поверхности покрытия всегда превышает давление под ним (положительная разность), что создает прижимной эффект. На дне наблюдается обратная, но незначительная картина. Величина перепада давления невелика (максимум 2,7 см вод. ст. на откосе при $Q = 120$ л/с), что указывает на отсутствие значительных отрывных усилий, способных дестабилизировать покрытие.

Значение «Превышение давления» (отношение давления под покрытием к давлению

на нем, %) составляет от 94 до 98%. Это означает, что результирующая сила, стремящаяся оторвать покрытие, составляет лишь 2-6% от общего гидродинамического давления, что является благоприятным фактором для устойчивости и подтверждает результаты, полученные ранее для других типов покрытий [2, 3].

Визуальный осмотр покрытия после испытаний подтвердил его целостность и отсутствие деформаций включая режим с максимальной скоростью потока 1,86 м/с.

Проведенные экспериментальные исследования позволили определить количественную оценку гидродинамического воздействия на свободно лежащее бетонное полотно BE-NOTEX SK. Установлено, что в диапазоне расходов 84-168 л/с (скоростей 1,24-1,86 м/с) покрытие демонстрирует высокую устойчивость.

1. Выявлена прямая зависимость амплитуды пульсаций давления от расхода воды. Частотный спектр пульсаций под покрытием характеризуется наличием высокочастотных составляющих (до 800 Гц), что особенно отражается на откосе.

2. Определено, что разность гидродинамических давлений на верхней и нижней поверхностях полотна незначительна и не создает критических отрывных усилий. Результирующая подъемная сила не превышает 6% от действующего давления.

3. Подтверждено, что бетонное полотно BE-NOTEX SK сохраняет свою целостность и положение без деформаций при скоростях потока до 1,86 м/с, что свидетельствует о его эффективности в качестве защитного покрытия каналов

Таблица 2. Гидродинамических показателей дна и откоса лотка, укрепленного бетонных полотном

Table 2. Hydrodynamic indicators of the bottom and slope of the tray reinforced with concrete coating

Расход, л/с <i>Consumption, l/s</i>	Скорость потока, м/с <i>Flow speed, m/s</i>	Гидродинамическое давление, см вод. ст. <i>Hydrodynamic pressure, cm wat. st.</i>	Гидродинамическое давление, см вод. ст. <i>Hydrodynamic pressure, cm wat. st.</i>	Разница гидродинамического давления, см вод. ст. <i>Pressure difference, cm wat. st.</i>	Превышение гидродинамического давления, % <i>Excess hydrodynamic pressure, %</i>
		Датчик точки 1	Датчик точки 2		
168,0	1,86	51,20	49,7	1,50	97,0
120,0	1,53	46,70	44,0	2,70	94,2
84,0	1,24	42,05	39,6	2,45	94,0
		Датчик точки 3	Датчик точки 4		
168,0	1,86	60,9	62,1	1,2	98,0
120,0	1,53	55,2	56,8	1,6	97,0
84,0	1,24	50,1	51,9	1,8	96,5

Выводы

Разработана и апробирована методика комплексной экспериментальной оценки гидродинамической устойчивости гибких защитных покрытий, позволяющая синхронно измерять давление на поверхности и под материалом.

Установлены фактические характеристики пульсационного давления (амплитуда, частотный диапазон 1-800 Гц) для бетонного полотна BE-NOTEX SK при различных гидравлических режимах.

Список использованных источников

1. Козлов К.Д. Исследования гидродинамического воздействия водного потока на защитное покрытие из геосинтетического материала / К.Д. Козлов, Н.В. Ханов, В.А. Фартуков, Д.В. Козлов // Строительство: наука и образование. 2018. Т. 8, № 1(27). С. 9.
2. Фартуков В.А. Инновационная система гидродинамических исследований водного потока / В.А. Фартуков, М.В. Землянникова // Природообустройство. 2016. № 3. С. 75-79. EDN: WJLCPZ
3. Фартуков В.А. Ментальный платформ независимый интерфейс управления лабораторными исследованиями гидротехнических сооружений / В.А. Фартуков, М.В. Землянникова, Н.В. Ханов // Природообустройство. 2020. № 2. С. 66-68. EDN: YHУJPK
4. Полотно бетонное Be-Notex SK. СТО 65458320-010-2023 [электронный ресурс] URL: <https://geovostok.ru/catalog/betonnoe-polotno> (дата обращения 25.06.24).
5. Результаты гидравлических исследований геоматов марки Энкамат А20 и Энкамат 7225, заполненных грунтом с посевом многолетних трав / Н.В. Ханов, О.Н. Черных, С.Н. Щукин [и др.] // Природообустройство. 2024. № 5. С. 71-79. EDN: MQRYMW
6. Фролов А.С. Создание и первый опыт эксплуатации вновь разработанного программного комплекса для моделирования гидравлических систем / А.С. Фролов, К.А. Труханов, С.В. Лупуляк [и др.] // Гидравлика. 2022. № 17. С. 49-60.
7. Логиновский О.В. Разработка программного комплекса для испытания цифровых измерительных трансформаторов на вибростенде / О.В. Логиновский, Г.И. Волович, Д.В. Топольский [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2024. Т. 24, № 1. С. 19-31. EDN: ZRZFZL
8. Фартуков В.А. Методы гидравлических исследований гидротехнических сооружений: учебное пособие / В.А. Фартуков, М.И. Зборовская, Д.А. Алексеев. М.: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. 123 с. EDN: TZWTBI
9. Меньшикова Е.А. Гидравлический расчет магистрального канала м-12 в Славском районе Калининградской области / Е.А. Меньшикова, В.Г. Пунтусов // Вестник молодежной науки. 2020. № 1(23).
10. Фролов А.С. Создание и первый опыт эксплуатации вновь разработанного программного комплекса для моделирования гидравлических систем / А.С. Фролов, К.А. Труханов, С.В. Лупуляк [и др.] // Гидравлика. 2022. № 17. С. 49-60.

Доказано, что в исследованном диапазоне режимов отсутствует опасность отрыва покрытия от основания, так как разность давления не превышает 2,7 см вод. ст.

Для обеспечения устойчивости свободно лежащего полотна BE-NOTEX SK в условиях действия гидродинамических нагрузок минимальная величина его пригрузки может быть принята в диапазоне 0,08-0,10 от величины гидростатического давления.

References

1. Kozlov K.D. Studies of the hydrodynamic effect of a water flow on a protective coating made of geosynthetic material / K.D. Kozlov, N.V. Khanov, V.A. Fartukov, D.V. Kozlov // Construction: science and education. 2018. Vol. 8, No. 1(27). 9 p.
2. Fartukov V.A. Innovative system of hydrodynamic studies of water flow / V.A. Fartukov, M.V. Zemlyannikova // Prirodoobustrojstvo. 2016. No. 3. P. 75-79. EDN: WJLCPZ
3. Fartukov V.A. Mental platform management interface for laboratory studies of hydraulic structures / V.A. Fartukov, M.V. Zemlyannikova, N.V. Khanov // Prirodoobustrojstvo. 2020. No. 2. P. 66-68. EDN: YHУJPK
4. Concrete canvas Be-Notex SK. SRT 65458320-010-2023 [electronic resource] URL: <https://geovostok.ru/catalog/betonnoe-polotno> (accessed 25.06.24).
5. Results of hydraulic studies of Encamate A20 and Encamate 7225 geomats filled with soil with sowing of perennial grasses / N.V. Khanov, O.N. Chernykh, S.N. Shchukin [et al.] // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 5. P. 71-79. EDN: MQRYMW
6. Creation and first operational experience of a newly developed software package for modeling hydraulic systems / A.S. Frolov, K.A. Trukhanov, S.V. Lupulyak [et al.] // Hydraulics. 2022. No. 17. P. 49-60.
7. Development of a software package for testing digital measuring transformers on a vibration stand / O.V. Loginovsky, G.I. Volovich, D.V. Topolsky [et al.] // Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer technology, control, radio electronics. 2024. Vol. 24, No. 1. P. 19-31. EDN: ZRZFZL
8. Fartukov V.A. Methods of hydraulic research of hydraulic structures / V.A. Fartukov, M.I. Zborovskaya, D.A. Alekseev. – M.: Russian State Agrarian University – Ministry of Agriculture named after C.A. Timiryazev, 2022. 123 p. EDN: TZWTBI
9. Menshikova E.A. Hydraulic calculation of the m-12 trunk canal in the Slavsky district of the Kaliningrad region / E.A. Menshikova, V.G. Puntusov // Bulletin of Youth Science. 2020. № 1(23).
10. Creation and the first operational experience of a newly developed software package for modeling hydraulic systems / A.S. Frolov, K.A. Trukhanov, S.V. Lupulyak [et al.] // Hydraulics. 2022. No. 17. P. 49-60.
11. Okhrimenko A.A., Kryukov Ya.V., Pokamestov D.A. Investigation of the influence of the transmission channel estimation error on the calculation of power when compacting user channels using the PD-NOMA method / A.A. Okhrimenko,

11. Охрименко А.А. Исследование влияния погрешности оценки канала передачи на расчет мощности при уплотнении пользовательских каналов методом PD-NOMA / А.А. Охрименко, Я.В. Крюков, Д.А. Покаместов // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. 2019. № 1-1. С. 28-30. EDN: RLWGPP

Об авторах

Василий Александрович Фартуков, канд. техн. наук, доцент; ORCID: 0000-0002-8405-8757; Scopus AuthorID: 5749450840; SPIN-код: 5656-7629; AuthorID: 1002745; fartukov@rgau-msha.ru

Сергей Николаевич Щукин, канд. техн. наук, директор, ООО Восток Геосинтетикс; 89031025452@mail.ru

Марина Ильинична Зборовская, канд. техн. наук, доцент; ORCID: 0000-0002-8405-8757; Scopus AuthorID: 57219607364; SPIN-код: 6748-0927; zborovskaya@rgau-msha.ru

Кристина Сергеевна Семенова, канд. техн. наук; Scopus Author ID: 57488382700; ORCID: 0000-0002-4446-4435; SPIN-код: 1426-1908; AuthorID: 912890; kristi11.05.88@yandex.ru

Анастасия Александровна Кадысова, канд. техн. наук, доцент; ORCID: 0000-0001-8703-5684; SPIN-код: 4485-7332; AuthorID: 698088; kadyseva@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Фартуков В.А., Щукин С.Н., Зборовская М.И., Семенова К.С., Кадысова А.А. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов / The authors declare no conflicts of interest

Вклад авторов / Contribution of the authors

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All authors have made equal contributions to the preparation of the publication.

Статья поступила в редакцию / The article was submitted to the editorial office 25.04.2025

Одобрена после рецензирования / Approved after peer reviewing 21.10.2025

Принята к публикации / Accepted for publication 25.10.2025

Ya.V. Kryukov, D.A. Pokamestov // Electronic means and control systems. Materials of the reports of the International Scientific and Practical Conference. 2019. No. 1-1. P. 28-30. EDN: RLWGPP

About the Authors

A. Fartukov, DSc (Eng), professor; ORCID: 0000-0002-8405-8757; Scopus AuthorID: 5749450840; SPIN-code: 5656-7629; AuthorID: 1002745; fartukov@rgau-msha.ru

Sergey N. Shchukin, DSc (Eng), Director, Vostok Geosynthetics LLC; 89031025452@mail.ru

Marina I. Zborovskaya, DSc (Eng), professor; ORCID: 0000-0002-8405-8757; Scopus AuthorID: 57219607364; SPIN-code: 6748-0927; AuthorID: 326001; zborovskaya@rgau-msha.ru

Kristina S. Semenova, DSc ((Eng); Scopus Author ID: 57488382700; ORCID: 0000-0002-4446-4435; SPIN-code: 1426-1908; AuthorID: 912890; zborovskaya@rgau-msha.ru

Anastasia A. Kadysova, DSc (Eng), professor; ORCID: 0000-0001-8703-5684; SPIN-code: 4485-7332; AuthorID: 698088; kadyseva@mail.ru

Fartukov V.A., Shchukin S.N., Zborovskaya M.I., Semenova K.S., Kadysova A.A. carried out practical and theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.