

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

AGRICULTURAL SCIENCES

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2020-16-5-55-62>
УДК 621.928.37:[621.789:66.067.1]



ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL ARTICLES

АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ СОВМЕЩЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ТЕХНОЛОГИИ ВОДОПОДГОТОВКИ¹

**Виктор В. Бородычев¹, Андрей Е. Новиков²,
Мария И. Ламскова³, Максим И. Филимонов^{2,3}**

¹Волгоградский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова»,
ул. Тимирязева, 9, г. Волгоград, 400002, Российская Федерация

²ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия»,
ул. Тимирязева, 9, г. Волгоград, 400002, Российская Федерация

³ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»,
пр. им. Ленина, 28, г. Волгоград, 400005, Российская Федерация

Аннотация. Увеличение объемов промышленных стоков, аварии судов, прорывы нефти на буровых установках приводят к ухудшению качественных показателей воды открытых водоисточников, в том числе по показателю содержания органических соединений и нефтепродуктов. Вода, применяемая для орошения сельскохозяйственных культур, по большинству показателей должна отвечать требованиям качества воды для хозяйственно-питьевых целей. Так, суммарное содержание нефтепродуктов в оросительной воде не должно превышать 0,1 мг/л. Использование воды с превышением указанного ПДК приводит к существенным изменениям в морфологических свойствах почвы, снижает биологическую продуктивность и фитомассу растительного покрова. Поэтому вопрос совершенствования машин и аппаратов, используемых в технологиях водоподготовки, с позиций повышения их надежности и эффективности относится к актуальным направлениям исследования. Целью исследования является разработка гидроциклонного аппарата комплексной очистки, в котором реализованы совмещенные процессы улавливания как грубодисперсных, так и тонкодисперсных примесей. В отличие от типовой конструкции гидроциклон дополнен фильтрующим элементом, установленным на сливном патрубке, что обеспечивает дополнительную очистку воды от тонкодисперсных механических примесей, и сорбционным фильтром, предназначенным для удаления из воды нефтепродуктов

¹ Благодарности. Статья подготовлена при поддержке Гранта Президента РФ МК-2289.2020.8.

и других всплывающих органических соединений. Предложенная конструкция гидроциклона благодаря совмещению процессов центробежного разделения и сорбционного фильтрования обеспечивает комплексную очистку поливной воды от различных типов примесей, что исключает многостадийность процесса водоочистки, а регенерации сорбционного фильтра путем воздействия центробежных сил или давления не требует применения специальных регенерирующих растворов, что повышает технологичность и экологичность процесса водоподготовки.

Ключевые слова: гидроциклон, сорбционное фильтрование, водоподготовка, нефтепродукты

Для цитирования: Аппаратурное оформление совмещенных процессов в технологии водоподготовки / Бородычев В.В. [и др.] // Новые технологии. 2020. Т. 16. № 5. С. 55–62. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2020-16-5-55-62>

INSTRUMENTATION OF THE COMBINED PROCESSES IN WATER TREATMENT TECHNOLOGY

**Victor V. Borodychev¹, Andrey E. Novikov²,
Maria I. Lamskova³, Maxim I. Filimonov^{2,3}**

¹*Volgograd branch of the FSBSI «All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Melioration named after A.N. Kostyakov»,
9 Timiryazev str., Volgograd, 400002, the Russian Federation*

²*FSBSI «All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture»,
9 Timiryazev str., Volgograd, 400002, the Russian Federation*

³*FSBEI HE «Volgograd State Technical University»,
28 Lenin prospect, Volgograd, 400005, the Russian Federation*

Annotation. An increase in the volume of industrial effluents, ship accidents, oil breakthroughs at drilling rigs lead to a deterioration in the quality indicators of water in open water sources, including in terms of the content of organic compounds and oil products. The water used for irrigation of agricultural crops, according to most indicators, must meet the water quality requirements for household and drinking purposes. Thus, the total content of oil products in the irrigation water should not exceed 0.1 mg / l. The use of water with the MPC excess leads to significant changes in the morphological properties of the soil, reduces the biological productivity and phytomass of the plant cover. Therefore, the issue of improving machines and devices used in water treatment technologies to increase their reliability and efficiency is one of the topical areas of the research. The aim of the study is to develop a hydrocyclone complex cleaning apparatus, which implements combined processes of capturing both coarse and finely dispersed impurities. Unlike the standard design, the hydrocyclone is supplemented with a filter element installed on the drain pipe, which provides additional water purification from fine mechanical impurities, and a sorption filter designed to remove oil products and other floating organic compounds from water. The proposed hydrocyclone unit provides a comprehensive purification of irrigation water from various types of impurities, due to the combined processes of centrifugal separation and sorption filtration. It eliminates the multistage process of water purification, and regeneration of the sorption filter by the action of centrifugal forces or pressure does not require the use of special regenerating solutions, which increases the manufacturability and environmental friendliness of the water treatment process.

Keywords: hydrocyclone, sorption filtration, water treatment, oil products

For citation: Instrumentation of the combined processes in water treatment technology / Borodychev V.V. [et al.] // New Technologies. 2020. Vol. 16. No 5. P. 55–62. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2020-16-5-55-62>

Развитие промышленности неизбежно приводит к увеличению объемов сточных вод, являющихся источниками загрязнения водоемов. Помимо промышленных стоков ухудшение качественных показателей воды открытых водоемов провоцируют аварии судов, прорывы нефти на буровых установках и прочие антропогенные и природные воздействия. Поэтому вопрос совершенствования машин и аппаратов, используемых в технологиях водоподготовки, с позиций повышения их надежности и эффективности относится к актуальным направлениям исследования.

Вода, применяемая для орошения сельскохозяйственных культур, по большинству показателей должна отвечать требованиям качества воды для хозяйственно-питьевых целей [1, 2]. Так, суммарное содержание нефтепродуктов в оросительной воде не должно превышать 0,1 мг/л. Использование воды с превышением указанного ПДК приводит к существенным изменениям в морфологических свойствах почвы, снижает биологическую продуктивность и фитомассу растительного покрова. Нефтепродукты, попавшие на поверхность почвы, закупоривают ее капилляры, нарушают

аэрацию, водопроницаемость и окислительно-восстановительные реакции.

При загрязнении почвы нефтепродуктами происходит подщелачивание почвенных растворов, увеличивается количество углеводородов, что также нарушает процессы, связанные с круговоротом углерода и азота. Даже слабое загрязнение почвы нефтепродуктами приводит к нарушению равновесия почвенной системы, включающей почвенные водоросли и фауну [3].

Применимость методов очистки поливной воды от органических соединений, нефтепродуктов и других примесей с плотностью меньшей плотности воды («легкие фракции») связана с фракционным составом загрязняющих веществ. В этой связи различают методы, направленные на удаление грубодисперсных и тонкодисперсных примесей, в том числе взвешенные и растворенные токсичные соединения (рисунок 1).

Процессы гравитационного и центробежного отстаивания воды основаны соответственно на воздействии силы тяжести и центробежной силы на сепарируемую частицу, которая под этим прессингом седиментирует либо на дно (отстойники), либо на стенку аппарата

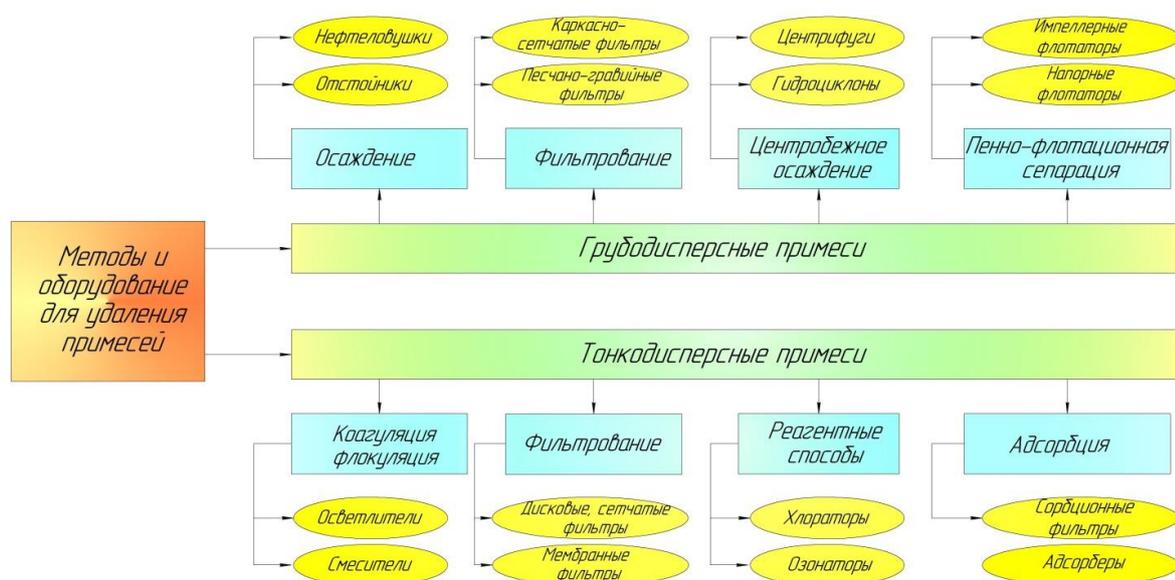


Рис. 1. Классификация методов очистки поливной воды

Fig. 1. Classification of methods for irrigation water cleaning

или машины (гидроциклоны, центрифуги, сепараторы). Эти методы нашли широкое применение в технологиях водоподготовки в силу простоты реализации и значительной эффективности. При этом гидроциклонная сепарация считается наиболее перспективной в качестве стадии предварительной очистки воды на ирригационных системах. Это обусловлено отсутствием в гидроциклонах вращающихся механизмов, их высокой удельной производительностью по очищенной воде, сравнительно низкими расходами на строительство и эксплуатацию, а также возможностью создания компактных автоматизированных установок [4, 5].

Метод фильтрации воды от примесей различной природы считается одним из универсальных, однако, при очистке воды от «легких фракций» он может использоваться только как стадия доочистки. Кроме этого процесс требует проведения регулярной регенерации фильтров. Все это приводит к удорожанию процесса и повышению его трудоемкости, а также снижению производительности.

Коагуляция, флокуляция и реагентные методы при очистке воды на ирригационных системах имеют право на использование только как вспомогательная стадия доочистки. При этом их широкое использование в технологиях подготовки оросительной воды ограничивается высокими затратами на транспортировку и хранение реагентов, а также необходимостью контролировать остаточное содержание химических соединений в воде, которые могут поступать в продукцию растениеводства.

Улавливание из воды тонкодисперсных примесей, в том числе растворенных и «легких фракций» осуществляется традиционными сорбционными методами. Материалов для проведения процесса сорбции имеется довольно много: от гранулированного цеолита до различных тканей. Однако и эти методы без использования других не могут гарантировать эффективную очистку воды, особенно при значительном содержании грубодисперсных примесей.

Таким образом, при совершенствовании технологий водоподготовки преимущественно для ирригационных систем

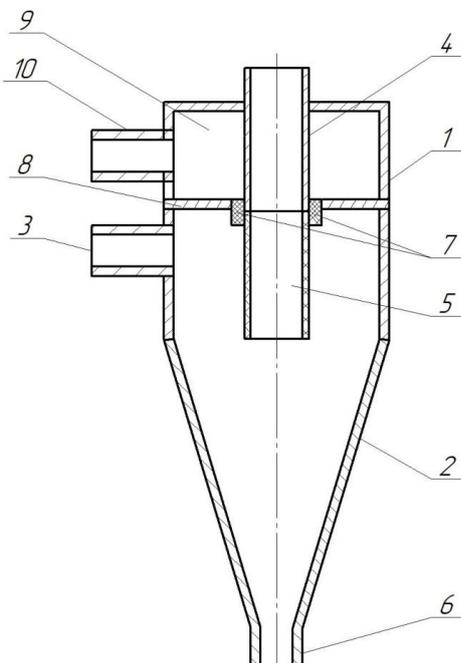


Рис. 2. Гидроциклон комплексной очистки воды

Fig. 2. Hydrocyclone for complex water cleaning

необходимо направить исследования на создание экологичного и технологичного оборудования, в котором могут быть реализованы совмещенные процессы улавливания как грубодисперсных, так и тонкодисперсных примесей.

Для повышения эффективности и надежности работы узлов водоподготовки ирригационных систем разработан гидроциклон (рис. 2; [2, 6, 7]), который содержит цилиндрическую 1 и коническую 2 обечайки, тангенциальный ввод 3 для подачи исходного продукта, сливной 4 и песковый патрубки 6 для вывода очищенной воды и шлама соответственно. На сливном патрубке установлен фильтрующий элемент 5, который обеспечивает дополнительную очистку воды от тонкодисперсных механических примесей, и сорбционный фильтр 7, предназначенный для удаления из воды нефтепродуктов и других всплывающих органических соединений. Разделительная перегородка 8 образует в верхней части аппарата камеру 9 для сбора очищенной воды с дополнительным сливным патрубком 10.

Цилиндрический сорбционный фильтр изготавливается из пористого волокнистого материала, например хлопка, базальтового

волокна, торфа, технической ваты, синтетических или натуральных носителей, которые предварительно обрабатывают гидрофобным реагентом в соотношении 0,4–1,4% от массы волокнистого материала сорбционного фильтра. Для обеспечения сорбционного фильтра водоотталкивающими свойствами в качестве гидрофобного реагента используют парафин, полипропилен, полиизопрен, полибутадиен. Это позволяет дольше сохранять его сорбционную способность, а значит и высокие показатели эффективности очистки воды.

Сорбционная емкость фильтрующего материала, не содержащего сорбент, варьируется в интервале 5–15 г/г [8]. С целью обеспечения цилиндрического фильтра сорбционными свойствами его предварительно обрабатывают смесью фракций алкилкарбоновых кислот с длиной органической цепи C_{10} – C_{25} в соотношении 2,4–3,4% от массы волокнистого материала сорбционного фильтра [9].

На рисунках 3 и 4 представлены данные по зависимости сорбционной емкости и гидрофобности цилиндрического фильтра от соотношения гидрофобного реагента и сорбента в растворе.

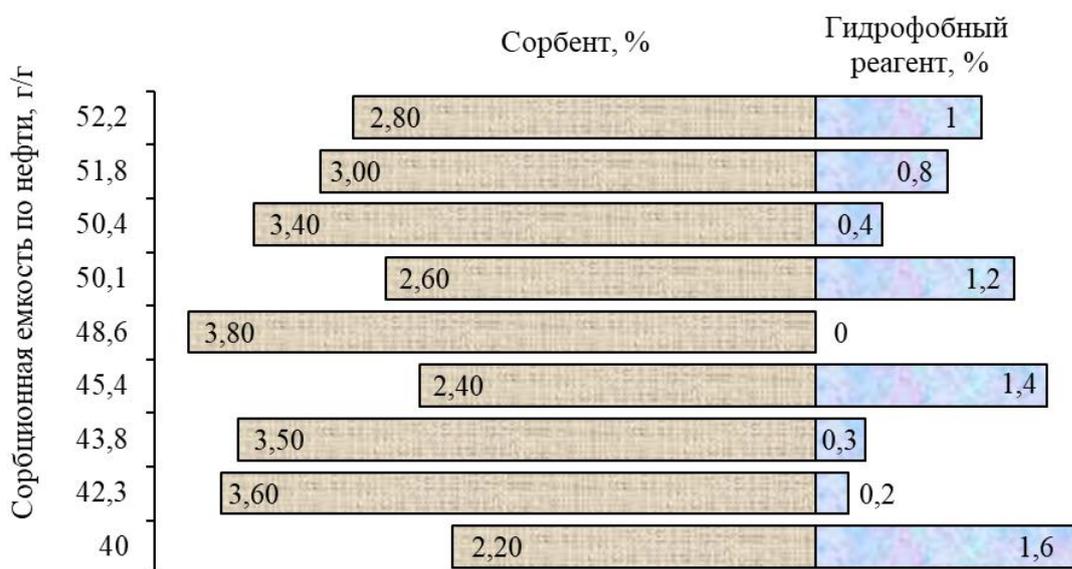


Рис. 3. Зависимость сорбционной емкости фильтра от соотношения гидрофобного реагента и сорбента в растворе

Fig. 3. Dependence of the sorption capacity of the filter on the ratio of hydrophobic reagent and sorbent in solution

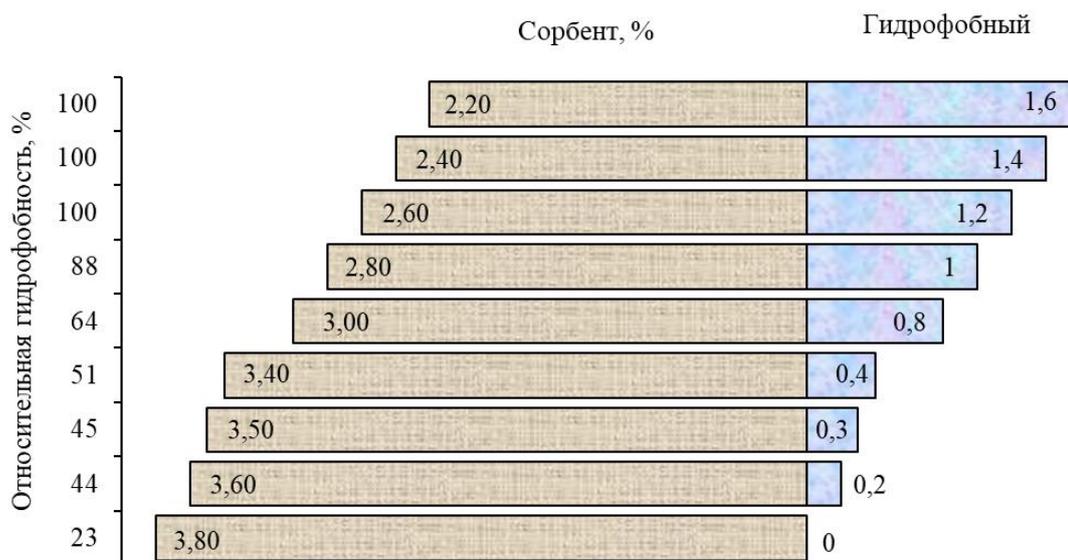


Рис. 4. Зависимость относительной гидрофобности фильтра от соотношения гидрофобного реагента и сорбента в растворе

Fig. 4. Dependence of the relative hydrophobicity of the filter on the ratio of the hydrophobic reagent and sorbent in solution

Обработка пористого волокнистого материала гидрофобным реагентом и сорбентом нефтепродуктов в соотношении 100:(0,4–1,4):(2,4–3,4) обеспечивает оптимальные значения гидрофобности и емкости по нефти сорбционного фильтра.

Очистка воды в гидроциклонном аппарате происходит следующим образом. Поливная вода, содержащая грубодисперсные и тонкодисперсные механические частицы, а также примеси нефтепродуктов, поступает по тангенциальному вводу 3 в корпус. Здесь поток закручивается, при этом грубодисперсные частицы с плотностью больше плотности воды отбрасываются к стенке корпуса, теряют скорость и по конической части аппарата 2 опускаются вниз и выводятся через песковый патрубок 6. Тонкодисперсные частицы вместе с основным потоком воды меняют направление скорости и движутся вверх к сливному патрубку 4, где улавливаются на боковой фильтрующей поверхности элемента тонкой очистки 5. Основная часть осветленной воды выводится по сливному патрубку 4 в систему.

«Легкие фракции» при движении в центробежном поле направляются к оси аппарата, концентрируются у фильтрующего элемента 5 и за счет выталкивающей силы направляются в верхнюю часть аппарата к сорбционному фильтру 7, где улавливаются посредством адсорбции. Очищенная вода проходит в камеру 9, далее выводится через дополнительный патрубок 10 в ирригационную систему.

При снижении сорбционной емкости фильтр регенерируется путем воздействия центробежных сил или давления.

Таким образом, совмещение процессов центробежного разделения и сорбционного фильтрования в гидроциклоне позволяет удалять из поливной воды грубодисперсные, тонкодисперсные и всплывающие органические примеси, в том числе нефтепродукты. Это исключает многостадийность процесса водоочистки, а способ регенерации сорбционного фильтра путем воздействия центробежных сил или давления не требует применения специальных регенерирующих растворов в процессе восстановления его свойств, что повышает технологичность и экологичность процесса водоподготовки.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГОСТ 17.1.2.03-90. Охрана природы. Гидросфера. Критерии и показатели качества воды для орошения: утвержден Государственным комитетом СССР по охране природы 10.12.1990. Москва, 1991. 10 с.
2. СанПиН 2.1.4.559-96 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: утвержден постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 24.10.1996. Москва, 1996. 68 с.
3. Дегтярева О.Г. Системы механической очистки вод малых водотоков для закрытых оросительных систем: дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / О.Г. Дегтярева. Краснодар, 2005. 232 с.
4. Оптимизация конструктивно-режимных параметров гидроциклона с учетом натуральных исследований / М.И. Ламскова [и др.] // Природообустройство. 2020. № 4. С. 61–67.
5. Модуль очистки воды от механических и органических примесей для систем комбинированного орошения / М.И. Ламскова [и др.] // Современные проблемы развития мелиорации и пути их решения (Костяковские чтения): материалы междунар. науч.-практ. конф.: в 2 т. / ФГБНУ «Всероссийский НИИ гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова». Москва, 2020. Т. 2. С. 84–89.
6. Гидроциклон: заявка на патент № 2020136684 Российская Федерация. / М.И. Ламскова [и др.]; ВолгГТУ. Заявл. 09.11.2020.
7. Гидроциклон: заявка на патент № 2020136705 Российская Федерация. / М.И. Ламскова [и др.]; ВолгГТУ. Заявл. 09.11.2020.
8. Сироткина Е.Е., Новоселова Л.Ю. Материалы для адсорбционной очистки воды от нефти и нефтепродуктов // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. № 3. С. 359–377.
9. Дмитриева З.Т. Высокоэффективная адсорбционная очистка воды от углеводородных примесей с использованием дискового фильтра с переменной скоростью потока // Вода: химия и экология. 2013. № 6. С. 31–38.

REFERENCES:

1. GOST 17.1.2.03-90. The Nature protection. The Hydrosphere. Criteria and indicators of irrigation water quality: approved by the USSR State Committee for Nature Protection on 10.12.1990. Moscow, 1991.10 p.
2. SanPiN 2.1.4.559-96 Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control: approved by the Decree of the State Committee for Sanitary and Epidemiological Supervision of the Russian Federation dated 10.24.1996. Moscow, 1996. 68 p.
3. Degtyareva O.G. Mechanical water treatment systems for small streams for closed irrigation systems: dis. ... Cand. of Tech. Sciences: 06.01.02 / O.G. Degtyareva. Krasnodar, 2005. 232 p.
4. Optimization of the design-mode parameters of the hydrocyclone taking into account field studies / M.I. Lamskova [et al.] // Environmental Engineering. 2020. No 4. P. 61–67.
5. Module for water purification from mechanical and organic impurities for combined irrigation systems. M.I. Lamskova [et al.] // Modern problems of land reclamation development and ways to solve them (Kostyakov readings): materials of the international. scientific-practical conf.: in 2 volumes / FSBSI «All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov». Moscow, 2020. Vol. 2. P. 84–89.
6. Hydrocyclone: patent application No 2020136684 the Russian Federation. / M.I. Lamskova [et al.]; VolgSTU. Appl. 09.11.2020.
7. Hydrocyclone: patent application No 2020136705 the Russian Federation. / M.I. Lamskova [et al.]; VolgSTU. Appl. 09.11.2020.
8. Sirotkina E.E., Novoselova L.Yu. Materials for adsorptive water purification from oil and oil products // Chemistry for sustainable development. 2005. No 3. P. 359–377.

9. Dmitrieva Z.T. Highly efficient adsorptive water purification from hydrocarbon impurities using a disk filter with a variable flow rate // *Water: chemistry and ecology*. 2013. No 6. P. 31–38.

Информация об авторах / Information about the authors

Виктор Владимирович Бородычев, директор Волгоградского филиала ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова», академик РАН, профессор, доктор сельскохозяйственных наук

vkovniigim@yandex.ru

Андрей Евгеньевич Новиков, врио директора ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия», доктор технических наук, доцент

ae_novikov@mail.ru

Мария Игоревна Ламскова, доцент кафедры «Процессы и аппараты химических и пищевых производств» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», кандидат технических наук,

lamskov@yandex.ru

Максим Игоревич Филимонов, младший научный сотрудник отдела оросительных мелиораций ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия»; старший преподаватель кафедры «Процессы и аппараты химических и пищевых производств» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

maks.filimonov.1986@mail.ru

Victor Vladimirovich Borodychev, Director of the FSBSI «Volgograd branch of the All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Melioration named after A.N. Kostyakov», an academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Doctor of Agricultural Sciences

vkovniigim@yandex.ru

Andrey Evgenievich Novikov, an acting director of the FSBSI «All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture», Doctor of Technical Sciences, an associate professor

ae_novikov@mail.ru

Maria Igorevna Lamskova, an associate professor of the Department of Processes and Apparatuses of Chemical and Food Production, Volgograd State Technical University, Ph.D.

lamskov@yandex.ru

Maxim Igorevich Filimonov, a junior researcher, Department of Irrigation Reclamation of the FSBSI «All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture»; a senior lecturer of the Department of Processes and Apparatus for Chemical and Food Production, Volgograd State Technical University

maks.filimonov.1986@mail.ru