

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.347

doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-4-243-257

Особенности работы широкозахватной дождевальной машины фронтального передвижения и обоснование силового расчета центральной подвижной опоры

Алексей Владимирович Кравчук¹, Борис Николаевич Бельтиков²,
Татьяна Анатольевна Панкова³

^{1,3}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, Саратов, Российская Федерация

²Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации, Энгельс, Российская Федерация

¹aleks100sgau@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5692-8655>

²boris13021976@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7438-7928>

³vtanja@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4619-765X>

Аннотация. Цель: провести силовой анализ работы центральной подвижной опоры широкозахватных дождевальных машин фронтального передвижения и дать предложения по ее совершенствованию; рассмотреть технико-эксплуатационные параметры таких машин, влияющие на эффективность их применения; оценить влияние на производительность дождевальной машины внешних условий: объективных (почвенных, рельефа и т. д.) и субъективных (культуртехнических и эргономических условий, оптимального подбора сопутствующего оборудования); подробно рассмотреть характер работы водоподающей системы в виде напорного гибкого рукава ирригационной установки и провести расчет сил сопротивления, их составляющих, в зависимости от условий возникновения по трассе его перемещения. **Материалы и методы.** При обосновании технико-эксплуатационных параметров конструкции применялся научный метод расчета величины тяговой нагрузки на конструкцию центральной опоры широкозахватных дождевальных машин фронтального передвижения от водоподводящей подвижной трубы. Составляющие силы сопротивления перемещению гибкого рукава по полю – это его трение о грунт, она в основном зависит от направления уклона микрорельефа орошаемого участка и влажности почвы. **Результаты.** Суммарное значение силы сопротивления перемещению по полю напорного рукава – один из определяющих факторов при подборе конструктивных элементов центральной опоры рассматриваемых машин, оно равно 7958,94 Н. Ее составляющая в виде силы трения – 5971,99 Н, гравитационная составляющая – 1986,95 Н. **Выводы.** Величина тяги, развиваемой агрегатами машины для перемещения и преодоления сил сопротивления, позволяет оптимизировать процесс подбора надежного материала, профиля металлоконструкций центральной подвижной опоры и конструктивных узлов тяговых агрегатов. Изучение технологии работы ирригационных средств дает возможность дальнейшего их совершенствования и создания надежной материально-технической базы элементов оросительных систем.

Ключевые слова: мелиорация земель, технические средства полива, широкозахватные дождевальные машины, импортозамещение, подвижная опора, гибкий напорный рукав, сила гравитационного сопротивления и трения

Для цитирования: Кравчук А. В., Бельтиков Б. Н., Панкова Т. А. Особенности работы широкозахватной дождевальной машины фронтального передвижения и обос-

нование силового расчета центральной подвижной опоры // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 4. С. 243–257. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-4-243-257>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Features of the operation of a wide-cut frontal-moving irrigation machine and justification of the force analysis of the central articulated support

Alexey V. Kravchuk¹, Boris N. Beltikov², Tatyana A. Pankova³

^{1,3}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russian Federation

²Volga Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Engels, Russian Federation

¹aleks100sgau@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5692-8655>

²boris13021976@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7438-7928>

³vtanja@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4619-765X>

Abstract. Purpose: to conduct a force analysis of the central movable support of wide-cut frontal irrigation machines and to provide proposals for its improvement; to consider the technical and operational parameters of such machines that affect the efficiency of their use; to assess the influence of external conditions on the irrigation machine productivity: objective (soil, relief, etc.) and subjective (cultural and ergonomic conditions, optimal selection of auxiliary equipment); to consider in detail the nature of the water supply system operation in the form of a flexible pressure hose of the irrigation machine and to calculate the resistance forces, that compose them, depending on the conditions of occurrence along its transferring. **Materials and methods.** When substantiating the technical and operational parameters of the design, a scientific method for calculating the traction load on the structure of the central support of wide-cut frontal irrigation machines from the water supply movable pipe, was used. The component of the resistance force to the movement of the flexible hose across the field is its friction against the ground, it mainly depends on the slope direction of the microrelief of the irrigated area and soil moisture. **Results.** The total value of the resistance force to the transferring the pressure hose across the field is one of the determining factors in the selection of structural elements of the central support of the machines under consideration, it is equal to 7958.94 N. Its component in the form of friction force is 5971.99 N, the gravitational component is 1986.95 N. **Conclusions.** The magnitude of the traction developed by the machine units for movement and overcoming the resistance forces allows optimizing the process of selecting a reliable material, the metal structure profile of the central articulated support and the structural units of the traction equipment. The study of the technology of irrigation equipment operation makes possible their further improvement and creation of a reliable material and technical basis for the elements of irrigation systems.

Keywords: land reclamation, irrigation equipment, wide-cut irrigation machines, import substitution, articulated support, flexible pressure hose, gravitational resistance and friction force

For citation: Kravchuk A. V., Beltikov B. N., Pankova T. A. Features of the operation of a wide-cut frontal-moving irrigation machine and justification of the force analysis of the central articulated support. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(4): 243–257. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-4-243-257>.

Введение. Принятая в 2021 г. Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и раз-

вития мелиоративного комплекса Российской Федерации предполагает к концу 2031 г. ввод в эксплуатацию порядка 700,0 тыс. га орошаемых земель.

Эффективность производственной деятельности мелиоративной отрасли и ее дальнейшее развитие зависят не только от выполнения количественных показателей данной программы, приоритетно также выполнение проектов более качественного уровня. Значимым фактором, определяющим качество проводимых оросительных мелиораций, является применение технологий полива и производство ирригационной техники с более высокими и надежными технико-эксплуатационными показателями.

Согласно информационным данным «Мелиоративный комплекс Российской Федерации» ФГБНУ ВНИИ «Радуга», при существующем парке поливной техники и с учетом ежегодной ее замены в орошаемом земледелии потребуется не менее 4500 широкозахватных дождевальных машин кругового действия и 2800 – фронтального передвижения.

Мировой опыт орошаемого земледелия показывает широкое применение электрифицированных универсальных широкозахватных дождевальных машин ферменной конструкции, универсальность которых заключается в способе их передвижения: круговое, фронтальное, комбинированное – ипподромное. Ирригационные установки данного класса производятся под марками поливной техники: Reinke-100, Valley Rainger, Centerliner 168 CLS (производитель Bauer), Zimmatic 9500 L и множество других [1].

В отечественном сельскохозяйственном машиностроении при производстве поливной ирригационной техники также значительно поддерживается направление, связанное с разработкой и дальнейшим усовершенствованием универсальных широкозахватных дождевальных машин [2].

Материалы и методы. В период с 2021 г. компания ООО «Билдинг Строй Групп» совместно с федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации» разработала, испытала и сертифицировала уни-

версальную дождевальную машину УДМ «Кубань»-А195-57,7-01, а в 2023 г. на производственных мощностях предприятия ООО «Осанна» приступили к выпуску широкозахватной электрифицированной дождевальной машины ШЭДМ «Осанна-168/219-54,57-У».

Технико-эксплуатационные параметры данной поливной техники выгодно отличаются от аналогов [3]:

- высокий коэффициент земельного использования, приближенный к 98 %;
- возможность обеспечения гибкого и оперативного графика выдачи поливных норм;
- маневрирование по площади орошаемых земель (дождевальная машина благодаря конструктивным особенностям дает возможность минимизировать производственные и эксплуатационные затраты на отдельных поливных участках).

Наряду с хорошими технико-эксплуатационными показателями, дающими преимущество в эффективности эксплуатации данной конструкции, имеются критерии отрицательного характера, негативно влияющие на производительность полива [4, 5]. Один из таких критериев – принятые конструкторско-технологические решения, определяющие порядок подачи поливной воды к универсальной дождевальной машине через гибкий рукав (лейфлет) (рисунок 1).

Данная конструкция подключения дождевальной машины к гидрантам оросительной сети значительно снижает технико-эксплуатационные показатели поливной техники.

1 Повышается энергоемкость проведения поливов: при волочении гибкого рукава создаются зоны его перегибов, что в свою очередь определяет значительное повышение гидравлических потерь в напорном рукаве, это влечет за собой необходимость применения для подачи поливной воды более энергоемкого насосно-силового оборудования.

2 С целью обеспечения волочения наполненного водой гибкого рукава, имеющего значительный вес, необходимо оборудовать усиленную конструкцию центральной подвижной опоры более мощными мотор-редукторами.

3 При значительной массе гибкого рукава и его длине ($L = 100$ м) для выполнения технологических операций по подключению дождевальной машины к гидрантам необходимо привлечение для обслуживания не менее двух работников, трактор повышенного класса тяги от 0,9 до 1,4 и время на выполнение операции порядка 40 мин.

4 Дождевальная машина фронтального перемещения, в связи с отсутствием неполивных углов, имеет коэффициент земельного использования, близкий к 100 %, однако снижение данного показателя происходит из-за отведения технологической полосы (отчуждения) для движения центральной подвижной опоры, установки системы курсовой устойчивости и волочения гибкого рукава. В зависимости от конфигурации орошаемого участка данный коэффициент может снижаться до 93–98 %.

5 Волочение гибкого рукава создает значительные нагрузки на отдельные узлы и механизмы дождевальной машины, в частности на конструкцию центральной подвижной опоры, что ведет к снижению надежности оборудования. На практике установлено, что гибкий рукав, подведенный к водопринимающей трубе на центральной подвижной опоре с помощью быстросъемных соединений, часто срывается с монтажной части, на нем нарушается герметичность уплотнительных элементов, периодически происходит порыв и преждевременный износ гибкого рукава.

6 Для выполнения непрерывного процесса полива сельскохозяйственных культур от оператора требуется постоянное наблюдение за процессом работы дождевальной машины и выполнение своевременных операций по ее подключению к гидранту.



Рисунок 1 – Подача поливной воды к универсальной дождевальной машине через гибкий рукав (лейфлет) (автор фото Б. Н. Бельтиков)
Figure 1 – Irrigation water delivery to a universal sprinkler machine through a flexible hose (layflat) (photo by B. N. Beltikov)

В данной статье из вышеперечисленных проблем рассмотрим отрицательное влияние на конструкцию центральной подвижной опоры дождевальной машины и основные мотор-редукторы сил сопротивления, возникающих при волочении по полю тяжелого гибкого рукава, наполненного водой [6].

Обосновывая технико-эксплуатационные показатели технологического процесса обеспечения универсальной дождевальной машины во время работы поливной водой, необходимо, в частности, произвести расчет сил сопротивления ($F_{\text{сопр}}$), преодолеваемых конструкцией дождевальной машины (центральной подвижной опорой) либо тяговым агрегатом, задействованными в перемещении гибкого рукава, так как они тождественны развиваемым тяговым усилиям буксирующего средства [7, 8]:

$$F_{\text{тяги}}(L) = F_{\text{сопр}}(L), \quad (1)$$

где $F_{\text{тяги}}(L)$ – сила тяги от длины гибкого рукава, Н;

$F_{\text{сопр}}(L)$ – сила сопротивления от длины гибкого рукава, Н.

Составляющие силы сопротивления перемещению гибкого рукава во многом определяют сохранность элементов конструкции центральной подвижной опоры дождевальная машины и ее силовых агрегатов, которые обеспечивают тяговое усилие при передвижении, они изменяются вследствие:

- трения гибкого рукава о грунт;
- воздействия гравитации (сила принимается положительной для восходящего участка рельефа по траектории перемещения гибкого рукава и отрицательной – для нисходящего);
- упругого отпора при продольном перемещении гибкого рукава с ускорением;
- возникновения эффекта присоса гибкого рукава к почве по площади их соприкосновения;
- пассивного сопротивления почвы из-за воздействия на нее дополнительных переходников, хомутов (стяжек) при наличии таких на гибком рукаве.

Результаты и обсуждения. В общем виде необходимое тяговое усилие, развиваемое конструкцией центральной подвижной опоры для осуществления продольного перемещения за ней гибкого рукава с водой, определяется по формуле:

$$F_{\text{тяги}} = K\{T_1, \dots, T_n; S_1, \dots, S_m\}, \quad (2)$$

где K – коэффициент, определяющий взаимосвязь между величиной тягового усилия и факторами влияющими на его величину.

$\{T_1, \dots, T_n\}$ – совокупность параметров, характеризующих гибкий рукав, она включает такие показатели, как погонная масса, тип внешней поверх-

ности, толщина, прочность и упругие свойства его при заданном внутреннем давлении в системе, характеристики армирующего слоя, а также другие характеристики, многие из которых не могут быть выделены в явном виде и определены количественно, но оказывают влияние на взаимодействие гибкого рукава с почвой;

$\{S_1, \dots, S_m\}$ – совокупность параметров, характеризующих профиль трассы продольного перемещения гибкого рукава (характер почвы по дистанции, рельеф, протяженность и др.).

Когда гибкий рукав (рисунок 2) с абсолютной длиной L протаскивается по траектории трассы его продольного перемещения с вертикальным профилем $h(x)$, при равномерном перемещении продольные тяговые напряжения в каждом произвольном поперечном сечении x_0 гибкого рукава определяются силами сопротивления $F_{\text{сопр}}(x_0)$ на участке $\{0; x_0\}$:

$$F_{\text{тяги}}(x_0) = F_{\text{сопр}}(x_0), \quad (3)$$

где $F_{\text{тяги}}(x_0)$ – продольные тяговые напряжения в поперечном сечении гибкого рукава на участке $\{0; x_0\}$, Н;

$F_{\text{сопр}}(x_0)$ – силы сопротивления перемещению гибкого рукава на том же участке, Н.

Тогда сила сопротивления перемещению гибкого рукава на участке от точки присоединения к быстросъемному соединению центральной подвижной опоры до поперечного сечения x_0 определяется по формуле:

$$F_{\text{сопр}}(x_0) = F_{\text{г.с.}} + F_{\text{с.т.}} = \int_0^{x_0} p \sin \alpha dx + \int_0^{x_0} k_{\text{тр}} p \cos \alpha dx, \quad (4)$$

где $F_{\text{г.с.}}$ – гравитационная составляющая сил сопротивления, Н;

$F_{\text{с.т.}}$ – силы трения по продольному профилю трассы перемещения гибкого рукава, Н;

p – вес погонного метра гибкого рукава, Н;

α – угол, характеризующий уклон продольного профиля трассы пере-

мещения гибкого рукава (положительный на подъеме и отрицательный на спуске);

$k_{тр}$ – коэффициент трения (зависит от состава почвы по дистанции и характера движения), величина безразмерная.

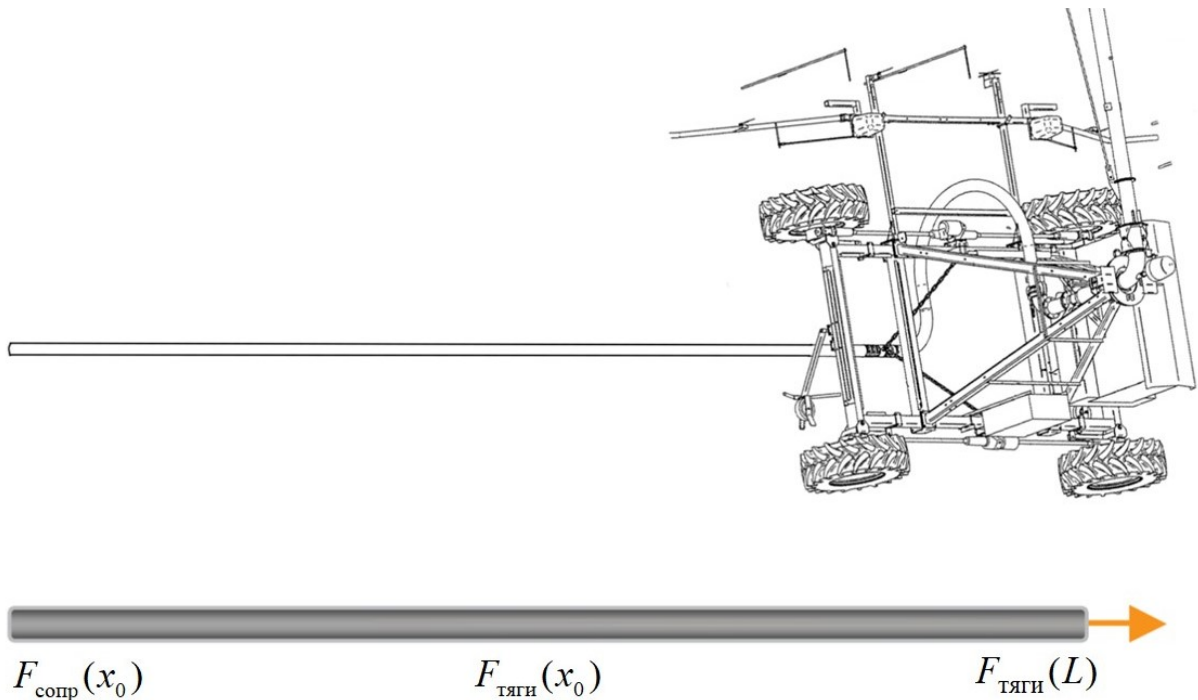


Рисунок 2 – Перемещение гибкого рукава
Figure 2 – Flexible hose transferring

В выражении (4) две составляющих.

Первая составляющая определяет гравитационные силы сопротивления. В соответствии с нормативными требованиями¹ показатель общего наклона нескольких ферм не должен превышать 10 %. Для примера рассмотрим дождевальную машину с длиной ферменного пролета, равной 54,57 м, максимально допустимый угол наклона ее составляет 5,7°, он определяется по формуле:

$$\alpha = \arctan \frac{\Delta h}{d}, \quad (5)$$

где Δh – величина подъема (снижения) относительно горизонта края не-

¹ГОСТ 32617-2014. Машины для орошения. Общие требования безопасности. Введ. 2016-01-01. М.: Стандартинформ, 2015. 19 с.

скольких ферм широкозахватной дождевальной машины в процентном отношении к сумме их длин, м;

d – сумма длин нескольких ферм широкозахватной дождевальной машины, м.

В нашем случае сумма длин двух пролетов дождевальной машин будет составлять $d = 109,14$ м, предельная высота их подъема (снижения) определена как 10 % ($\Delta h = 10,9$ м), следовательно, α соответствует арктангенсу результата деления 10,9 на 109,14. Таким образом, с учетом характера передвижения фронтальной дождевальной машины, угол, характеризующий уклон продольного профиля трассы перемещения гибкого рукава, имеет аналогичное значение, т. е. α равен $5,7^\circ$.

Некоторые усредненные технико-эксплуатационные показатели гибкого рукава «Полифлет» (производится в России), а также его отечественных и зарубежных аналогов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Усредненные технико-эксплуатационные показатели гибкого рукава (лейфлета)

Table 1 – Average technical and operational indicators of flexible hose (layflat)

Наименование	Единица измерения	Показатель
Общая длина	м	100
Удельная масса 1 м	кг/м	1,5
Толщина стенки	мм	2,6
Диаметр условный	мм	150
Фактический диаметр	мм	155
Рабочее давление	МПа	0,59
Удельная масса 1 м с поливной водой	кг/м	20,4

Преобразовывая формулу гравитационной составляющей и учитывая технико-эксплуатационные показатели гибкого рукава, определяем максимальное численное значение (при рукаве, равном 100 м) по формуле:

$$F_{г.с.} = \int_0^{x_0} p \sin \alpha dx = \int_0^{x_0} m_0 g \sin \alpha dx, \quad (6)$$

где m_0 – погонная масса гибкого рукава с поливной водой, кг;

g – ускорение свободного падения, $м/с^2$.

При известных значениях показателей, входящих в гравитационную силу, она будет определена:

$$F_{г.с.} = \int_0^{x_0} m_0 g \sin \alpha dx = 100 \cdot 20,4 \cdot 9,80665 \cdot 0,099 = 1986,95 \text{ Н.}$$

Вторая составляющая определяет силы трения по продольному профилю трассы перемещения гибкого рукава, находится по выражению:

$$F_{с.т.} = \int_0^{x_0} k_{тр} p \cos \alpha dx = \int_0^{x_0} k_{тр} m_0 g \cos \alpha dx, \quad (7)$$

где $k_{тр}$ – коэффициент трения (зависит от состава почвы по дистанции и характера движения), безразмерная величина, равная значениям 0,27–0,4, в данном случае применен коэффициент 0,3.

Коэффициент трения ($k_{тр}$) является безразмерной величиной и характеризуется свойством и состоянием почвы, что определяет различную степень ее сопротивления перемещению [7].

$$F_{с.т.} = \int_0^{x_0} k_{тр} m_0 g \cos \alpha dx = 100 \cdot 0,3 \cdot 20,4 \cdot 9,80665 \cdot 0,995 = 5971,99 \text{ Н.}$$

Ряд других условий, при которых происходит перемещение гибкого рукава по трассе движения, также влияют на итоговый показатель силы сопротивления перемещению: состояние почвенного покрова, характеризующее мощностью растительности и степенью обработки почвы, ее влажностью, площадь контакта рукава с почвой (степень его погруженности) и др. [9, 10].

Таким образом, значение итоговой силы сопротивления (формула (4)) перемещению гибкого рукава численно равно (в приближенном варианте) сумме двух составляющих сил – значений гравитационной силы сопротивления и силы трения по продольному профилю трассы перемещения гибкого рукава:

$$F_{сопр}(x_0) = F_{г.с.} + F_{с.т.} = 1986,95 + 5971,99 = 7958,94 \text{ Н.}$$

Данные значения сил сопротивления вошли в основу обоснования причины деформации поперечной балки центральной опоры при работе дождевальными машинами фронтального перемещения.

При разработке дождевальной машины УДМ «Кубань»-А195-57,7-01 была заимствована центральная опора дождевальной машины «Кубань-Т» – транспортируемая модель с профилем поперечной балки из стального горячекатаного равнополочного уголка $100 \times 100 \times 10$ мм. В ходе предварительных испытаний опытного образца вследствие воздействия указанных сил произошел прогиб элемента в вертикальной плоскости, который соответствовал значению 21 мм при предельном 22,11 мм. Данный факт послужил основанием для перерасчета конструкционного элемента центральной опоры и его замены элементом с лучшими прочностными характеристиками (профильная труба $180 \times 100 \times 5$ мм).

Выводы. В процессе работы широкозахватных многоопорных дождевальных машин происходит воздействие на их конструкционные элементы значимых нагрузок, которые дифференцированы и зависят от конкретных условий эксплуатации техники.

При рассмотрении сил сопротивления перемещению гибкого рукава установлено их максимальное значение, которое определяет величину тяговой нагрузки на конструкцию центральной опоры. Указанные величины являются важными индикаторами на стадиях разработки, а также свидетельствуют об особенностях эксплуатации ирригационной техники.

Так, установленная величина развиваемой тяги позволяет при проектировании дождевальных машин:

- оптимизировать процесс подбора материала и профиля металлоконструкции центральной подвижной опоры, сборочных узлов (мотор-редукторов, колесных редукторов, необходимого источника питания);
- выработать дальнейшие технические решения по модернизации и конструированию ирригационного средства.

Список источников

1. Мелиоративный комплекс Российской Федерации: информ. изд. / Г. В. Ольгаренко, С. С. Турапин, В. И. Булгаков, Т. А. Капустина, Н. А. Мищенко, М. С. Зверьков,

Л. Е. Паутова, А. В. Грушин, Е. В. Медведева, А. И. Банникова, И. Д. Сосновских; ФГБНУ ВНИИ «Радуга». М.: Росинформагротех, 2020. 304 с. EDN: AVWQXO.

2. Энергосбережение при поливе многоопорными дождевальными машинами / Н. Ф. Рыжко, С. Н. Рыжко, Е. С. Смирнов, С. А. Хорин // Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 6. С. 25–30. DOI: 10.32962/0235-2524-2021-6-25-30. EDN: CZTQGM.

3. Бельтиков Б. Н. Опыт применения многоопорных широкозахватных дождевальных машин и пути их совершенствования // Концептуальные аспекты современного состояния и развития мелиорации и эффективного использования водных ресурсов: сб. науч. тр. по материалам Науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 55-летию образования ФГБНУ «ВолжНИИГиМ». Энгельс, 2021. С. 96–100.

4. Вероятность появления повреждений и отказов на трубопроводах оросительных систем / С. С. Орлова, А. В. Кравчук, Т. А. Панкова, О. В. Михеева, Е. Н. Миркина // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2023. Т. 13, № 2. С. 109–122. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1358> (дата обращения: 19.09.2024). DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-109-122. EDN: AZHAVY.

5. Повышение проходимости многоопорных дождевальных машин / Д. А. Соловьев, Н. Ф. Рыжко, С. Н. Рыжко, Е. С. Смирнов // Научная жизнь. 2022. Т. 17, № 6(126). С. 864–872. DOI: 10.35679/1991-9476-2022-17-6-864-872. EDN: PTABLН.

6. Droplet distribution characteristics of impact sprinklers with circular and noncircular nozzles: Effect of nozzle aspect ratios and equivalent diameters / Yu. Jiang, J. Liu, H. Li, L. Hua, Ya. Yong // Biosystems Engineering. 2021, Dec. Vol. 212. P. 200–214. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.10.013>. EDN: SDJWHN.

7. Агеев Л. Е. Основы расчета оптимальных и допустимых режимов работы машинно-тракторных агрегатов. Л.: Колос, 1978. 296 с.

8. Филатов А. А., Дьячков М. К. Определение сил сопротивления при протаскивании обетонированного трубопровода в подводной траншее // Территория нефтегаз. 2016. № 9. С. 108–113. EDN: WWXIJP.

9. Quantifying winter wheat evapotranspiration and crop coefficients under sprinkler irrigation using eddy covariance technology in the North China Plain / X. Feng, H. Liu, D. Feng, X. Tang, L. Li, J. Chang, J. Tanny, R. Liu // Agricultural Water Management. 2023. Vol. 277. 108131. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.108131>. EDN: BZIO LZ.

10. Особенности использования и конструктивные решения широкозахватной дождевальной техники / А. В. Кравчук, Б. Н. Бельтиков, М. Г. Загоруйко, Е. Н. Бессмольная // Аграрный научный журнал. 2022. № 8. С. 82–84. DOI: 10.28983/asj.y2022i8pp82-84. EDN: MUBILZ.

References

1. Olgarenko G.V., Turapin S.S., Bulgakov V.I., Kapustina T.A., Mishchenko N.A., Zverkov M.S., Pautova L.E., Grushin A.V., Medvedeva E.V., Bannikova A.I., Sosnovskikh I.D., 2020. *Meliorativnyy kompleks Rossiyskoy Federatsii: inform. izdanie* [Land Reclamation Complex of the Russian Federation: information publ.]. Moscow, Rosinformagrotech Publ., 304 p., EDN: AVWQXO. (In Russian).

2. Ryzhko N.F., Ryzhko S.N., Smirnov E.S., Khorin S.A., 2021. *Energoberezhenie pri polive mnogoopornymi dozhdeval'nymi mashinami* [Energy saving with multi-support irrigation sprinkling machines]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 6, pp. 25-30, DOI: 10.32962/0235-2524-2021-6-25-30, EDN: CZTQGM. (In Russian).

3. Beltikov B.N., 2021. *Opyt primeneniya mnogoopornykh shirokozakhvatnykh dozhdeval'nykh mashin i puti ikh sovershenstvovaniya* [Experience in the use of multi-support wide-coverage irrigation machines and ways to improve them]. *Kontseptual'nye aspekty sov-*

remennogo sostoyaniya i razvitiya melioratsii i effektivnogo ispol'zovaniya vodnykh resursov: sb. nauch. tr. po materialam Nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunar. uchastiem, posvyashchennoy 55-letiyu obrazovaniya FGBNU «VolzhNIIGiM» [Conceptual Aspects of the Current State and Development of Land Reclamation and Efficient Use of Water Resources: Proc. of the Scientific and Practical Conference with International Participation, Dedicated to the 55th Anniversary of the Formation of the Volga Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation]. Engels, pp. 96-100. (In Russian).

4. Orlova S.S., Kravchuk A.V., Pankova T.A., Mikheeva O.V., Mirkina E.N., 2023. [Probability of pipe damage and failures in irrigation system]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 13, no. 2, pp. 109-122, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1358> [accessed 19.09.2024], DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-109-122, EDN: AZHAVY. (In Russian).

5. Soloviev D.A., Ryzhko N.F., Ryzhko S.N., Smirnov E.S., 2022. *Povysheniye prokhodimosti mnogoopornykh dozhdeval'nykh mashin* [Improving the cross-country ability of multi-support sprinkler machines]. *Nauchnaya zhizn'* [Scientific Life], vol. 17, no. 6(126), pp. 864-872, DOI: 10.35679/1991-9476-2022-17-6-864-872, EDN: PTABLN. (In Russian).

6. Jiang Yu., Liu J., Li H., Hua L., Yong Ya., 2021. Droplet distribution characteristics of impact sprinklers with circular and noncircular nozzles: Effect of nozzle aspect ratios and equivalent diameters. *Biosystems Engineering*, Dec., vol. 212, pp. 200-214, <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.10.013>, EDN: SDJWHN.

7. Ageev L.E., 1978. *Osnovy rascheta optimal'nykh i dopuskaemykh rezhimov raboty mashinno-traktornykh agregatov* [Foundations of Calculation of Optimum and Permissible Operation Modes of Machine-Tractor Units]. Leningrad, Kolos Publ., 296 p. (In Russian).

8. Filatov A.A., Dyachkov M.K., 2016. *Opreделение sil soprotivleniya pri protaskivanii obetonirovannogo truboprovoda v podvodnoy transhee* [Holding power evaluation of dragging concrete coated pipe through the bottom trench]. *Territoriya neftegaz* [Oil and Gas Territory], no. 9, pp. 108-113, EDN: WWXJP. (In Russian).

9. Feng X., Liu H., Feng D., Tang X., Li L., Chang J., Tanny J., Liu R., 2023. Quantifying winter wheat evapotranspiration and crop coefficients under sprinkler irrigation using eddy covariance technology in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, vol. 277, 108131, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.108131>, EDN: BZIOZL.

10. Kravchuk A.V., Beltikov B.N., Zagoruiko M.G., Bessmolnaya E.N., 2022. *Osobennosti ispol'zovaniya i konstruktivnye resheniya shirokozakhvatnoy dozhdeval'noy tekhniki* [Features of use and design solutions of wide-coverage sprinkler equipment]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian Scientific Journal], no. 8, pp. 82-84, DOI: 10.28983/asj.y2022i8pp82-84, EDN: MUBILZ. (In Russian).

Информация об авторах

А. В. Кравчук – профессор кафедры гидромелиорации, природообустройства и строительства в АПК, доктор технических наук, профессор, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, Саратов, Российская Федерация, aleks100sgau@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-5692-8655;

Б. Н. Бельтиков – заведующий сектором конструкторских технологий и рыбозащитных устройств, младший научный сотрудник, Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации, Энгельс, Российская Федерация, boris13021976@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7438-7928;

Т. А. Панкова – доцент кафедры гидромелиорации, природообустройства и строительства в АПК, кандидат технических наук, доцент, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, Саратов, Российская Федерация, vtanja@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4619-765X.

Information about the authors

A. V. Kravchuk – Professor of the Department of Hydro-Reclamation, Environmental Engineering and Civil Engineering in Agro-Industrial Complex, Doctor of Technical Sciences, Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russian Federation, aleks100sgau@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-5692-8655;

B. N. Beltikov – Head Sector of Design Technologies and Fish Protection Devices, Junior Researcher, Volga Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Engels, Russian Federation, boris13021976@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7438-7928;

T. A. Pankova – Associate Professor of the Department of Hydro-Reclamation, Environmental Engineering and Civil Engineering in Agro-Industrial Complex, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russian Federation, vtanja@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4619-765X.

*Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.*

*Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 28.10.2024; одобрена после рецензирования 06.11.2024;
принята к публикации 15.11.2024.
The article was submitted 28.10.2024; approved after reviewing 06.11.2024; accepted for
publication 15.11.2024.*