

Научная статья

Original article

УДК 631.347.3.012.3.001.2

doi: https://doi.org/10.55186/25880209_2026_10_5_50

edn: GAGZUL

**АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ШИРОКОЗАХВАТНОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ
МАШИНЫ С ПОВОРОТНОЙ ЦАПФОЙ Sigmatic PS
ANALYSIS OF THE DESIGN AND OPERATING CHARACTERISTICS OF
THE SIGMATIC PS WIDE-WIDTH IRRIGATION MACHINE WITH A
SWIVEL PIVOT SHAFT**



Рязанцев Анатолий Иванович, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник отдела систем орошения дождеванием, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга» (140483, Россия, г. Коломна, городской округ Коломна, посёлок Радужный, 38), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9829-8196>, ryazantsev.41@mail.ru

Евсеев Евгений Юрьевич, кандидат технических наук, научный сотрудник отдела систем орошения дождеванием, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга» (140483, Россия, г. Коломна, городской округ Коломна, посёлок Радужный, 38) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6133-2661>, evseev.evgeniy.1995@mail.ru

Антипов Алексей Олегович, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник отдела систем орошения дождеванием, ФГБНУ

«Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга» (140483, Россия, г. Коломна, городской округ Коломна, посёлок Радужный, 38), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4374-163X>, antipov.aleksei2010@yandex.ru

Малько Игорь Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник отдела техники и технологий микроорошения, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга» (140483, Россия, г. Коломна, городской округ Коломна, посёлок Радужный, 38) ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9128-6975>, centorion@yandex.ru

Anatoly I. Ryazantsev, Doctor of technical sciences, professor, honored scientist of the Russian Federation, chief researcher at the department of sprinkler irrigation systems, Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Irrigation and Agricultural Water Supply "Raduga" (38, Raduzhny settlement, Kolomna urban district, Kolomna, 140483 Russia), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9829-8196>, ryazantsev.41@mail.ru

Evgeny Yu. Evseev, Candidate of Technical Sciences, Researcher at the Department of Sprinkler Irrigation Systems, Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Irrigation and Agricultural Water Supply Systems "Raduga" (140483, Russia, Kolomna, Kolomna Urban District, Raduzhny Settlement, 38) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6133-2661>, evseev.evgeniy.1995@mail.ru

Alexey Olegovich Antipov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher at the Sprinkler Irrigation Systems Department, Raduga All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply (38 Raduzhny Settlement, Kolomna, 140483, Russia), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4374-163X>, antipov.aleksei2010@yandex.ru

Igor Valerievich. Malko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher at the Department of Micro-Irrigation Engineering and Technology, Raduga All-Russian Scientific Research Institute of Irrigation

Systems and Agricultural Water Supply (38 Raduzhny Settlement, Kolomna, 140483, Russia), ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9128-6975>, centorion@yandex.ru

Аннотация. В статье, на основе технического описания, заводских руководств по эксплуатации и архивных материалов концерна VNH Sigma Olomouc (сегодня Sigma Group a.s.) проведён историко-технический анализ широкозахватной дождевальная машины кругового действия Sigmatic PS с поворотной цапфой, запущенной в серийное производство в 1986 году. Рассмотрены предпосылки создания машины, обусловленные недостаточной производительностью и высокой трудоёмкостью ленточных оросительных систем, а также потребностью в автоматизации полива крупных сельскохозяйственных массивов в оптимальные агротехнические сроки. Реконструирована конструктивная схема, включающая универсально-сборную модульную ферму из мостов длиной 6 м с шарнирными соединениями, опорные тележки с индивидуальным электрическим приводом мощностью 1 кВт, систему подвода воды через поворотную цапфу от подземного трубопровода и узлы фильтрации. Приведены количественные параметры: орошаемая площадь от 3 до 50 га, производительность полива 20...50 л/с, рабочий диапазон давлений 350...750 кПа, возможность регулирования поливных норм в интервале 4...70 мм в зависимости от типа шин. Показана адаптивность машины к различным условиям эксплуатации, включая работу на склоновых землях с уклоном до 15° (в зависимости от длины пролёта и глубины борозд), полив высокостебельных культур (кукуруза, зерновые), а также возможность подачи жидких удобрений и механически очищенных сточных вод.

Описана система автоматического управления, которая обеспечивает реверсирование движения, регулирование перекрытия от 10 до 100 %, местное и дистанционное управление, а также комплексную аварийную защиту при обрыве рукава, перегрузке двигателей, падении давления или температуры воды ниже +5 °С, с автоматической остановкой и световой

сигнализацией. Приведены диагностические функции, облегчающие поиск неисправностей, и защитные мероприятия для безопасности персонала (изоляция токоведущих частей, защита от молнии, кожухи на вращающихся элементах). Показано, что Sigmatic PS представляет собой показательный пример этапа развития широкозахватной дождевальнoй техники, связанного с переходом от гидравлических систем к электрифицированным, автоматизированным и модульным машинам кругового действия, что позволило существенно повысить производительность труда и эффективность использования водных ресурсов.

Abstract. Based on the technical description, factory operating manuals, and archival materials of the VHJ Sigma Olomouc concern (now Sigma Group a.s.), the article provides a comprehensive historical and technical analysis of the Sigmatic PS wide-area circular sprinkler machine with a swivel trunnion, which was put into mass production in 1986. The article examines the prerequisites for the machine's development, which were driven by the insufficient productivity and high labour intensity of belt irrigation systems, as well as the objective need to automate the irrigation of large agricultural areas within the optimal agrotechnical timeframe. A structural scheme has been reconstructed, including a universal prefabricated modular truss made of bridges 6 m long with hinged joints, support trolleys with an individual electric drive of 1 kW, a water supply system via a swivel trunnion from an underground pipeline, and filtration units. The following quantitative parameters are provided: irrigated area from 5 to 50 hectares, irrigation capacity of 20–50 L/s, operating pressure range of 350...750 kPa, and the ability to adjust irrigation rates within the range of 4...70 mm, depending on the type of tires. The machine demonstrates adaptability to various operating conditions, including operation on sloped land with a gradient of up to 15° (depending on the span length and furrow depth), irrigation of tall-stemmed crops (corn, cereals), and the ability to apply liquid fertilizers and mechanically treated wastewater.

The system of automatic control is described, which provides motion reversal, regulation of the overlap from 10 to 100 %, local and remote control, as well as comprehensive emergency protection in case of hose breakage, motor overload, pressure drop, or water temperature below +5 °C, with automatic shutdown and light signaling. Diagnostic functions are provided to facilitate fault detection, and protective measures for personnel safety are described (insulation of live parts, lightning protection, casings on rotating elements). It has been demonstrated that the Sigmatic PS represents a representative example of the stage in the development of wide-spanning sprinkler irrigation equipment associated with the transition from hydraulic systems to electrified, automated, and modular circular machines, which has significantly increased labor productivity and the efficiency of water resource use.

Ключевые слова: широкозахватная дождевальная машина, поворотная цапфа, Sigmatic PS, электрический привод, модульная конструкция, автоматическое управление, производительность полива, поливная норма, аварийная защита, орошение высокостебельных культур, склоновые земли

Keywords: wide-spreading sprinkler machine, swivel trunnion, Sigmatic PS, electric drive, modular design, automatic control, irrigation capacity, irrigation rate, emergency protection, irrigation of high-stem crops, sloping lands

Введение. Интенсификация сельскохозяйственного производства во второй половине XX века объективно потребовала перехода от малопроизводительных и трудоёмких способов полива к механизированным широкозахватным дождевальным системам. Ключевыми факторами этого перехода стали необходимость строгого соблюдения агротехнических сроков орошения, сокращение доли ручного труда, повышение коэффициента использования водных ресурсов и внедрение элементов автоматизации в технологические процессы. В связи с этим широкозахватные машины кругового действия представляют значительный интерес не только как

технические средства орошения, но и как важный этап исторического развития механизации полива [1, 4, 19].

До появления широкозахватных систем основным средством орошения были шланговые установки с наматываемым шлангом, которые, обладая хорошей маневренностью, имели существенные ограничения. Их производительность не превышала десяти литров в секунду, а удельный расход воды достигал четырёх-шести литров в секунду на гектар, что обуславливало необходимость частого перемещения машин и, соответственно, требовало значительного числа техники и обслуживающего персонала [2, 3]. Кроме того, гидравлический привод таких машин был жёстко привязан к расходно-напорным параметрам, что исключало передвижение без воды и создавало проблемы при использовании загрязнённых источников. Попытки модернизации шланговых систем в рамках их конструктивной схемы не давали принципиального улучшения, что стимулировало поиск новых решений [7, 20].

Одним из таких решений стала широкозахватная дождевальная машина с поворотной цапфой типа Sigmatic PS, разработанная чехословацким концерном VNH Sigma Olomouc (впоследствии реорганизованным в Sigma Group a.s.) и внедрённая в серийное производство в 1986 году. Как следует из доступных технических материалов, создание этой машины опиралось на обобщение опыта эксплуатации аналогичной техники и учёт новейших мировых тенденций в области широкозахватных дождевальных систем [10, 18].

Целью настоящего исследования является систематизация и анализ сведений о конструкции, технологических параметрах, эксплуатационных возможностях, системе автоматического управления и средствах аварийной защиты машины Sigmatic PS, а также оценка её места в эволюции оросительной техники. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: реконструкция конструктивной схемы и модульной компоновки; количественная оценка основных технических параметров

(орошаемая площадь, производительность, диапазон давлений, регулирование поливных норм); анализ адаптивности к различным условиям эксплуатации (склоновые земли, высокостебельные культуры, подача удобрений и сточных вод); описание системы управления и аварийной защиты; оценка надёжности и долговечности [12, 13].

Материалы и методы. Исследование базируется на анализе заводской технической документации широкозахватной оросительной машины с поворотной цапфой Sigmatic PS (VNH Sigma Olomouc, 1986 г.), содержащей данные о конструктивной схеме, технических параметрах, эксплуатационных свойствах и системе автоматического управления. Для сравнительного анализа взяты сведения о гидроприводных аналогах, ограниченных зависимостью ходового механизма от напора воды, невозможностью передвижения без подачи воды и низким диапазоном регулирования поливных норм [15, 16].

Реконструкция конструктивной схемы выполнена на основе описания основных узлов: оросительный рукав модульной компоновки из мостов длиной 6 м на опорных тележках с электрическим приводом; ходовые колёса типоразмеров ПНЕУ 11,2/10–24 и 12,2/11–28; поворотная цапфа; промывной фильтр и электрифицированная входная задвижка. Количественные параметры определены прямым извлечением из табличных данных: орошаемая площадь 3...50 га (в зависимости от числа тележек от 1 до 8), производительность 20...50 л/с, рабочее давление 350...750 кПа, поливные нормы 4...70 мм (в зависимости от типа шин). Допустимые уклоны проанализированы для пролётов 36, 42 и 48 м при глубине борозд до 0,15 м и 0,15...0,30 м [5, 6].

Анализ дождеобразующих устройств проведён на основе описания двух типов разбрызгивателей: ударных (угол 27°) на проточных трубопроводах и круговых (360°) на консолях, а также концевой дождевального аппарата, работающего постоянно или в заданном секторе. Система автоматического управления представлена по перечню функций (реверсирование,

регулирование перекрытия от 10 до 100 %, секторный полив, местное/дистанционное управление, регулировка подачи воды); аварийная защита – по условиям остановки (обрыв рукава, перегрузка двигателя, падение температуры ниже +5 °С, переполив, скачки напряжения, падение давления) с включением световой сигнализации и диагностикой [8, 9, 14].

Эксплуатационные свойства оценены на основе заводских данных: срок службы стационарного исполнения 20 лет, передвижного – 16 лет; температурный диапазон эксплуатации от +5 до +60 °С, хранения от –20 до +60 °С; антикоррозионная защита (оцинкованная сталь); система дренажных клапанов при давлении ниже 50 кПа; средства безопасности оператора (изоляция токоведущих частей, защита от молнии, кожухи вращающихся элементов). Предпосылки создания машины проанализированы методом сравнительного описания со шланговыми дождевателями [11, 17].

Результаты. В результате проведённого анализа установлено, что машина Sigmatic PS представляет собой стационарную дождевальную установку кругового действия с поворотной цапфой, питающейся от подземного трубопровода, и электрическим приводом всех ходовых тележек. Общий вид машины представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Общий вид широкозахватной оросительной машины Sigmatic PS с развёрнутым оросительным рукавом

Конструктивно дождевальная машина составлена из унифицированных ферм длиной от 30 метров, каждая из которых опирается на отдельную опорную тележку. Количество ферм варьируется от одного до восьми, что позволяет охватывать орошаемую площадь от трёх до пятидесяти гектаров при одной установке машины. Общий вид опорных тележек в рабочем положении представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Общий вид тележек оросительной машины Sigmatic PS

Каждая тележка оснащена двумя ходовыми колёсами с пневматическими шинами двух типов: ПНЕУ 11,2/10–24 либо 12,2/11–28. Привод обоих колёс осуществляется через червячные редукторы от одного электрического двигателя мощностью 1,0 кВт (380 В, 50 Гц). Конструкция тележки предусматривает поворот колёс на 90° вокруг вертикальной оси с одновременным отключением привода для перевода машины на соседнюю рабочую позицию с помощью трактора. Привод каждой тележки и общий вид ходовой части детально показаны на рисунках 3 и 4.



а



б

Рисунок 3 – Общий вид привода тележки дождевальной машины Sigmatic PS



Рисунок 4 – Центральный мотор-редуктор тележки дождевальной машины Sigmatic PS

На неподвижной опоре у поворотной цапфы смонтированы встроенный полнопроточный промывной фильтр со сменным вкладышем и входная задвижка с электрическим приводом (рисунок 5).



Рисунок 5 – Неподвижная опора, фильтр и узел подвода питания и воды

Производительность полива составляет от 20 до 50 литров в секунду. Рабочее давление на гидранте колеблется в диапазоне 350...750 кПа в зависимости от типа дождеобразующих устройств и длины машины. Суммарная установленная мощность для пятифермовой модификации равна 6 кВт. Наружный диаметр проточного трубопровода – 120 мм, максимальное избыточное давление – 1,0 МПа. Шарнирные соединения между фермами допускают отклонение до $\pm 8^{\circ}30'$, что обеспечивает адаптацию к микрорельефу.

Диапазон регулирования поливных норм составляет от 5 до 70 мм для модификации с шинами ПНЕУ 11,2/10–24 и от 4 до 70 мм для модификации с шинами 12,2/11–28. Для увеличения длины крыла может быть установлен кронштейн длиной 36, 42 или 48 м, подвешиваемый на тросах.

Машина может эксплуатироваться на склоновых землях. Максимально допустимые уклоны в зависимости от длины пролёта и глубины борозд представлены в таблице 1.

Таблица 1

Максимально допустимые уклоны для машины Sigmatic PS

Пролет моста, м	Максимальный уклон		
	Ровная поверхность	Борозда – глубина 0,15 м	Борозда – глубина 0,15...0,30 м
36	±15	±15	±15
42	±15	±15	±10
48	±15	±10	±5

Машина предназначена для орошения чистой водой, а также для подачи жидких удобрений, дезинфицирующих растворов и механически очищенных сточных вод. Конструкция обеспечивает полив высокостебельных культур (кукуруза, зерновые) в период вегетации.

В стандартной комплектации используются два типа дождевальных аппаратов: ударные дождеватели с углом полива 27° , размещённые на проточных трубопроводах ферм и кронштейна, и дождевальные аппарата кругового действия (360°) на консолях. На конце кронштейна может быть установлен концевой аппарат, работающий постоянно или в заданном секторе. Внешний вид дождевальных аппаратов представлен на рисунке 6.



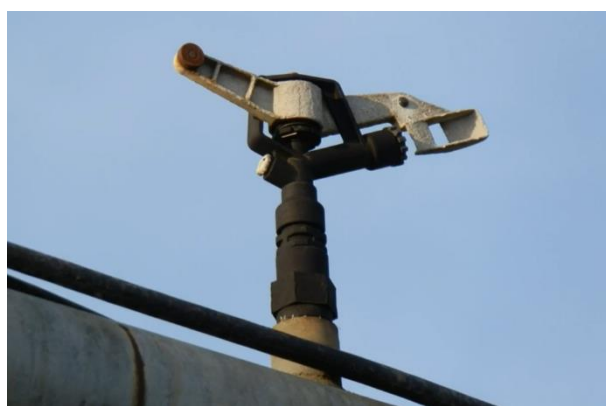
а



б



в



г

Рисунок 6 – Общий вид ударных опрыскивателей оросительной машины Sigmatic PS

Автоматическая система управления обеспечивает реверсирование движения с ручным или автоматическим переключением при работе по полной окружности или по кольцевому сектору регулируемого размера; установку перекрытия от 10 до 100 %; управление концевым дождевальным аппаратом; местное или дистанционное управление; ручную или автоматическую регулировку подачи воды.

Система аварийной защиты останавливает машину и включает световую сигнализацию при обрыве ферм, перегрузке или коротком замыкании электродвигателя, падении температуры воды ниже $+5^{\circ}\text{C}$, избыточном поливе, падении напряжения и опасном понижении давления на входе. Встроенная диагностика облегчает поиск неисправностей. На центральном

трубопроводе установлены автоматические дренажные клапаны, срабатывающие при давлении ниже 50 кПа для защиты от замерзания.

Стальная конструкция оцинкована. Срок службы стационарного исполнения – 20 лет, передвижного – 16 лет. Рабочий диапазон температур – от +5 до +60 °С, вне эксплуатации – до –20 °С.

Обсуждение. Представленные результаты позволяют рассматривать Sigmatic PS как показательный образец широкозахватной дождевальной техники кругового действия, воплотивший основные тенденции развития данной области в 1980-е годы. Прежде всего, обращает на себя внимание отказ от гидравлического привода в пользу электрического. Это решение устраняет главный недостаток гидроприводных аналогов – зависимость ходовой системы от параметров напорной воды, что позволяло передвигать машину даже при отключённой подаче воды, использовать низкие поливные нормы и применять воду с механическими примесями без риска забивания гидромоторов. Электрический привод также упрощал автоматизацию, так как управление двигателями легко интегрировалось в общую систему контроля.

Второй важной особенностью является модульная компоновка с шагом шесть метров. Возможность наращивать или уменьшать число мостов в зависимости от площади поля делает машину универсальной в применении. При этом шарнирные соединения с допуском $\pm 8^{\circ}30'$ обеспечивают достаточную гибкость для работы на неровных поверхностях, а данные о допустимых уклонах показывают, что машина приспособлена к условиям холмистого рельефа. Однако следует отметить, что с увеличением длины пролёта до 48 метров допустимый уклон на глубоких бороздах снижается до 5° , что накладывает ограничения на использование самой длинной модификации на сильно пересечённой местности.

Широкий диапазон регулирования поливных норм – от 4 до 70 мм – позволяет адаптировать режимы орошения под различные культуры и фазы вегетации, что выгодно отличает Sigmatic PS от шланговых дождевальных машин с фиксированной или узкорегулируемой нормой. Возможность подачи

жидких удобрений и сточных вод также расширяет технологические возможности, хотя при использовании сточных вод требуется соблюдение дополнительных мер по очистке и обеззараживанию.

Автоматическая система управления и аварийной защиты демонстрирует высокий для своего времени уровень автоматизации. Особого внимания заслуживает диагностическая функция, которая позволяла оператору быстро локализовать неисправность. Защита от замерзания через автоматические дренажные клапаны также является важным конструктивным элементом, существенно повышающим надёжность в регионах с холодными зимами.

В то же время, по сравнению с современными системами с GPS-навигацией, компьютеризированным управлением и прецизионным дозированием, Sigmatic PS выглядит ограниченной в точности позиционирования и в возможностях адаптации к переменной в пределах поля влагоёмкости почв. Однако в историческом контексте эта машина представляет собой важный переходный этап от гидравлических полуавтоматических установок к полностью электрифицированным и автоматизированным комплексам.

Сравнение со шланговыми дождевальными машинами показывает, что Sigmatic PS обеспечивает существенно более высокую производительность – до 50 л/с против 10 л/с, что в пять раз сокращает время полива крупных массивов и снижает потребность в дополнительной технике и персонале. При этом качество распределения воды при правильной настройке перекрытия и секторного режима сопоставимо или превосходит шланговые системы благодаря непрерывному движению и использованию двух типов дождевальных аппаратов.

Выводы. Проведённое исследование технической документации широкозахватной оросительной машины Sigmatic PS позволяет заключить, что данная машина является характерным этапом эволюции дождевальной техники кругового действия, отражающим переход от гидравлических систем с низкой производительностью к электрифицированным, модульным и

автоматизированным комплексам. Конструктивная схема машины, основанная на универсально-сборной ферме из мостов длиной от 30 метров с шарнирными соединениями и опорными тележками с индивидуальным электроприводом мощностью 1 кВт, обеспечивает гибкость в конфигурировании под различные площади (от трёх до пятидесяти гектаров) и адаптацию к микрорельефу за счёт угловых отклонений до $\pm 8^{\circ}30'$. Применение электрического привода устраняет недостатки гидравлических аналогов, обеспечивая независимость движения от параметров напорной воды и возможность использования низких поливных норм.

Технические параметры машины – производительность от 20 до 50 л/с, рабочее давление от 350 до 750 кПа, регулируемые поливные нормы от 4 до 70 мм – обеспечивают высокую агрономическую гибкость и позволяют проводить орошение в оптимальные сроки. Адаптивность машины проявляется в способности работать на склонах с уклоном до 15° (с ограничениями для пролёта 48 метров на глубоких бороздах), поливать высокостебельные культуры и подавать жидкие удобрения и очищенные сточные воды.

Автоматическая система управления реализует реверсирование, регулирование перекрытия от 10 до 100 %, секторный полив, местное и дистанционное управление, а также комплексную аварийную защиту при обрыве, перегрузке двигателей, падении давления и температуры ниже $+5^{\circ}\text{C}$ с автоматической остановкой и световой сигнализацией. Встроенная диагностика и система дренажных клапанов для защиты от замерзания существенно повышают эксплуатационную надёжность. Оцинкованная стальная конструкция и заявленные сроки службы (20 лет для стационарного и 16 лет для передвижного исполнения) свидетельствуют о достаточной долговечности машины.

В историко-техническом контексте Sigmatic PS представляет собой важный объект, отражающий ключевые тенденции развития оросительных систем 1980-х годов: электрификацию, модульность и автоматизацию.

Многие инженерные решения, заложенные в конструкцию этой машины, сохраняют актуальность для современных разработок.

Литература

1. Бакиров, С. М. Оценка повышения энергетической эффективности дождевальной машины с аккумуляторным источником питания / С. М. Бакиров, С. С. Елисеев, Е. В. Рыжова // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2021. – Т. 68, № 1(42). – С. 29-33. – DOI 10.22314/2658-4859-2021-68-1-29-33. – EDN GJINZM.
2. Евсеев, Е. Ю. К усовершенствованию регулятора расхода дождевальных аппаратов многоопорных дождевальных машин / Е. Ю. Евсеев, А. О. Антипов, А. И. Рязанцев // Вестник мелиоративной науки. – 2020. – № 3. – С. 36-39. – EDN JTPDPM.
3. Евсеев, Е. Ю. Регулирование водоотдачи ДМ "Кубань – ЛК1" на склоновых участках / Е. Ю. Евсеев, А. И. Рязанцев, А. О. Антипов // Материалы Всероссийской национальной научно-практической конференции, посвящённой 80-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича Лопатина, Рязань, 12–13 ноября 2019 года / ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, Совет молодых ученых. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2020. – С. 83-88. – EDN MMHRUL.
4. Журавлева, Л. А. Особенности конструирования широкозахватных дождевальных машин / Л. А. Журавлева // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2024. – № 1. – С. 61-69. – DOI 10.31857/S0235711924010071. – EDN SMYBSK.
5. Журавлева, Л. А. Совершенствование широкозахватных дождевальных машин кругового действия / Л. А. Журавлева, Б. Хеирбеик, М. С. Магомедов // Инновационная наука. – 2022. – № 7-2. – С. 24-27. – EDN IKMFJC.
6. Журавлева, Л. А. Экспериментально-теоретические исследования системы "норма полива - почва - дождевальная машина" / Л. А. Журавлева, И. А.

- Попков, М. С. Магомедов // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 9. – С. 96-103. – DOI 10.28983/asj.y2022i9pp96-103. – EDN BCPLDG.
7. Направления совершенствования регулирующих устройств для многоопорных дождевальных машин кругового действия типа "Кубань-ЛК1" / А. И. Рязанцев, А. О. Антипов, Е. Ю. Евсеев, А. И. Смирнов // Современное состояние, приоритетные задачи и перспективы развития аграрной науки на мелиорированных землях : Материалы международной научно-практической конференции, Тверь, 25 сентября 2020 года. Том Часть 2. – Тверь: Тверской государственный университет, 2020. – С. 155-159. – EDN FTKPLE.
8. Обоснование параметров по совершенствованию регулятора расхода дождевальных аппаратов машины "Кубань-ЛК1" / А. И. Рязанцев, М. Ю. Костенко, А. О. Антипов [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2020. – № 4(48). – С. 107-113. – DOI 10.36508/RSATU.2020.48.4.015. – EDN JECIZH.
9. Обоснование регулирования расхода дождевальных аппаратов широкозахватных машин кругового действия / А. И. Рязанцев, С. С. Турапин, Е. Ю. Евсеев, А. О. Антипов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2022. – № 3. – С. 6-9. – DOI 10.32962/0235-2524-2022-3-6-10. – EDN DJWYGY.
10. Оценка энергетических показателей усовершенствованного привода многоопорных дождевальных машин, типа «Кубань-ЛК1» / А. И. Рязанцев, А. Н. Зазуля, Е. Ю. Евсеев, А. О. Антипов // Наука в центральной России. – 2023. – № 6(66). – С. 62-70. – DOI 10.35887/2305-2538-2023-6-62-70. – EDN WXSNDX.
11. Патент № 2770811 С1 Российская Федерация, МПК А01G 25/09. Многоопорная дождевальная машина кругового действия : № 2020144291 : заявл. 29.12.2020 : опубл. 22.04.2022 / А. И. Рязанцев, Е. Ю. Евсеев, А. О. Антипов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". – EDN TGXCWZ.

12. Патент на полезную модель № 183135 U1 Российская Федерация, МПК A01G 25/09. Многоопорная дождевальная машина кругового действия : № 2018116248 : заявл. 28.04.2018 : опубл. 12.09.2018 / А. И. Рязанцев, Г. К. Рембалович, А. О. Антипов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (ФГБОУ ВО РГАТУ). – EDN OOCXTS.

13. Повышение опорных свойств многоопорной машины "Кубань-ЛК1" / А. И. Рязанцев, А. Н. Зазуля, Е. Ю. Евсеев [и др.] // Наука в центральной России. – 2022. – № 6(60). – С. 35-41. – DOI 10.35887/2305-2538-2022-6-35-41. – EDN AFIZJD.

14. Рыжко, Н. В. Перспективы развития орошаемых земель на основе совершенствования дождевальных машин вантовой конструкции / Н. В. Рыжко, Е. С. Смирнов // Проблемы и перспективы развития сельского хозяйства и сельских территорий : Сборник статей VII Международной научно-практической конференции, Саратов, 17 мая 2018 года. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2018. – С. 130-134. – EDN YKGPLF.

15. Совершенствование технологий и техники орошения в современных условиях землепользования : Сборник научных трудов по материалам международного научно-практического семинара "Опыт и перспективы использования поливной техники на орошаемых землях", Новочеркасск, 15–16 декабря 2005 года. – Новочеркасск: Геликон, 2005. – 281 с. – ISBN 5-93542-009-0. – EDN QKXXRP.

16. Современные проблемы мелиорации земель, пути и методы их решения. – Новочеркасск : ООО "Геликон", 2005. – 168 с. – ISBN 5-93542-005-8. – EDN UXCVBX.

17. Фокин, Б. П. Повышение эффективности полива многоопорными дождевальными машинами : специальность 06.01.02 "Мелиорация, рекультивация и охрана земель" : диссертация на соискание ученой степени

доктора технических наук / Фокин Борис Павлович. – Ставрополь, 2002. – 313 с. – EDN QDPSHF.

18. Энергосбережение при поливе многоопорными дождевальными машинами кругового действия / А. И. Рязанцев, А. О. Антипов, А. А. Ахтямов, Е. Ю. Евсеев // Эффективное использование мелиорированных земель: проблемы и решения : Материалы Международной научно-практической конференции ФГБНУ ВНИИМЗ, Тверь, 28 сентября 2018 года. – Тверь: Тверской государственный университет, 2018. – С. 276-279. – EDN VQHAAC.

19. 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.

20. Юлдашев, З. Ш. Энерго- и ресурсосберегающая дождевальная машина фронтального действия с гидроприводом опорных тележек / З. Ш. Юлдашев // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2012. – № 28. – С. 383-386. – EDN PJNDAT.

References

1. Bakirov, S. M. Assessment of the energy efficiency improvement of a sprinkler with a battery-powered power source / S. M. Bakirov, S. S. Eliseev, E. V. Ryzhova // Electrotechnologies and Electrical Equipment in the Agro-Industrial Complex. – 2021. – Vol. 68, No. 1(42). – Pp. 29–33. – DOI 10.22314/2658-4859-2021-68-1-29-33. – EDN GJIHZM.

2. Evseev, E. Yu. On improving the flow regulator of sprinkler devices in multi-support sprinkler machines / E. Yu. Evseev, A. O. Antipov, A. I. Ryazantsev // Vestnik meliorativnoy nauki. – 2020. – No. 3. – Pp. 36–39. – EDN JTPDPM.

3. Evseev, E. Yu. Regulation of water release from the DM “Kuban – LK1” in sloping areas / E. Yu. Evseev, A. I. Ryazantsev, A. O. Antipov // Proceedings of the All-Russian National Scientific and Practical Conference dedicated to the 80th anniversary of the birth of Professor Anatoly Mikhailovich Lopatin, Ryazan,

November 12–13, 2019 / Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev”, Council of Young Scientists. – Ryazan: Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, 2020. – Pp. 83-88. – EDN MMHRUL.

4. Zhuravleva, L. A. Features of designing wide-area sprinkler irrigation machines / L. A. Zhuravleva // Problems of Mechanical Engineering and Machine Reliability. – 2024. – No. 1. – Pp. 61–69. – DOI 10.31857/S0235711924010071. – EDN SMYBSK.

5. Zhuravleva, L. A. Improving wide-spreading circular sprinkler irrigation machines / L. A. Zhuravleva, B. Kheirbeik, M. S. Magomedov // Innovative Science. – 2022. – No. 7-2. – Pp. 24–27. – EDN IKMFJC.

6. Zhuravleva, L. A. Experimental and theoretical studies of the “irrigation rate – soil – sprinkler” system / L. A. Zhuravleva, I. A. Popkov, M. S. Magomedov // Agrarian Scientific Journal. – 2022. – No. 9. – Pp. 96–103. – DOI 10.28983/asj.y2022i9pp96-103. – EDN BCPLDG.

7. Directions for improving control devices for multi-support circular sprinkler machines of the “Kuban-LK1” type / A. I. Ryazantsev, A. O. Antipov, E. Yu. Evseev, A. I. Smirnov // Current state, priority tasks and prospects for the development of agricultural science on reclaimed lands: Proceedings of the international scientific and practical conference, Tver, September 25, 2020. Volume Part 2. – Tver: Tver State University, 2020. – Pp. 155–159. – EDN FTKPLE.

8. Justification of parameters for improving the flow regulator of sprinkler devices of the “Kuban-LK1” machine / A. I. Ryazantsev, M. Yu. Kostenko, A. O. Antipov [et al.] // Bulletin of the P. A. Kostychev Ryazan State Agrotechnological University. – 2020. – No. 4(48). – Pp. 107–113. – DOI 10.36508/RSATU.2020.48.4.015. – EDN JECIZH.

9. Justification for regulating the flow rate of sprinkler devices on wide-area circular irrigation machines / A. I. Ryazantsev, S. S. Turapin, E. Yu. Evseev, A. O.

- Antipov // Land Reclamation and Water Management. – 2022. – No. 3. – Pp. 6–9. – DOI 10.32962/0235-2524-2022-3-6-10. – EDN DJWYGY.
10. Assessment of the energy performance of an improved drive for multi-support sprinkler machines of the “Kuban-LK1” type / A. I. Ryazantsev, A. N. Zazulya, E. Yu. Evseev, A. O. Antipov // Science in Central Russia. – 2023. – No. 6(66). – Pp. 62–70. – DOI 10.35887/2305-2538-2023-6-62-70. – EDN WXSNDX.
11. Patent No. 2770811 C1, Russian Federation, IPC A01G 25/09. Multi-support circular sprinkler irrigation machine: No. 2020144291: application date: 29.12.2020; publication date: 22.04.2022 / A. I. Ryazantsev, E. Yu. Evseev, A. O. Antipov [et al.]; applicant: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “P. A. Kostychev Ryazan State Agrotechnological University”. – EDN TGXCWZ.
12. Utility model patent No. 183135 U1, Russian Federation, IPC A01G 25/09. Multi-support circular sprinkler irrigation machine: No. 2018116248: application filed on 28.04.2018; publication date: 12.09.2018 / A. I. Ryazantsev, G. K. Rembalovich, A. O. Antipov [et al.]; applicant: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev” (FSBEI HE RGATU). – EDN OOCXTS.
13. Improving the supporting properties of the multi-support machine “Kuban-LK1” / A. I. Ryazantsev, A. N. Zazulya, E. Yu. Evseev [et al.] // Science in Central Russia. – 2022. – No. 6(60). – Pp. 35–41. – DOI 10.35887/2305-2538-2022-6-35-41. – EDN AFIZJD.
14. Ryzhko, N. V. Prospects for the Development of Irrigated Lands Based on the Improvement of Cable-Supported Sprinkler Systems / N. V. Ryzhko, E. S. Smirnov // Problems and Prospects for the Development of Agriculture and Rural Areas: Collection of Articles of the VII International Scientific and Practical Conference, Saratov, May 17, 2018. – Saratov: Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov, 2018. – Pp. 130–134. – EDN YKGPLF.
15. Improving irrigation technologies and techniques in modern land use conditions: Collection of scientific papers based on the materials of the

international scientific and practical seminar “Experience and prospects for the use of irrigation equipment on irrigated lands,” Novocherkassk, December 15–16, 2005. – Novocherkassk: Gelikon, 2005. – 281 p. – ISBN 5-93542-009-0. – EDN QKXXRP.

16. Modern problems of land reclamation, ways and methods of solving them. – Novocherkassk: LLC “Helikon”, 2005. – 168 p. – ISBN 5-93542-005-8. – EDN UXCVBX.

17. Fokin, B. P. Improving the efficiency of irrigation using multi-support sprinkler machines: specialty 06.01.02 “Land reclamation, restoration and land protection”: dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Fokin Boris Pavlovich. – Stavropol, 2002. – 313 p. – EDN QDPSHF.

18. Energy saving in irrigation using multi-support circular sprinkler machines / A. I. Ryazantsev, A. O. Antipov, A. A. Akhtyamov, E. Yu. Evseev // Effective use of reclaimed lands: problems and solutions: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of the Federal State Budgetary Scientific Institution All-Russian Research Institute of Land Improvement, Tver, September 28, 2018. – Tver: Tver State University, 2018. – Pp. 276–279. – EDN VQHAAC.

19. Energy saving in irrigation using multi-support sprinkler machines / N. F. Ryzhko, S. N. Ryzhko, E. S. Smirnov, S. A. Khorin // Land Reclamation and Water Management. – 2021. – No. 6. – Pp. 25–30. – DOI 10.32962/0235-2524-2021-6-25-30. – EDN CZTQGM.

20. Yuldashev, Z. Sh. Energy- and resource-saving front-acting sprinkler with a hydraulic drive for support trolleys / Z. Sh. Yuldashev // Izvestiya of St. Petersburg State Agrarian University. – 2012. – No. 28. – Pp. 383-386. – EDN PJNDAT.

© Рязанцев А.И., Евсеев Е.Ю., Антипов А.О., Малько И.В. 2026. *International agricultural journal*, 2026, № 4, 126-149.