

## МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.347

doi: 10.31774/2712-9357-2026-16-2-76-90

### Технология полива многоопорными дождевальными машинами орошаемых участков с уклонами

Николай Федорович Рыжко<sup>1</sup>, Сергей Николаевич Рыжко<sup>2</sup>,  
Евгений Станиславович Смирнов<sup>3</sup>, Дмитрий Александрович Колганов<sup>4</sup>,  
Юрий Николаевич Грепечук<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3</sup>Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации,  
Приволжский, Российская Федерация

<sup>4, 5</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии  
имени Н. И. Вавилова, Саратов, Российская Федерация

<sup>1</sup>ryzhonf@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0006-6352-8832>

<sup>2</sup>ryzhonf@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0008-4575-5788>

<sup>3</sup>smirnovj47@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-6499-8378>

<sup>4</sup>dmi.kolg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9217-8989>

<sup>5</sup>yuri@grepchuk.ru

**Аннотация. Цель:** усовершенствование технологии полива многоопорными дождевальными машинами на склоновых агрофонах и оценка эффективности изменения напора на выходе насосной станции при помощи частотного регулирования оборотов в условиях работы машин с движением на подъем и под уклон. **Материалы и методы.** Исследования энергетических затрат на подачу оросительной воды при поливе дождевальными машинами проведены на насосных станциях Приволжской оросительной системы без частотного регулирования оборотов (НС-А, НС-42п и др.) и с частотным регулированием оборотов (НС-22п, НС-10п и др.). Оценка энергозатрат на подачу воды осуществлялась на основе данных фидеров почасового потребления электроэнергии насосными станциями и мгновенных показателей приборов. Гидравлические расчеты с целью выбора оптимального режима полива для четырех дождевальных машин Zimmatic на орошаемом участке с уклонами проведены на НС-46п. **Результаты.** В статье показана высокая эффективность частотного регулирования оборотов насоса при групповой эксплуатации дождевальных машин, при этом расход воды и напор на выходе насосной станции всегда поддерживаются в оптимальных пределах с минимальным потреблением электроэнергии на подачу 1000 куб. м воды 165–188 кВт·ч, что в 2–2,5 раза меньше по сравнению с насосами Д1250-125, работающими без частотного регулирования. На НС-46п при работе четырех дождевальных машин Zimmatic в процессе движения на подъем напор должен равняться 56 м вод. ст., потребляемая мощность двух электродвигателей уменьшится с 420 до 300 кВт, а при движении под уклон напор снизится до 49 м вод. ст., мощность до 236 кВт. **Выводы.** Исследованиями подтверждена высокая эффективность частотного регулирования оборотов насосов, которое позволяет поддерживать требуемый напор вне зависимости от числа работающих машин, а также уклона поля. Изменение напора на выходе НС-46п даст возможность снизить потребление электроэнергии на 33,4 %. За поливной сезон электроэнергии сэкономятся на 653,0 тыс. рублей.

**Ключевые слова:** насосная станция, склоновый агрофон, технология орошения, дождевальная машина, частотное регулирование оборотов насоса, энергозатраты на полив

**Источник финансирования:** субсидии на выполнение Государственного задания № 082-00064-26-00 за счет средств федерального бюджета.



*Для цитирования:* Технология полива многоопорными дождевальными машинами орошаемых участков с уклонами / Н. Ф. Рыжко, С. Н. Рыжко, Е. С. Смирнов, Д. А. Колганов, Ю. Н. Гречечук // Мелиорация и гидротехника. 2026. Т. 16, № 2. С. 76–90. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2026-16-2-76-90>.

## LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

### Technology of irrigation of sloping irrigated areas with multi-tower sprinkling machines

Nikolay F. Ryzhko<sup>1</sup>, Sergey N. Ryzhko<sup>2</sup>, Evgeny S. Smirnov<sup>3</sup>,  
Dmitry A. Kolganov<sup>4</sup>, Yuri N. Grepechuk<sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup>Volga Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Privolzhsky, Russian Federation

<sup>4,5</sup>Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russian Federation

<sup>1</sup>ryzhonf@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0006-6352-8832>

<sup>2</sup>ryzhonf@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0008-4575-5788>

<sup>3</sup>smirnovj47@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-6499-8378>

<sup>4</sup>dmi.kolg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9217-8989>

<sup>5</sup>yuri@grepechuk.ru

**Abstract. Purpose:** to improve the technology of irrigation with multi-tower sprinklers on sloping agricultural fields and to evaluate the efficiency of changing pressure at the pumping station outlet using frequency control of the valves during operation of machines with upward and downward movement. **Materials and methods.** Studies of energy costs for the irrigation water supply during irrigation by sprinkler machines were carried out at pumping stations of the Volga irrigation system without frequency control of revolutions (NS-A, NS-42p, etc.) and with frequency control of revolutions (NS-22p, NS-10p, etc.). The assessment of energy consumption for water supply was carried out on the basis of data from feeders of hourly electricity consumption by pumping stations and instantaneous indicators of devices. Hydraulic calculations to select the optimal irrigation regime for four Zimmatic sprinklers in an irrigated area with slopes were carried out on NS-46p. **Results.** The article shows the high efficiency of frequency control of pump speed during group operation of sprinklers, while the water flow and pressure at the outlet of the pumping station are always maintained within optimal limits with minimal electricity consumption for supplying 1000 cub. m of water 165–188 kW·h, which is 2–2.5 times less compared to with pumps D1250-125 operating without frequency regulation. On the NS-46p, when four Zimmatic sprinklers are operating, the pressure should be equal to 56 m of water during lifting. For example, the power consumption of two electric motors will decrease from 420 to 300 kW, and when moving downhill, the pressure will decrease to 49 m of water. For example, the power will decrease to 236 kW. **Conclusions.** Research has confirmed the high efficiency of frequency control of pump speed, which makes it possible to maintain the required pressure regardless of the number of operating machines, as well as the field slope. Changing the pressure at the outlet of the NS-46p will make it possible to reduce electricity consumption by 33.4 %. During the irrigation season, electricity will be saved by 653.0 thousand rubles.

**Keywords:** pumping station, slope agrophone, irrigation technology, sprinkler machine, frequency control of pump speed, energy consumption for irrigation

**Funding source:** subsidies for the implementation of State Assignment No. 082-00064-26-00 are from the federal budget.

**For citation:** Ryzhko N. F., Ryzhko S. N., Smirnov E. S., Kolganov D. A., Grepechuk Yu. N. Technology of irrigation of sloping irrigated areas with multi-tower sprinkling machines. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2026;16(2):76–90. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2026-16-2-76-90>.

**Введение.** Многоопорные дождевальные машины играют важную роль в орошаемом земледелии, на их долю приходится до 62,3 % поливаемой площади нашей страны [1]. В последние годы оросительные системы Российской Федерации значительно пополнились многоопорными дождевальными машинами (МДМ), в основном отечественного производства: ДМ «БСГ» (ООО «БСГ» г. Тольятти), ДМ «Казанка», ДМ «Каскад» (ООО «Мелиомаш»), и зарубежных фирм: DAYU (Китай), Zimmatic и Valley (США), Bauer и др. В Саратовской области многоопорными дождевальными машинами поливается 82,7 % орошаемых земель [2].

Анализ существующих и проектируемых орошаемых участков показывает, что доля полей с уклонами увеличивается. Перепад высот между неподвижной опорой и концевой частью машин на отдельных орошаемых полях колеблется от 4 до 17 м и более, величина уклона достигает  $\pm 0,037$  и более. На орошаемых участках, относящихся к ПНС-5п Комсомольской оросительной системы (ОС), перепад высот между насосной станцией и наиболее удаленными дождевальными машинами достигает 22–25 м. Если МДМ не оборудованы регуляторами давления, устанавливаемыми перед дождевателями, то при работе на склоновых участках наблюдается значительное изменение расхода воды и нормы полива. При работе на подъеме расход воды и норма полива уменьшаются, а при работе машин под уклон, наоборот, увеличиваются за счет геодезического подпора [3–6]. Максимальное давление на входе дождевальной машины определяется давлением на входе при нулевом уклоне и величиной геодезического подъема концевой части машины.

Чтобы исключить изменение расхода воды и нормы полива машины, при орошении склоновых участков перед дождевальными насадками мон-

тируются регуляторы давления [7]. Расход воды на насосной станции при эксплуатации может изменяться в зависимости от числа работающих дождевальнх машин (ДМ) [8]. При оптимальном числе работающих машин давление на насосной станции (НС) находится в оптимальных пределах, а при уменьшении числа работающих машин снижается расход воды, на выходе насоса повышается давление и растут удельные затраты электроэнергии на подачу воды [2, 8]. Использование на насосной станции частотного регулирования оборотов позволяет посредством снижения оборотов насоса уменьшить расход воды и давление на выходе до оптимальной величины, понизить потребление электроэнергии на подачу воды [9]. При работе ДМ на склоновых участках необходимо учитывать величину уклона между неподвижной опорой и концевой частью машины и регулировать давление на входе ДМ и выходе НС, что позволит уменьшить потребление энергии электродвигателем.

Затраты электроэнергии на полив в настоящее время значительны, и поэтому разработка способов и технических решений для уменьшения потребления энергии на насосных станциях при работе на склоновых агрофонах является актуальной задачей.

Цель работы – усовершенствовать технологию полива орошаемых участков с уклонами и оценить эффективность проведения регулировки давления на выходе насосной станции, подающей воду для полива на склоновых агрофонах.

**Материалы и методы.** Для оценки энергозатрат на полив проведен анализ почасового и мгновенного потребления электроэнергии на различных насосных станциях Приволжской ОС Саратовской области. Насосные станции Приволжской ОС НС-А, НС-4п, НС-11п, НС-41п и др. работают без оборудования для частотного регулирования оборотов насоса, а на НС-10п, НС-5п, НС-22п, БКНС-3 и др. установлено такое оборудование.

При исследованиях орошаемых участков определяли характеристики дождевальных машин: расход воды, давление на входе, площадь полива, число работающих машин, время полива орошаемого участка. Уточнялось соответствие между паспортным и фактическим расходом воды дождевальных машин. Затраты электроэнергии на полив на насосных станциях определялись по значениям на фидерах. Фиксировали величину потребляемого тока, его частоту и напряжение, давление на выходе насосной станции. Для расчета удельного потребления электроэнергии на подачу  $1000 \text{ м}^3$  воды ( $N_{\text{У}}$ ) определялись значения потребляемой электроэнергии ( $N$ , кВт) по фидерам и расход воды насосной станции, который равен суммарному расходу воды дождевальных машин ( $Q_{\text{С}}$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ) [2, 8].

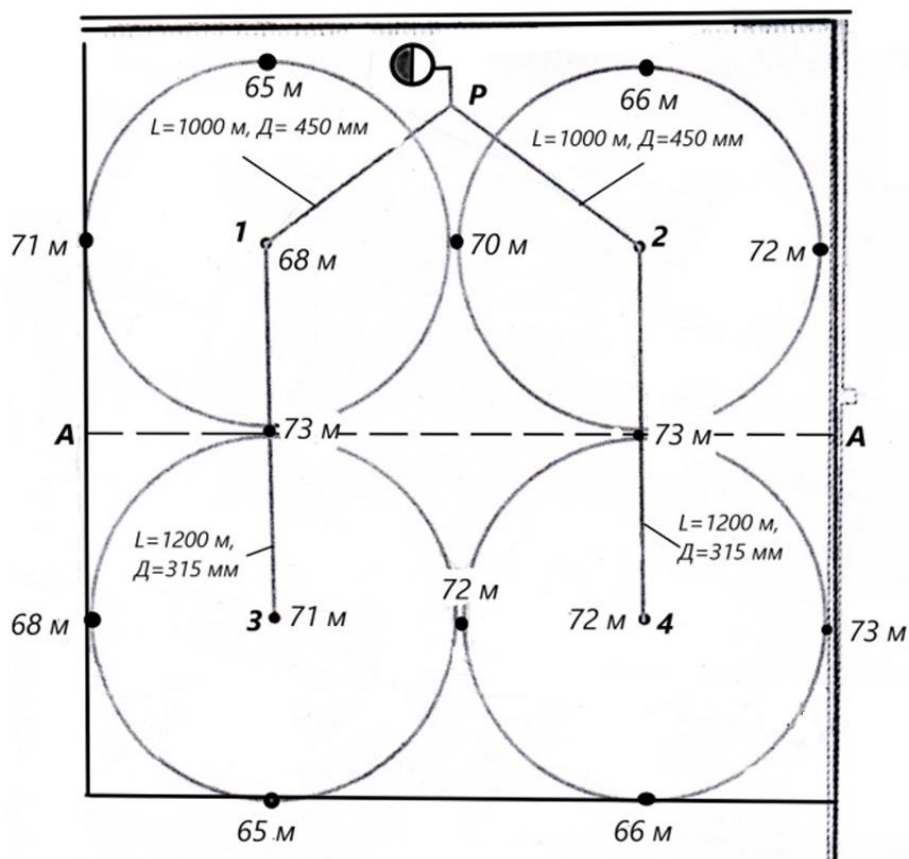
Расчет  $N_{\text{У}}$  проводили по формуле, кВт·ч на  $1000 \text{ м}^3$ :

$$N_{\text{У}} = 1000 \cdot \frac{N}{Q_{\text{С}}}. \quad (1)$$

Оценка эффективности энергосбережения при подаче  $1000 \text{ м}^3$  воды в процессе регулирования давления на входе ДМ и выходе НС проведена на НС-46п Приволжской ОС в условиях полива орошаемого участка с уклонами (рисунок 1). Для полива используются четыре ДМ Zimmatic с расходом воды  $120,4 \text{ л/с}$  при давлении на входе  $0,28 \text{ МПа}$ . Суммарный расход воды НС равен  $481,6 \text{ л/с}$ , или  $1733,7 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Для подачи воды к машинам используются два насоса Д1250-63 с электродвигателем мощностью  $315 \text{ кВт}$ .

Геодезические замеры орошаемого участка выявили два основных уклона от водораздела, который проходит по линии А–А между краями полей ДМ № 1 и 3, а также ДМ № 2 и 4. Максимальная высота по водоразделу составила  $73 \text{ м}$ . От линии водораздела А–А идет понижение к насосной станции до отметки  $65 \text{ м}$  и к краям полей ДМ № 3 и 4 до отметок  $65$  и  $66 \text{ м}$  соответственно. Геодезические высоты неподвижных опор ДМ № 1, 2, 3 и 4 имеют соответственно значения  $68$ ;  $69$ ;  $71$  и  $72 \text{ м}$ . Дождевальная

машина № 1 имеет подъем концевой части относительно неподвижной опоры 73 – 68 м = +5 м и уклон 68 – 65 м = –3 м. Дождевальная машина № 2 имеет подъем 73 – 69 м = +4 м и уклон 69 – 66 м = –3 м. Дождевальная машина № 3 имеет подъем концевой части относительно неподвижной опоры 73 – 71 м = +2 м и уклон 71 – 65 м = –6 м. Дождевальная машина № 4 имеет подъем 73 – 72 м = +1 м и уклон 72 – 66 м = –6 м.



*L* – протяженность орошаемого участка; *D* – диаметр напорного трубопровода;  
 65–73 м – геодезическая высота рельефа; *P* – распределитель напорного  
 трубопровода; *A–A* – линии водораздела орошаемого участка  
*L* is the length of the irrigated area; *D* is the diameter of the pressure pipeline;  
 65–73 m is the geodetic relief height; *P* is the distributor of the pressure  
 pipeline; *A–A* is the watershed lines of the irrigated area

**Рисунок 1 – Схема орошаемого участка, относящегося к НС-46п, 1, 2, 3 и 4-го номера дождевальных машин Zimmatic**  
**Figure 1 – Diagram of the irrigated area related to NS-46p, numbers 1, 2, 3 and 4 of the Zimmatic sprinkler machines**

Для подачи оросительной воды к дождевальным машинам используется подземный пластмассовый трубопровод диаметром 630 мм от НС до

развилки (НС – Р) длиной 100 м. Участки труб от развилки (Р) до ДМ № 1 и 2, где подается вода расходом 240,8 л/с, имеют диаметр 450 мм и длину по 1000 м. Участки труб от ДМ № 1 до ДМ № 3, где подается вода расходом 120,4 л/с, имеют диаметр 315 мм и длину по 1200 м. Аналогичная труба смонтирована на участке от ДМ № 2 до ДМ № 4.

Потери напора по длине трубопровода определяли по формуле А. Ф. Шевелева [8].

Данные о потерях напора по длине для каждого участка труб в зависимости от расхода воды и диаметра труб приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Потери напора по длине для отдельных участков труб**  
**Table 1 – Pressure losses along the length for individual pipe sections**

Участок трубопровода	Расход воды, л/с	Диаметр/толщина трубы, мм	Длина трубы, м	Потери напора, м
НС – Р	481,6	630/30	100	0,5
Р – 1	240,8	450/21,5	1000	4
Р – 2	240,8	450/21,5	1000	4
1 – 3	120,4	315/15	1200	12
2 – 4	120,4	315/15	1200	12

Для снижения потребления электроэнергии на подачу оросительной воды предложена технология полива, когда все дождевальные машины проводят полив при движении на подъем, а в дальнейшем все машины переходят на работу под уклон. При расчете требуемого напора на насосной станции учитывались напор на гидранте дождевальной машины ( $H_{\Gamma}$ ), геодезический подъем до неподвижной опоры ( $h_o$ ), геодезический уклон консоли машины ( $h_k$ ) и потери напора по длине трубопровода ( $h_{\Pi}$ ):

$$H_{\text{НС}} = H_{\Gamma} \mp h_o \mp h_k + h_{\Pi}. \quad (2)$$

Изменение характеристик насоса (расход воды, напор и потребляемая мощность) в зависимости от частоты вращения определялось согласно исследованиям Б. А. Лизнова [9, 10].

**Результаты и обсуждение.** Исследования, проведенные на насосных станциях Приволжской ОС, показали, что минимальные затраты электро-

энергии на подачу воды имеем на орошаемых участках, относящихся к насосным станциям, оснащенным оборудованием для частотного регулирования оборотов. На НС-10п смонтированы два насоса «Грундфос» марки КР12280-ОДФ019 с расходом воды 300 л/с, напором 70 м и электродвигателем мощностью 250 кВт. Один насос подает воду на шесть ДМ Zimmatic, и два насоса подают воду на восемь одновременно работающих машин.

При работе одного насоса и поливе шестью машинами Zimmatic потребление электроэнергии за 1 ч работы составляет 167–168 кВт, а два насоса при поливе восемью машинами Zimmatic потребляют 305–318 кВт. Давление на НС поддерживается в пределах 0,45–0,54 МПа в зависимости от числа работающих ДМ. Расход воды при работе шести ДМ Zimmatic от одного насоса составляет  $42 + 46 + 46 + 63 + 42 + 46 = 285$  л/с = 1026 м<sup>3</sup>/ч, а на подачу 1000 м<sup>3</sup> воды затраты электроэнергии равны  $N_y = 168 : 1,02 = 165$  кВт·ч. Расход воды при работе восьми ДМ Zimmatic от двух насосов составляет в среднем  $90,8 + 78 + 46 + 46 + 63 + 63 + 42 + 42 = 470$  л/с = 1692 м<sup>3</sup>/ч, а на подачу 1000 м<sup>3</sup> воды затраты электроэнергии равны  $N_y = 318 : 1,69 = 188$  кВт·ч. Частотное регулирование позволяет изменять расход воды насоса в широком диапазоне при изменении числа одновременно работающих машин от 1 до 6 ед. Исследования на НС-22п Приволжской ОС показали, что насос Д1250-63 с электродвигателем мощностью 315 кВт при снижении частоты тока с 50 до 39 Гц уменьшает величину потребляемого тока с 285 до 198 А и потребляемую мощность электродвигателя с 168 до 78 кВт. При этом удельные затраты электроэнергии на подачу 1000 м<sup>3</sup> воды в 2–2,5 раза меньше, чем у высоконапорного насоса Д1250-125.

Исследования, проведенные на НС-46п, показали, что при работе всех четырех машин напор на насосной станции с учетом особенностей ДМ № 3 (напор на гидранте  $H_{\Gamma} = 28 + 3 = 31$  м; общие потери по длине

трубопровода  $h_{\Pi} = 1 + 4 + 12 = 17$  м; величина подъема неподвижной опоры  $h_{\text{О}} = 6$  м и консоли машины  $h_{\text{К}} = 2$  м) должен составлять:

$$H_{\text{НС}} = H_{\Gamma} + h_{\text{О}} + h_{\text{К}} + h_{\Pi} = 31 + 6 + 2 + 17 = 56 \text{ м.}$$

При движении ДМ № 1, 2 и 4 на подъеме напор на НС должен составлять соответственно 44; 44 и 56 м. Диктующими машинами при работе на подъеме являются ДМ № 3 и 4, а напор на НС-46п должен быть равным 56 м.

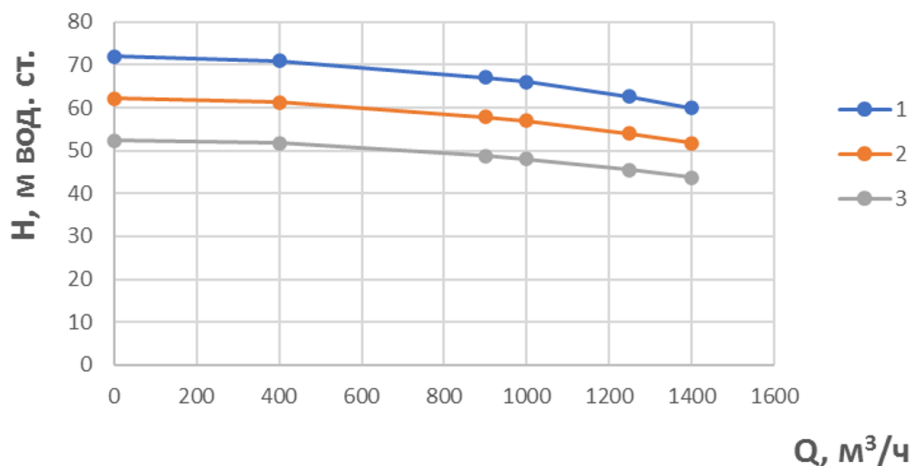
При работе дождевальных машин с движением под уклон при развороте на  $\theta = 180^\circ$  напор на насосной станции с учетом особенностей ДМ № 3 должен составлять:

$$H_{\text{НС}} = H_{\Gamma} + h_{\text{О}} - h_{\text{К}} + h_{\Pi} = 31 + 6 - 6 + 17 = 48 \text{ м.}$$

Для ДМ № 1, 2 и 4 при передвижении машины под уклон напор на НС должен составлять соответственно 36; 37 и 49 м. Диктующей машиной при работе под уклон является ДМ № 4, а напор на насосной станции должен быть равным 49 м.

При работе дождевальных машин после разворота на  $\theta = 90^\circ$  и  $270^\circ$  напор на насосной станции имеет промежуточные значения. При развороте на  $\theta = 90^\circ$  напор на насосной станции с учетом особенностей расположения ДМ № 1, 2, 3 и 4 составляет 42; 41; 55 и 55 м. При развороте машин на  $270^\circ$  напор на насосной станции с учетом особенностей расположения ДМ № 1, 2, 3 и 4 составляет 41; 43; 50 и 54 м.

В процессе работы насоса Д1250-63 с частотой вращения 1500 об/мин при расходе воды  $240,8 \text{ л/с} = 867 \text{ м}^3/\text{ч}$  давление на насосе составляет 0,72 МПа, а благодаря дросселированию задвижкой снижается до 0,6 МПа. Электродвигатель при этом потребляет 210 кВт, а два насоса 420 кВт (рисунок 2, таблица 2). При работе дождевальных машин с движением на подъем необходимо снижение оборотов насоса при помощи частотного регулирования до 1340 об/мин, напор на выходе НС снижается до 56 м, а потребление электроэнергии уменьшается до 150 кВт. Два насоса потребляют 300 кВт.



1 – 1500 об/мин; 2 – 1340 об/мин; 3 – 1250 об/мин  
 1 – 1500 г/мин; 2 – 1340 г/мин; 3 – 1250 г/мин

**Рисунок 2 – Напор ( $H$ ) на выходе насоса Д1250-63 в зависимости от расхода воды ( $Q$ ) и частоты вращения**

**Figure 2 – Pressure ( $H$ ) at pump outlet D1250-63 depending on water flow ( $Q$ ) and rotation rate**

**Таблица 2 – Напор на выходе насоса ( $H_{НС}$ ) и потребляемая мощность электродвигателя ( $N$ ) на НС-46п в зависимости от частоты вращения насоса Д1250-63**

**Table 2 – Pressure at the pump outlet ( $H_{NS}$ ) and power consumption of the electric motor ( $N$ ) on the NS-46p depending on the pump speed D1250-63**

Характеристика насосного агрегата	Частота вращения насоса ( $n$ ) в зависимости от рельефа и угла поворота машины ( $\theta$ )				
	Постоянная	Подъем, $\theta = 0^\circ$	$\theta = 90^\circ$	Уклон, $\theta = 180^\circ$	$\theta = 270^\circ$
$n$ , об/мин	1500	1340	1330	1250	1315
$H_{НС}$ , м вод. ст.	70	56	55	49	54
$N$ , кВт	210	150	145	122	142

При работе дождевальных машин с движением под уклон (при развороте на  $\theta = 180^\circ$ ) необходимо снижение оборотов насоса при помощи частотного регулирования до 1250 об/мин, при этом напор на выходе НС уменьшается до 48–49 м, а потребление электроэнергии до 122 кВт. Два насоса потребляют 244 кВт. При повороте ДМ на  $\theta = 90^\circ$  и  $270^\circ$  напор на насосной станции снижается до 55 и 54 м, частота вращения насоса до 1330 и 1315 об/мин, а потребляемая мощность до 145 и 142 кВт.

При норме полива ДМ Zimmatic 300 м<sup>3</sup>/га время полива (полного обо-

рота машины на  $360^\circ$ ) составляет 80 ч, в первой четверти круга (от 0 до  $90^\circ$ ) потребляемая мощность снижается на величину:  $210 - (150 + 145) : 2 = 62,5$  кВт, а за 20 ч полива экономия электроэнергии составляет 1250 кВт·ч. Экономия электроэнергии на остальных четвертях круга составляет 1530; 1560 и 1280 кВт·ч. Суммарное сокращение потребления электроэнергии за оборот машины на одном насосном агрегате составляет 5620 кВт·ч, а на двух агрегатах – 11240 кВт·ч. Средняя потребляемая мощность электродвигателя за один оборот снижается с 210 до 139,7 кВт, или на 33,4 %. При средней оросительной норме за поливной сезон  $2100 \text{ м}^3/\text{га}$  время работы насосной станции равно 560 ч, а экономия электроэнергии составляет 78680 кВт·ч на сумму более 653,0 тыс. рублей.

Частотное регулирование на насосной станции также обеспечивает плавный пуск и остановку агрегатов и исключает гидроудары на закрытой оросительной сети.

### **Выводы**

1 Использование частотного регулирования оборотов на насосной станции обеспечивает высокую эффективность при подаче оросительной воды на полив. Удельные затраты электроэнергии на НС-10п на подачу  $1000 \text{ м}^3$  воды находятся на низком уровне 165–188 кВт·ч и не зависят от числа одновременно работающих машин (от 1 до 8 ед.), а давление на выходе насоса поддерживается в оптимальных пределах (0,45–0,52 МПа). На НС-22п при изменении частоты тока с 50 до 39 Гц на электродвигателе мощностью 315 кВт потребление тока уменьшается с 485 до 198 А, а потребляемая мощность снижается с 285 до 77 кВт. Удельные затраты электроэнергии на подачу  $1000 \text{ м}^3$  воды уменьшаются в 2–2,5 раза по сравнению с высоконапорным насосом Д1250-125.

2 Обоснована технология полива на склоновых агрофонах, при которой используется энергия геодезического подпора для уменьшения напора на выходе насосной станции при работе машин с движением под уклон.

Технология полива включает одновременную работу всей группы дождевальных машин с движением на подъем, а в дальнейшем все машины производят полив при движении под уклон.

3 При расчете требуемого напора на выходе насосной станции в зависимости от уклона необходимо определить лимитирующую наиболее удаленную дождевальную машину, при этом учитываются напор на гидранте дождевальной машины, геодезическая величина подъема неподвижной опоры и концевой части машины относительно неподвижной опоры, а также потери напора по длине подводящего трубопровода. Для НС-46п максимальный напор на насосной станции при работе машин с движением на подъем составляет 56 м при снижении оборотов насоса до 1340 об/мин, а минимальное значение напора при работе машин с движением под уклон равно 49 м при снижении оборотов до 1250 об/мин. Средняя потребляемая мощность электродвигателя за один оборот машины уменьшается с 210 до 139,7 кВт, или на 33,4 %. При средней оросительной норме за сезон 2100 м<sup>3</sup>/га экономия электроэнергии составляет 78680 кВт·ч на сумму более 653,0 тыс. рублей.

### **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. М.: Росинформротех, 2020. 304 с. EDN: AVWQXO.
2. Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии в мелиоративном комплексе: науч.-практ. изд. / Н. Ф. Рыжко, С. Н. Рыжко, Е. С. Смирнов, Е. А. Шишенин, М. Г. Загоруйко. М.: Росинформротех, 2024. 120 с.
3. Евсеев Е. Ю. Повышение эффективности применения многофункциональной машины на склоновых площадях // Нива Поволжья. 2023. № 2(66). DOI: 10.36461/NP.2023.66.2.005. EDN: JDPPNM.
4. Евсеев Е. Ю., Рязанцев А. И. Повышение производительности многофункциональной машины кругового действия на склонах // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2023. Т. 15, № 4. С. 121–127. DOI: 10.36508/RSATU.2023.92.77.016. EDN: VPSSQO.
5. Energy efficiency of a center pivot irrigation system / B. D. S. Barbosa, A. Colombo, J. G. N. de Souza, V. B. da S. Baptista, A. C. S. de Araújo // Engenharia Agrícola, Jaboticabal. 2018, Mar./Apr. Vol. 38, № 2. P. 284–292. DOI: 10.1590/1809-4430-ENG.AGRIC.V38N2P284-292/2018.

6. Gilley J. R., Mielke L. N., Wilhelm W. W. An experimental center-pivot irrigation system for reduced energy crop production studies // Transactions of the ASAE. 1983. Vol. 26, iss. 5. P. 1375–1379. DOI: 10.13031/2013.34135.

7. 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. 6–10. DOI: 10.32962/0235-2524-2022-3-6-10. EDN: DJWYGY.

8. Энергоемкость подачи воды насосными станциями при реконструкции орошаемых участков с использованием низконапорных дождевальных машин / Н. Ф. Рыжко, Ф. К. Абдразаков, С. Н. Рыжко, Е. С. Смирнов, Е. А. Шишенин, С. А. Хорин // Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 1. С. 43–59. DOI: 10.31774/2712-9357-2025-15-1-43-59. EDN: NHPEUC.

9. Лезнов Б. С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. М.: Машиностроение, 2013. 176 с.

10. Еловик В. Л., Войтов И. В., Седлухо Ю. П. Расчет и анализ режимов работы центробежных насосов с частотно-регулируемым электроприводом. Минск: БГТУ, 2022. 110 с. EDN: NXDWTG.

## 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. izd.* [Land Reclamation Complex of the Russian Federation: information publ.]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 304 p., EDN: AVWQXO. (In Russian).

2. Ryzhko N.F., Ryzhko S.N., Smirnov E.S., Shishenin E.A., Zagoruiko M.G., 2024. *Energoeffektivnye i resursosberegayushchie tekhnologii v meliorativnom komplekse: nauch.-prakt. izd.* [Energy-Efficient and Resource-Saving Technologies in the Land Reclamation Complex: scientific and practical publ.]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 120 p. (In Russian).

3. Evseev E.Yu., 2023. *Povyshenie effektivnosti primeneniya mnogofunktional'noy mashiny na sklonovykh ploshchadyakh* [Improving the performance of a multifunctional machine on slopes]. *Niva Povolzhya* [Volga Region Farmland], no. 2(66), DOI: 10.36461/NP.2023.66.2.005, EDN: JDPPNM. (In Russian).

4. Evseev E.Yu., Ryazantsev A.I., 2023. *Povyshenie proizvoditel'nosti mnogofunktional'noy mashiny krugovogo deystviya na sklonakh* [Improving the productivity of a multifunctional circular action machine on slopes]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P. A. Kostycheva* [Bulletin of Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev], vol. 15, no. 4, pp. 121-127, DOI: 10.36508/RSATU.2023.92.77.016, EDN: VPSSQO. (In Russian).

5. Barbosa B.D.S., Colombo A., de Souza J.G.N., da S. Baptista V.B., de Araújo A.C.S., 2018. Energy efficiency of a center pivot irrigation system. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, Mar./Apr., vol. 38, no. 2, pp. 284-292, DOI: 10.1590/1809-4430-ENG.AGRIC.V38N2P284-292/2018.

6. Gilley J.R., Mielke L.N., Wilhelm W.W., 1983. An experimental center-pivot irrigation system for reduced energy crop production studies. *Transactions of the ASAE*, vol. 26, iss. 5, pp. 1375-1379, DOI: 10.13031/2013.34135.

7. Ryazantsev A.I., Turapin S.S., Evseev E.Yu., Antipov A.O., 2022. *Obosnovanie regulirovaniya rashkoda dozhdevalnykh apparatov shirokozakhvatnykh mashin krugovogo deystviya* [Justification of the regulation of the flow of sprinklers of wide-reach circular machines]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 3, pp. 6-10, DOI: 10.32962/0235-2524-2022-3-6-10, EDN: DJWYGY. (In Russian).

8. Ryzhko N.F., Abdrazakov F.K., Ryzhko S.N., Smirnov E.S., Shishenin E.A., Khorin S.A., 2025. *Energoemkost podachi vody nasosnymi stantsiyami pri rekonstruktsii oroshaemykh uchastkov s ispolzovaniem nizkonapornykh dozhdevalnykh mashin* [Energy intensity of water supply by pumping stations during reconstruction of irrigated sites using low-pressure sprinkling machines]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 15, no. 1, pp. 43-59, DOI: 10.31774/2712-9357-2025-15-1-43-59, EDN: NHPEUC. (In Russian).

9. Leznov B.S., 2013. *Chastotno-reguliruemyy elektroprivod nasosnykh ustanovok* [Frequency-Controlled Electric Drive of Pumping Units]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 176 p. (In Russian).

10. Yelovik V.L., Voitov I.V., Sedlukho Yu.P., 2022. *Raschet i analiz rezhimov raboty tsentrobeznykh nasosov s chastotno-reguliruemym elektroprivodom* [Calculation and Analysis of Operating Modes of Centrifugal Pumps with a Frequency-Controlled Electric Drive]. Minsk, BSTU, 110 p., EDN: NXDWTG. (In Russian).

---

### **Информация об авторах**

**Н. Ф. Рыжко** – главный научный сотрудник, доктор технических наук, Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации (413123, Саратовская обл., Энгельский р-н, р. п. Приволжский, ул. Гагарина, д. 1), ryzhonf@bk.ru, ORCID: 0009-0006-6352-8832;

**С. Н. Рыжко** – научный сотрудник, кандидат технических наук, Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации (413123, Саратовская обл., Энгельский р-н, р. п. Приволжский, ул. Гагарина, д. 1), ryzhonf@bk.ru, ORCID: 0009-0008-4575-5788;

**Е. С. Смирнов** – старший научный сотрудник, кандидат технических наук, Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации (413123, Саратовская обл., Энгельский р-н, р. п. Приволжский, ул. Гагарина, д. 1), smirnovj47@mail.ru, ORCID: 0009-0002-6499-8378;

**Д. А. Колганов** – доцент, кандидат технических наук, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (410012, г. Саратов, пр-т им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3), dmi.kolg@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9217-8989;

**Ю. Н. Грепечук** – старший преподаватель, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (410012, г. Саратов, пр-т им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3), yuri@grepchuk.ru, SPIN-код: 4262-6181, AuthorID: 939738.

### **Information about the authors**

**N. F. Ryzhko** – Chief Researcher, Doctor of Technical Sciences, Volga Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation (413123, Saratov region, Engels district, Privolzhsky settlement, Gagarin st., 1), ryzhonf@bk.ru, ORCID: 0009-0006-6352-8832;

**S. N. Ryzhko** – Researcher, Candidate of Technical Sciences, Volga Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation (413123, Saratov region, Engels district, Privolzhsky settlement, Gagarin st., 1), ryzhonf@bk.ru, ORCID: 0009-0008-4575-5788;

**E. S. Smirnov** – Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences, Volga Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation (413123, Saratov region, Engels district, Privolzhsky settlement, Gagarin st., 1), smirnovj47@mail.ru, ORCID: 0009-0002-6499-8378;

**D. A. Kolganov** – Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (410012, Saratov, Pyotr Stolypin ave., bldg. 4, str. 3), dmi.kolg@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9217-8989;

**Yu. N. Grepechuk** – Senior Lecturer, Saratov State University of Genetics, Biotechnology

and Engineering named after N. I. Vavilov (410012, Saratov, Pyotr Stolypin ave., bldg. 4, str. 3), yuri@grepechuk.ru, SPIN-code: 4262-6181, AuthorID: 939738.

*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 10.03.2026; одобрена после рецензирования 08.05.2026;  
принята к публикации 18.06.2026.  
The article was submitted 10.03.2026; approved after reviewing 08.05.2026; accepted for  
publication 18.06.2026.*