

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.347

doi: 10.31774/2712-9357-2025-15-1-43-59

Энергоемкость подачи воды насосными станциями при реконструкции орошаемых участков с использованием низконапорных дождевальных машин

Николай Федорович Рыжко¹, Фярид Кинжаевич Абдразаков²,
Сергей Николаевич Рыжко³, Евгений Stanisлавович Смирнов⁴,
Евгений Александрович Шишенин⁵, Сергей Александрович Хорин⁶

^{1, 3, 4, 5, 6}Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации,
Энгельс, Российская Федерация

²Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии
имени Н. И. Вавилова, Саратов, Российская Федерация

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

²abdrzakov.fk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3247-5257>

³volzniigim@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0006-6352-8832>

⁴volzniigim@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0002-6499-8378>

⁵volzniigim@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0007-2310-9104>

⁶horin555@yandex.ru

Аннотация. Цель: оценка энергоемкости подачи воды насосными станциями при частичной и полной реконструкции орошаемого участка, уточнение методики расчета оптимальной энергоемкости подачи воды насосной станцией для повышения эффективности орошения. **Материалы и методика.** Для оценки эффективности орошения и энергоемкости полива при реконструкции необходимо проводить гидравлические и энергетические расчеты. Уточнена методика оценки энергоемкости подачи воды насосной станцией, которая позволила определить направления совершенствования орошаемых участков. **Результаты.** Анализ орошаемых участков в Саратовской области показал, что можно выделить три основные их группы. В первую входят орошаемые участки, где реконструкция не проводилась и эксплуатируются высоконапорные насосы и дождевальные машины «Фрегат». На подачу 1000 куб. м воды здесь тратятся значительные объемы энергии – 475–668 кВт·ч, зачастую нельзя включить проектное число работающих машин одновременно. Во вторую группу входят орошаемые участки с частичной реконструкцией, где используются высоконапорные насосы и проведена модернизация машин на низконапорный режим работы или замена низконапорными электрифицированными машинами. При этом затраты на полив уменьшаются до 266–510 кВт·ч, т. е. в 1,1–2,2 раза. В третью группу входят орошаемые участки, где проведена полная реконструкция с внедрением энергосберегающих насосов и низконапорных машин, а затраты на полив уменьшены до 174–210 кВт·ч, т. е. в 1,8–3,2 раза. Но и на таких орошаемых участках выявлены ошибки при проектировании и эксплуатации. **Выводы.** Для снижения энергетических затрат на полив необходимо проводить полную реконструкцию орошаемых участков с внедрением низконапорных дождевальных машин и энергосберегающих и разменных насосов, а также обеспечить их работу в оптимальном режиме. Расчеты по усовершенствованной методике оценки энергоемкости полива позволят выбрать оптимальные параметры насосов, дождевальных машин и труб закрытой оросительной сети.

Ключевые слова: низконапорная дождевальная машина, энергосберегающий насос, потребление электроэнергии на полив, методика расчета энергоемкости полива, частичная и полная реконструкция орошаемого участка, оптимальный режим работы

Для цитирования: 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. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-1-43-59>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Energy intensity of water supply by pumping stations during reconstruction of irrigated sites using low-pressure sprinkling machines

Nikolay F. Ryzhko¹, Fyrid K. Abdrazakov², Sergey N. Ryzhko³,
Evgeny S. Smirnov⁴, Evgeny A. Shishenin⁵, Sergey A. Horin⁶

^{1, 3, 4, 5, 6}Volga Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Engels, Russian Federation

²Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russian Federation

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

²abdrzakov.fk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3247-5257>

³volzniigim@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0006-6352-8832>

⁴volzniigim@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0002-6499-8378>

⁵volzniigim@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0007-2310-9104>

⁶horin555@yandex.ru

Abstract. Purpose: to assess the energy intensity of water supply by pumping stations during partial and complete reconstruction of an irrigated area, to refine the methodology for calculating the optimal energy intensity of water supply by a pumping station to improve irrigation efficiency. **Materials and methods.** To assess the efficiency of irrigation and the energy intensity of irrigation during reconstruction, it is necessary to carry out hydraulic and energy calculations. The methodology for assessing the energy intensity of water supply by a pumping station has been refined, which made it possible to determine the areas for improving irrigated sites. **Results.** The analysis of irrigated areas in Saratov region showed that three main groups can be distinguished. The first one includes irrigated areas where reconstruction was not carried out and high-pressure pumps and Fregat sprinkler machines are used. For supplying 1000 cub. m of water here, significant amounts of energy are spent – 475–668 kW·h, it is often impossible to include the design number of operating machines simultaneously. The second group includes irrigated sites with partial reconstruction, where high-pressure pumps are used and the machines have been modernized for low-pressure operation or replaced with low-pressure electrified machines. In this case, irrigation costs are reduced to 266–510 kW·h, i. e. by 1.1–2.2 times. The third group includes irrigated areas where a complete reconstruction has been carried out with the introduction of energy-saving pumps and low-pressure machines, and irrigation costs have been reduced to 174–210 kW·h, i.e. by 1.8–3.2 times. But even in such irrigated areas, errors in design and operation were revealed. **Conclusions.** To reduce energy costs for irrigation, it is necessary to carry out a complete reconstruction of irrigated areas with the introduction of low-pressure sprinkler machines and energy-saving and variable pumps, as well as to ensure their operation in the optimal mode. Calculations using an improved method for assessing the energy intensity of irrigation will allow you to select the optimal parameters of pumps, sprinkler machines and pipes of a closed irrigation network.

Keywords: low-pressure sprinkler machine, energy-saving pump, electricity consumption for irrigation, method for calculating the energy intensity of irrigation, partial and complete reconstruction of an irrigated area, optimal operating mode

For citation: Ryzhko N. F., Abdrazakov F. K., Ryzhko S. N., Smirnov E. S., Shishenin E. A., Horin S. A. Energy intensity of water supply by pumping stations during reconstruction of irrigated sites using low-pressure sprinkling machines. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2025;15(1):43–59. (In Russ.). [https://doi.org/ 10.31774/2712-9357-2025-15-1-43-59](https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-1-43-59).

Введение. Орошение является одним из наиболее эффективных приемов получения высоких и стабильных урожаев сельскохозяйственных культур независимо от погодных условий [1]. В настоящее время в Саратовской области проводятся работы по реконструкции, восстановлению и строительству новых орошаемых участков [2]. Большой объем работ по реконструкции и капитальному ремонту насосных станций мелиоративного комплекса проводит ФГБУ «Саратовмелиоводхоз». Активную позицию благодаря государственным субсидиям занимают сельхозтоваропроизводители, которые проводят реконструкцию и строительство новых орошаемых участков. За последние годы значительно увеличилась доля электрифицированных низконапорных дождевальных машин (ДМ) российского и иностранного производства. Число многоопорных ДМ в Саратовской области (2022 г.) увеличилось до 94,7 %, и они поливают до 97,8 % орошаемых земель [2].

Эффективная работа орошаемых участков во многом определяется затратами электроэнергии на полив. Значительные энергозатраты на полив вызваны использованием большого количества высокоэнергоемких насосов, подающих воду на высоконапорные машины [3–6], и недостаточной экономией при частичной реконструкции орошаемых участков, когда модернизируются только существующие машины или устанавливаются новые низконапорные [2]. Также даже при полной реконструкции орошаемых участков наблюдаются ошибки при проектировании и эксплуатации, поэтому снижение энергоемкости полива является актуальной задачей.

Материалы и методы. Для снижения потребления электроэнергии на полив разработаны в ВолжНИИГиМ и внедрены на орошаемых участ-

ках Энгельсской, Приволжской и Комсомольской оросительных систем низконапорные ДМ «Фрегат», проведена модернизация электрифицированных машин [2, 7, 8]. При оценке работы орошаемых участков учитывались: время работы насосных агрегатов при поливе участка и за сезон в целом; затраты электроэнергии на проведение поливов; объем воды, поданной насосной станцией (НС) [9, 10].

Удельное потребление электроэнергии на подачу 1000 м^3 воды (N_y) определялось потребляемой электроэнергией (N , кВт·ч) и расходом воды насосной станции ($Q_{\text{нс}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$). Для расчета использовалась формула, кВт·ч/ 1000 м^3 :

$$N_y = \frac{1000 \cdot N}{Q_{\text{нс}}}. \quad (1)$$

Исследования работы ДМ выполняли в соответствии с требованиями СТО АИСТ 11.1-2010¹.

Для оценки работ по снижению потребления электроэнергии необходимо проводить гидравлические расчеты режима работы орошаемого участка и выбор оптимальных его параметров. Алгоритм и схема расчета показаны на рисунке 1. Исходные характеристики орошаемого участка включают: площадь полива участка орошения (S , га); число машин ($Ч$, шт.); длины машины (L_i , м) и площади полива ДМ (S_i), а также схему их размещения. Учитывая набор сельскохозяйственных культур, почвенно-рельефные характеристики, величину уровня грунтовых вод (УГВ), а также климатические характеристики зоны, определяем гидромодуль (g , л/(с·га)) орошаемого участка [1, 2, 9]:

$$g = \frac{a \cdot m}{86,4 \cdot t}, \quad (2)$$

¹СТО АИСТ 11.1-2010. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей. Введ. 2011-04-15. М., 2012. 53 с.

где a – процент площади, занимаемый культурой в севообороте;

m – норма полива, $\text{м}^3/\text{га}$;

t – время полива орошаемого участка, сут.

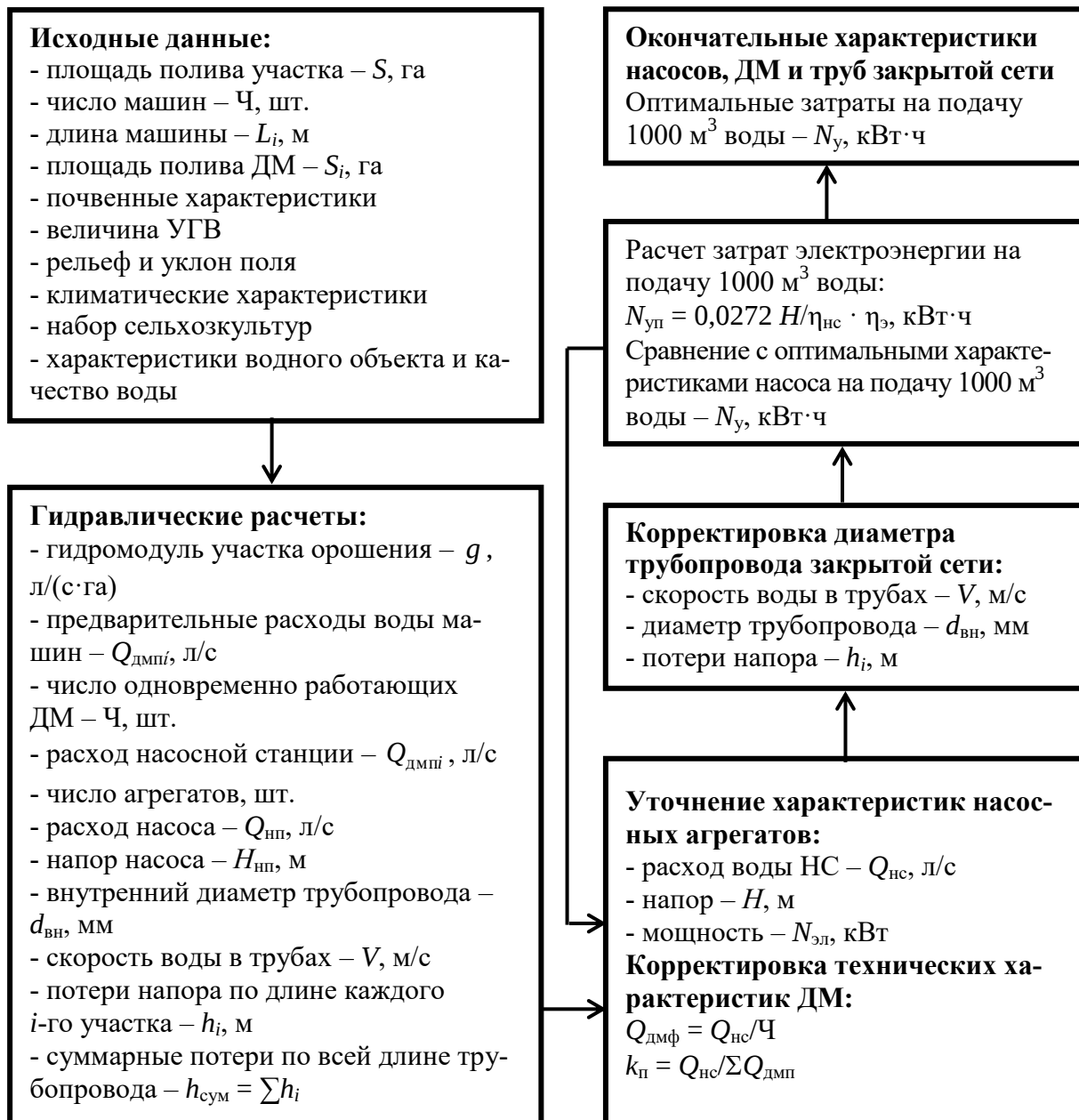


Рисунок 1 – Алгоритм расчета оптимальных технологических параметров насосных агрегатов и многоопорных дождевальных машин для снижения потребления электроэнергии на полив орошаемого участка

Figure 1 – Algorithm for calculating the optimal technological parameters of pumping units and multitower sprinkling machines to reduce electricity consumption for watering an irrigated area

Исходя из площади полива ДМ (S_i), проводим расчет предварительных характеристик ($Q_{дмп\ i}$ – расход воды, л/с; $P_{п\ i}$ – давление на входе машины):

$$Q_{дмп\ i} = g \cdot S_i, \quad (3)$$

где S_i – площадь полива i -й машины, га.

Определяем оптимальное число одновременно работающих машин:

- 1-й вариант – одновременно работают все ДМ (небольшой участок с 4–6 ДМ);
- 2-й вариант – полив орошаемого участка выполняется в два этапа (участок с 10–20 ДМ). При этом одновременно работает 50 % машин от общего числа.

Далее определяем предварительный расход воды насосной станции как сумму предварительных расходов воды одновременно работающих машин ($Q_{нсп} = \sum Q_{дмп\ i}$), делаем предварительный выбор насосов по расходу воды и вычисляем их количество.

Учитывая характеристики трассы прокладки подземного трубопровода, определяем его диаметр на каждом участке трубопровода из условий расхода воды (q_i) и допустимой скорости воды в нем (V):

$$V = \frac{10 \cdot q_i}{0,785 \cdot d_{вн}^2}, \quad (4)$$

где q_i – расход воды на i -м участке трубопровода, л/с;

$d_{вн}$ – внутренний диаметр трубопровода, мм.

Принимая по сортаменту диаметр трубопровода и учитывая его длину, определяем потери напора по длине каждого i -го участка стального (h_{ci}) или полиэтиленового ($h_{п\ i}$) трубопровода по формулам Ф. И. Шевелева:

$$h_{ci} = 0,00107 \cdot l_i \frac{V_c^2}{d_{вн}^{1,3}}, \quad (5)$$

$$h_{\Pi i} = 0,000685 \cdot l_i \frac{V_{\Pi}^{1,774}}{d_{\text{вн}}^{1,226}}. \quad (6)$$

где l_i – длина трубопровода, м;

V_c – скорость воды в стальном трубопроводе, м/с;

V_{Π} – скорость воды в полиэтиленовом трубопроводе, м/с.

Определяем суммарные потери по всей длине трубопровода ($h_{\text{сум}} = \sum h_i$), а с учетом напора концевой машины ($H_{\text{дм}}$) и геодезической характеристики гидранта ($H_{\text{геод}}$) вычисляем предварительное значение напора на выходе насосной станции ($H_{\text{вхп}}$) по формуле:

$$H_{\text{вхп}} = H_{\text{дм}} + h_{\text{сум}} + H_{\text{геод}}. \quad (7)$$

Зная предварительные значения расхода воды насосной станции и напор на ее выходе, определяем по каталогу насосный агрегат с близкими характеристиками (фактический расход воды и рабочий напор). Устанавливаем предварительные значения удельных затрат ($N_{\text{уп}}$) на подачу 1000 м^3 воды по формуле К. П. Вишневого (1990 г.), кВт·ч/ 1000 м^3 :

$$N_{\text{уп}} = 0,0272 \frac{H}{\eta_{\text{нс}} \cdot \eta_{\text{э}}}. \quad (8)$$

где $\eta_{\text{нс}}$ и $\eta_{\text{э}}$ – КПД насоса и электродвигателя.

Так как во многих случаях паспортные и предварительные характеристики расхода насоса имеют различные величины, то необходимо провести корректировку расхода воды ДМ. Если все машины имеют одинаковые площади полива, то фактический расход воды ($Q_{\text{дмф}}$) будет равен:

$$Q_{\text{дмф}} = \frac{Q_{\text{нс}}}{\text{Ч}}. \quad (9)$$

Если длины машин и предварительные их расходы воды имеют различные значения, то фактический расход каждой машины вычисляем посредством переводного коэффициента (k_{Π}):

$$k_{\Pi} = \frac{Q_{\text{нс}}}{\sum Q_{\text{дмп}}}. \quad (10)$$

С учетом фактического расхода воды ДМ ($Q_{\text{дмф}}$) устанавливаем требуемый напор на входе каждой машины и далее проводим уточненные расчеты потерь напора и фактического напора на выходе насосной станции. При этом уточняются окончательные значения удельных затрат на подачу 1000 м^3 воды, которые сравниваются с минимальными значениями для насоса данного типа.

Особенность данного перечня работ и расчета в том, что характеристики ДМ и трубопровода закрытой сети подбираются под оптимальный режим работы насосных агрегатов при минимизации удельных затрат на подачу 1000 м^3 воды.

Аналогичные расчеты необходимо проводить не только на создаваемых, но и на существующих орошаемых участках, на которых проводится реконструкция с заменой или модернизацией ДМ, насосных агрегатов и трубопроводов закрытой сети.

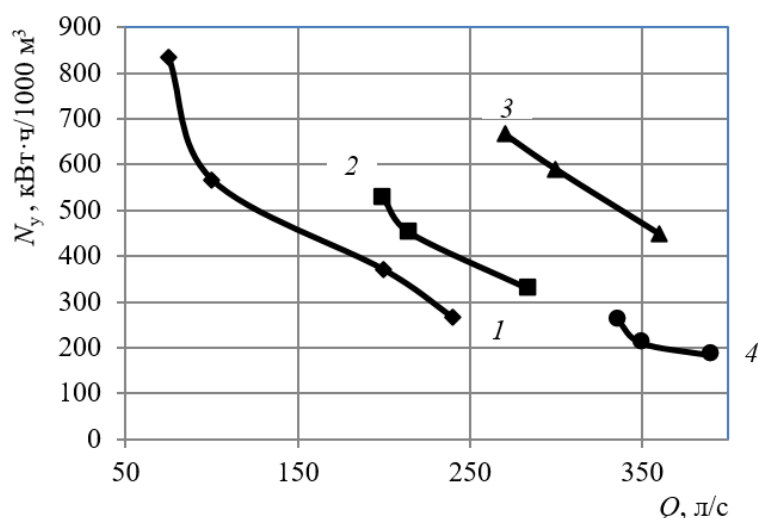
Результаты и обсуждения. Исследования показали, что на орошаемых участках, где нет реконструкции и используются высоконапорные насосы типа Д1250-125 с потреблением электроэнергии за 1 ч $N = 630 \text{ кВт}$ (НС-А, НС-Роса), которые подают воду на высоконапорные ДМ «Фрегат», давление на насосной станции поддерживается в пределах $P_{\text{нс}} = 0,85 \dots 1,1 \text{ МПа}$. Число одновременно работающих машин от одного насоса здесь небольшое, 2–3 ед. Большее число машин подключить нельзя, так как не хватает давления на входе для их передвижения. На НС-А (ЗАО ПЗ «Трудовое») при работе одного насоса и увеличении числа работающих машин от одной до трех потребление электроэнергии за 1 ч работы увеличивается с 360 до 418 и 650 кВт, а удельные затраты на подачу 1000 м^3 воды (N_y) высоки и несколько снижаются с 910 до 668 кВт·ч (таблица 1, рисунок 2).

При работе двух насосов максимальное число работающих машин увеличивается до 6 ед., а на подачу 1000 м^3 воды затраты электроэнергии составляют 694–589 кВт·ч.

Таблица 1 – Потребление электроэнергии за 1 ч (N) и удельное потребление на подачу 1000 м^3 воды (N_y) на НС-А (реконструкция не проведена), в зависимости от числа работающих насосов и дождевальных машин

Table 1 – Electricity consumption per 1 h (N) and specific consumption for supplying 1000 м^3 of water (N_y) at NS-A (reconstruction not carried out), depending on the number of operating pumps and sprinkling machines

Марка насоса	Число работающих		$P_{\text{нс}}$, МПа	Q , л/с	N , кВт	N_y , кВт·ч
	насосов	ДМ				
Д1250-125	1	1	1,1	90	295	910
	1	2	1,0	180	428	669
	1	3	0,85	270	650	668
	2	4	1,0	300	750	694
	2	5	1,0	440	920	580
	2	6	0,85	540	1146	589



1 – 200Д90; 2 – 250-QVD570-54; 3 – Д1250-125; 4 – Д250-63

Рисунок 2 – Затраты электроэнергии на подачу 1000 м^3 воды (N_y) в зависимости от расхода воды и типа насоса
Figure 2 – Electricity costs for supplying 1000 м^3 of water (N_y) depending on water consumption and pump type

Недостатки таких орошаемых участков следующие: число одновременно работающих машин ниже оптимального, значительные энергозатраты на подачу каждой 1000 м^3 воды, увеличение времени полива орошаемо-

го участка, отсутствие возможности выдержать оптимальную влажность почвы для отдельных культур и большие общие затраты электроэнергии за поливной сезон.

Для снижения потребления электроэнергии на таких орошаемых участках необходимо провести модернизацию ДМ «Фрегат» на низконапорный режим работы или установку электрифицированных низконапорных машин и замену высоконапорных насосов Д1250-125 энергосберегающими (например, Д1250-63).

При частичной реконструкции орошаемого участка на НС № 2 в ООО «Наше дело» сотрудниками ВолжНИИГиМ внедрены низконапорные ДМ «Фрегат», которые работают при низком давлении 0,37–0,45 МПа [2, 5], при этом затраты электроэнергии уменьшены до 448 кВт·ч (на 41 %). До модернизации в 2015 г. два насосных агрегата Д1250-125 с электродвигателем мощностью 630 кВт обеспечивали полив только 7–8 высоконапорных ДМ «Фрегат», а после перевода машин на низкий напор в 2016 г. одновременный полив проводили уже 10 машин (таблица 2). Максимальный расход воды двух агрегатов увеличился с 600–630 до 680–720 л/с.

Данные о затратах электроэнергии по фидерам за июль 2024 г. по насосной станции № 4 Энгельсской оросительной системы показывают, что при работе одного насоса Д1250-125 на четыре и три ДМ «Фрегат» (01.07–02.07) затраты электроэнергии составили 626 и 522 кВт. Расход воды на четырех машинах равен: $4 \cdot 90 = 360 \text{ л/с} = 1296 \text{ м}^3/\text{ч}$, а на подачу 1000 м^3 воды затраты электроэнергии составили: $N_y = 626/1,296 = 483 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$. Расход воды на трех ДМ «Фрегат» равен: $3 \cdot 94 = 282 \text{ л/с} = 1015 \text{ м}^3/\text{ч}$, а на подачу 1000 м^3 воды затраты электроэнергии составили: $N_y = 522/1,015 = 514 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ (см. рисунок 2).

При работе одного насоса Д1250-125 на 5–6 ДМ «Каскад» (19.07) затраты электроэнергии составили 533 и 610 кВт. Расход воды на шести ДМ равен: $6 \cdot 64 = 384 \text{ л/с} = 1382 \text{ м}^3/\text{ч}$, а на подачу 1000 м^3 воды затраты элек-

троэнергии составили: $N_y = 610/1,296 = 441$ кВт·ч. Расход воды на пяти ДМ «Каскад» равен: $5 \cdot 65 = 325$ л/с = 1170 м³/ч, а на подачу 1000 м³ воды затраты электроэнергии составили: $N_y = 533/1,17 = 455$ кВт·ч.

Таблица 2 – Потребление электроэнергии за 1 ч работы насосной станции (N_{nc}) и удельное потребление на подачу 1000 м³ воды (N_y) в зависимости от марки насоса, давления (P_{nc}), расхода насосной станции (Q_{nc}), числа работающих насосов и дождевальных машин при частичной и полной реконструкции орошаемого участка

Table 2 – Electricity consumption for 1 h of operation of a pumping station (N_{nc}) and specific consumption for supplying 1000 м³ of water (N_y) depending on the pump brand, pressure (P_{nc}), pumping station flow rate (Q_{nc}), number of operating pumps and sprinkling machines during partial and complete reconstruction of an irrigated site

№ НС	Хозяйст- во	Марка насоса	Число работающих		P_{nc} , МПа	Q_{nc} , м ³ /ч	N_{nc} , кВт	N_y , кВт·ч/ 1000 м ³
			насосов	машин, шт. (марка)				
2п	ООО	Д1250-125	1	5 («Фрегат»)	0,85	1397	626	448
2п	«Наше Дело»		2	10 («Фрегат»)	0,85	2794	1252	448
4п	ООО «Наше Дело»	Д1250-125	1	4 («Фрегат»)	0,9	1296	626	483
4п			2	8 («Фрегат»)	0,9	2592	1080	417
4п			3	8 («Фрегат») +7 («Каскад»)	0,85	4204	1793	427
4а		Д1250-63*	3	14 ДМ	0,6	1995	840	241
42п	ЗАО ПЗ	QVD	1	5 (Valley)	0,8	1020	330	330
41п	«Трудо- вое»	Д1250-63*	1	5 (Zimmatic)	0,6	1404	280	200
		Д1250-63*	2	10 (Zimmatic)	0,6	2808	518	184
БКНС	ООО «Бере- зовское»	200Д90	1	3 («Фрегат»)	0,85	864	230	266
Примечание – * – на орошаемом участке проведена полная реконструкция.								

При работе двух насосов Д1250-125 на восемь ДМ «Фрегат» (01.07) затраты электроэнергии составили 1054–1119 кВт. Расход воды на восьми ДМ «Фрегат» равен: $8 \cdot 90 = 720$ л/с = 2592 м³/ч, а на подачу 1000 м³ воды затраты электроэнергии составили: $N_y = 1080/2,592 = 417$ кВт·ч.

При работе трех насосов Д1250-125 на шесть ДМ «Фрегат» и семь

ДМ «Каскад» 23.07 затраты электроэнергии составили 1793–1806 кВт. Расход воды на восьми ДМ «Фрегат» и семи ДМ «Каскад» равен: $8 \cdot 90 = 720 \text{ л/с} + 7 \cdot 64 = 448 \text{ л/с} = 1168 \text{ л/с} = 4204 \text{ м}^3/\text{ч}$, а на подачу 1000 м^3 воды затраты электроэнергии составили: $N_y = 1793/4,2 = 427 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$.

В процессе эксплуатации насосов Д1250-125 при полной нагрузке и использовании низконапорных ДМ «Каскад» и ДМ «Фрегат», работающих на пониженном напоре, затраты электроэнергии на подачу 1000 м^3 воды составляют 417–483 кВт·ч, что в 1,21–1,41 раза меньше, чем при поливе высоконапорными ДМ «Фрегат» на НС-А.

При частичной реконструкции орошаемого участка максимальное снижение N_y до 330 кВт·ч достигнуто на НС-42п при подаче воды насосом QVD с электродвигателем 400 кВт на пять ДМ Valley. На многих орошаемых участках, где проведена частичная реконструкция, необходимо завершить модернизацию ДМ на низкий напор и с учетом методики подобрать оптимальные параметры энергосберегающих насосов. В частности, расчеты показывают, что на НС-42п необходимо подключить ДМ Valley к имеющимся насосам Д1250-63. Это позволит снизить N_y с 330 до 200 кВт·ч (в 1,65 раза).

Если основные насосы имеют большой расход воды (270–350 л/с), а необходим полив только одной или двумя машинами, то для энергосбережения необходимо использовать возможность установки разменного насоса с расходом воды 60–120 л/с. Так, в ОПХ «Красный боец» при поливе одной или двумя 12-опорными ДМ «Фрегат» включали один или два разменных насоса CVE с расходом 60–65 л/с, а основной насос QVD с расходом воды 270–300 л/с включали при одновременном поливе 3–5 ДМ «Фрегат».

Частичная реконструкция орошаемого участка от БКНС в ООО «Березовское» при настройке ДМ «Фрегат» на низконапорный режим работы позволила обеспечить одновременный полив тремя машинами от одного

насоса 200Д90 вместо ранее поочередной работы одной и двух машин, при этом затраты снижены до 266 кВт·ч (см. таблицу 2, рисунок 2). Для экономии электроэнергии на полив на некоторых насосных станциях Энгельсской оросительной системы проведена замена высоконапорных насосов Д1250-125 и электродвигателей мощностью 630 кВт менее энергоемкими насосами 200Д90 и электродвигателями мощностью 250 кВт (ООО «СОТ», КФХ «Саитов Р»), при этом удельные затраты на полив в номинальном режиме могут быть снижены с 475 до 333 кВт·ч (на 42 %). Однако ошибки в выборе оптимального диаметра подземной трубы в ООО «СОТ» и полив только двумя ДМ пока не позволяют получить такой результат. В настоящее время совместно с ВолжНИИГиМ решается вопрос оптимизации работы этих насосных станций.

Полная реконструкция и внедрение низконапорных ДМ «Фрегат» конструкции ВолжНИИГиМ, ДМ Valley и малоэнергоёмких насосов Д1250-63 на ПНС-4а Комсомольской оросительной системы (на орошаемом участке 900 га поливают шестью ДМ «Фрегат» и восемью ДМ Valley) позволили значительно снизить затраты электроэнергии на подачу 1000 м^3 воды, до 241 кВт·ч (см. таблицу 2).

Аналогичные результаты получены при полной реконструкции на НС-41п, где один насос Д1250-63 обеспечивал полив пяти ДМ Zimmatic, а два насоса – 10 ДМ Zimmatic, при этом затраты на полив находились в пределах 184–200 кВт·ч (см. таблицу 2, рисунок 2).

Расчеты по уточненной методике показывают, что на отдельных насосных станциях допущены ошибки при реконструкции, так как расход воды ДМ не соответствовал оптимальному расходу насосных агрегатов. Из 31 насосной станции, находящейся в эксплуатации, на 20 необходимо совершенствование для снижения энергозатрат. Это имеет место на НС-2п (северный участок, где $N_y = 260 \text{ кВт·ч}$), НС-46п ($N_y = 340 \text{ кВт·ч}$), ПНС-5 (южный участок) и др. После перенастройки ДМ на требуемый расход во-

ды затраты на полив на этих насосных станциях могут быть снижены до 180–200 кВт·ч, т. е. в 1,3–1,7 раза.

Выводы

1 Исследованиями установлено, что максимальные энергетические затраты на подачу 1000 м³ воды 589–668 кВт·ч имеют место на орошаемых участках с высокоэнергоемкими насосами (Д1250-125, QVD и др.), подающими воду на высоконапорные ДМ «Фрегат». Для таких участков характерно меньшее, чем по проекту, число одновременно работающих машин, увеличение времени полива орошаемого участка.

2 Частичная реконструкция орошаемых участков при внедрении только низконапорных ДМ позволяет эксплуатировать высоконапорные насосы в оптимальном режиме, при этом увеличивается число одновременно работающих машин, снижается давление на выходе насосной станции и время полива орошаемого участка. Энергозатраты на полив снижаются незначительно – до 266–510 кВт·ч, т. е. в 1,1–2,2 раза. Для экономии электроэнергии на полив на насосных станциях с агрегатами с большим расходом воды необходимо применять разменные насосы с меньшим расходом воды, которые обеспечат подачу воды на одну или две машины.

3 Полная реконструкция орошаемых участков с внедрением энергосберегающих насосов и низконапорных машин позволяет максимально снизить затраты на полив, до 174–210 кВт·ч, т. е. в 1,8–3,2 раза. Исследованиями установлено, что необходимо продолжить работы по снижению энергозатрат на полив как на орошаемых участках с частичной реконструкцией, так и там, где проведена полная реконструкция, но допущены ошибки при проектировании и эксплуатации.

4 Уточнена методика оценки энергоемкости полива насосной станции, которая позволит определять направления совершенствования орошаемых участков при реконструкции и строительстве новых, а также выбирать оптимальные параметры насосов, ДМ и труб закрытой сети.

Список источников

1. Нагорый В. А. Основы водосбережения при орошении в Саратовской области. Саратов: СГАУ им. Н.И. Вавилова, 2001. 153 с.
2. Совершенствование дождевальных машин и устройств для мелиоративного комплекса: науч.-практ. изд. / Н. Ф. Рыжко, С. Н. Рыжко, Е. С. Смирнов, Е. А. Шишеннин, Б. Н. Бельтиков. М.: Росинформагротех, 2023. 124 с. EDN: GPEERW.
3. Эколого-энергетическое совершенствование многоопорных дождевальных машин / С. С. Турапин, Г. В. Ольгаренко, А. И. Рязанцев, А. О. Антипин // Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 3. С. 30–36. DOI: 10.32962/0235-2524-2021-1-30-36. EDN: NLQPHR.
4. Евсеев Е.Ю., Рязанцев А.И. К повышению производительности многоопорных дождевальных машин кругового действия на склоновых участках // Вестник мелиоративной науки. 2024. № 1.С. 18–22. EDN: BAVNNE.
5. 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.: Росинформагротех, 2020. 304 с. EDN: AVWQXO.
6. Журавлева Л. А., Анас А. Развитие материально-технической базы мелиоративного комплекса на инновационной основе // Природообустройство. 2024. № 2. С. 21–27. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-2-21-27. EDN: WLFXNK.
7. Рыжко Н. Ф. Совершенствование дождеобразующих устройств для многоопорных дождевальных машин. Саратов: Саратовский ГАУ, 2009. 176 с.
8. Electricity consumption decrease at pump stations during watering by multi-support sprinkling units / F. K. Abdrazakov, N. F. Ryzhko, S. N. Ryzhko, S. A. Horin, S. V. Botov // Journal of Fundamental and Applied Sciences. 2018. Vol. 10, № 6S. P. 1464–1481. DOI: 10.4314/jfas.v10i6s.106. EDN: YTODMA.
9. Ресурсосбережение при проектировании и эксплуатации широкозахватных дождевальных машин: монография / Л. А. Журавлева, А. С. Апатенко, Н. С. Севрюгина, О. М. Кузина. М.: РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2023. 237 с. EDN: NKJEPY.
10. Marjang N., Merkley G. P., Shaban M. Center-pivot uniformity analysis with variable container spacing // Irrigation Science. 2012. Vol. 30(2). P. 146–149. <https://doi.org/10.1007/s00271-011-0272-6>.

References

1. Nagory V.A., 2001. *Osnovy vodosberezheniya pri oroshenii v Saratovskoy oblasti* [Fundamentals of Water Conservation in Irrigation in Saratov Region]. Saratov, SSAU named after N. I. Vavilov, 153 p.(In Russian).
2. Ryzhko N.F., Ryzhko S.N., Smirnov E.S., Shishenin E.A., Beltikov B.N., 2023. *Sovershenstvovanie dozhdeval'nykh mashin i ustroystv dlya meliorativnogo kompleksa: nauchno-prakt. izd.* [Improvement of Sprinkling Machines and Devices for the Irrigation Complex: scientific and practical. ed.]. Moscow, Rosinformagrotech Publ., 124 p., EDN: GPEERW. (In Russian).
3. Turapin S.S., Olgarenko G.V., Ryazantsev A.I., Antipin A.O., 2021. *Ekologo-energeticheskoe sovershenstvovanie mnogoopornykh dozhdeval'nykh mashin* [Ecological and energy improvement of multitowered irrigation machines]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 3, pp. 30-36, DOI: 10.32962/0235-2524-2021-1-30-36, EDN: NLQPHR.(In Russian).
4. Evseev E.Yu., Ryazantsev A.I., 2024. *K povysheniyu proizvoditel'nosti mnogoopornykh dozhdeval'nykh mashin krugovogo deystviya na sklonovykh uchastkakh* [Improving the

productivity of a multitowered circular machine on slopes]. *Vestnik meliorativnoy nauki* [Bulletin of Reclamation Science], no. 1, pp. 18-22, EDN: BAVNNE. (In Russian).

5. 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.* [Reclamation Complex of the Russian Federation: information ed.]. Moscow, Rosinformagrotech Publ., 304 p., EDN: AVWQXO. (In Russian).

6. Zhuravleva L.A., Anas A., 2024. *Razvitie material'no-tekhnicheskoy bazy meliorativnogo kompleksa na innovatsionnoy osnove* [Development of the material and technical base of the reclamation complex on an innovative basis]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 2, pp. 21-27, DOI: 10.26897/1997-6011-2024-2-21-27, EDN: WLFXNK. (In Russian).

7. Ryzhko N.F., 2009. *Sovershenstvovanie dozhdobrazuyushchikh ustroystv dlya mnogoopornykh dozhdaval'nykh mashin* [Improvement of Rain-Forming Devices for Multitowered Irrigation Machines]. Saratov, Saratov State Agrarian University Publ., 176 p. (In Russian).

8. Abdrazakov F.K., Ryzhko N.F., Ryzhko S.N., Horin S.A., Botov S.V., 2018. Electricity consumption decrease at pump stations during watering by multi-support sprinkling units. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, vol. 10, no. 6S, pp. 1464-1481, DOI: 10.4314/jfas.v10i6s.106, EDN: YTODMA.

9. Zhuravleva L.A., Apatenko A.S., Sevryugina N.S., Kuzina O.M., 2023. *Resurso-sberezhenie pri proektirovanii i ekspluatatsii shirokozhvatnykh dozhdaval'nykh mashin: monografiya* [Resource-Saving in the Design and Operation of Wide-Coverage Sprinklers: monograph]. Moscow, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev, 237 p., EDN: NKJEPY. (In Russian).

10. Marjang N., Merkley G.P., Shaban M., 2012. Center-pivot uniformity analysis with variable container spacing. *Irrigation Science*, vol. 30(2), pp. 146-149, <https://doi.org/10.1007/s00271-011-0272-6>.

Информация об авторах

Н. Ф. Рыжко – заведующий отделом, главный научный сотрудник, доктор технических наук, Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации, Энгельс, Российская Федерация, ryzhkonf@bk.ru, ORCID: 0009-0006-6352-8832;

Ф. К. Абдразаков – профессор, доктор технических наук, Заслуженный деятель науки РФ, профессор, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, Саратов, Российская Федерация, abdrazakov.fk@mail.ru, ORCID: 0000-0003-3247-5257;

С. Н. Рыжко – научный сотрудник, кандидат технических наук, Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации, Энгельс, Российская Федерация, volzniigim@bk.ru, ORCID: 0009-0006-6352-8832;

Е. С. Смирнов – научный сотрудник, кандидат технических наук, Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации, Энгельс, Российская Федерация, volzniigim@bk.ru, ORCID: 0009-0002-6499-8378;

Е. А. Шишенин – младший научный сотрудник, Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации, Энгельс, Российская Федерация, volzniigim@bk.ru, ORCID: 0009-0007-2310-9104;

С. А. Хорин – младший научный сотрудник, Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации, Энгельс, Российская Федерация, horin555@yandex.ru.

Information about the authors

N. F. Ryzhko – Head of Department, Chief Researcher, Doctor of Technical Sciences, Volga

Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Engels, Russian Federation, ryzhkonf@bk.ru, ORCID: 0009-0006-6352-8832;

F. K. Abdrazakov – Professor, Doctor of Technical Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation, Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russian Federation, abdrakov.fk@mail.ru, ORCID: 0000-0003-3247-5257;

S. N. Ryzhko – Researcher, Candidate of Technical Sciences, Volga Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Engels, Russian Federation, volzniigim@bk.ru, ORCID: 0009-0006-6352-8832;

E. S. Smirnov – Researcher, Candidate of Technical Sciences, Volga Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Engels, Russian Federation, volzniigim@bk.ru, ORCID: 0009-0002-6499-8378;

E. A. Shishenin – Junior Researcher, Volga Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Engels, Russian Federation, volzniigim@bk.ru, ORCID: 0009-0007-2310-9104;

S. A. Horin – Junior Researcher, Volga Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Engels, Russian Federation, horin555@yandex.ru.

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 03.12.2024; одобрена после рецензирования 06.02.2025; принята к публикации 25.03.2025.

The article was submitted 03.12.2024; approved after reviewing 06.02.2025; accepted for publication 25.03.2025.