

## МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.624

doi: 10.31774/2712-9357-2022-12-2-68-83

### Методика оценки уровня мобильности мелиоративных насосных станций

Олег Владимирович Воеводин<sup>1</sup>, Андрей Андреевич Кириленко<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup>Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,  
Российская Федерация

<sup>1</sup>vovteh@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1098-2979>

<sup>2</sup>andreykirilenko96@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2868-3774>

**Аннотация. Цель:** разработать методические подходы, позволяющие произвести оценку уровня мобильности мелиоративных насосных станций, работающих совместно с дождевальными машинами через закрытую напорную сеть. **Материалы и методы.** В качестве методических подходов применялись логические приемы: анализ, синтез, сравнение, абстрагирование и обобщение. Для достижения поставленной цели использовались методы классифицирования, в частности, при классифицировании показателей, характеризующих мобильную насосную станцию, и уровней мобильности, функция желательности Харрингтона (в качестве универсального оценочного метода). **Результаты.** При разработке методики оценки уровня мобильности мелиоративных насосных станций решались следующие задачи: формирование понятийного аппарата в виде определения, позволяющего ограничить область оценки; определение состава сравниваемых показателей мобильности и интервалов их количественных значений; разработка классификации уровней мобильности насосных станций и привязка ее к интервалам шкалы Харрингтона; получение уравнения пересчета реальных значений в частные параметры; произведение расчета желательности  $d$  от частных значений и обобщенного коэффициента желательности  $D$ ; определение уровня мобильности мелиоративной насосной станции. На примере насосной станции с заданными параметрами была проведена апробация предложенного способа. В результате проведенных процедур получен обобщенный коэффициент желательности  $D = 0,92$ , что соответствует оценке «Очень хороший уровень мобильности». **Выводы.** Предложенная методика оценки уровня мобильности может применяться как при совершенствовании мелиоративных насосных станций, так и при выборе сельхозтоваропроизводителями имеющихся в продаже насосных станций с учетом конкретных условий работы. При необходимости методику оценки уровня мобильности можно корректировать, в частности изменять количество оцениваемых показателей, а также их интервалы количественных значений.

**Ключевые слова:** уровень мобильности, оценка, мелиоративная насосная станция, классифицирование, функция желательности Харрингтона

**Для цитирования:** Воеводин О. В., Кириленко А. А. Методика оценки уровня мобильности мелиоративных насосных станций // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 2. С. 68–83. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-2-68-83>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

### Methodology for assessing the mobility level of reclamation pumping stations



**Oleg V. Voyevodin<sup>1</sup>, Andrey A. Kirilenko<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,  
Russian Federation

<sup>1</sup>vovteh@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1098-2979>

<sup>2</sup>andreykirilenko96@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2868-3774>

**Abstract. Purpose:** to develop methodological approaches that allow assessing the mobility level of reclamation pumping stations operating in conjunction with sprinklers through a closed pressure network. **Materials and methods.** Logical techniques: analysis, synthesis, comparison, abstraction and generalization were used as methodological approaches. To achieve this goal, classification methods were used, namely, when classifying indicators characterizing a mobile pumping station and mobility levels, the Harrington desirability function (as a universal evaluation method) was used. **Results.** When developing a methodology for assessing the mobility level of reclamation pumping stations, the following tasks were solved: the formation of a conceptual apparatus in the form of a definition that allows limiting the area of assessment; determination of the composition of the compared mobility indicators and intervals of their quantitative values; development of a classification of mobility levels of pumping stations and linking it to the Harrington scale intervals; obtaining an equation for converting real values into private parameters; the product of the calculation of desirability  $d$  from private values and the generalized coefficient of desirability  $D$ ; determination of the mobility level of the reclamation pumping station. The proposed method was tested on the example of a pumping station with given parameters. As a result of the procedures performed, a generalized coefficient of desirability  $D = 0.92$  was obtained, which corresponds to the assessment “Very good level of mobility”. **Conclusions.** The proposed methodology for assessing the mobility level can be used both when improving reclamation pumping stations, and when choosing commercially available pumping stations by agricultural producers, taking into account specific operating conditions. If necessary, the methodology for assessing the mobility level can be adjusted, in particular, changing the number of estimated indicators, as well as their value intervals.

**Keywords:** mobility level, assessment, reclamation pumping station, classification, Harrington's desirability function

**For citation:** Voyevodin O. V., Kirilenko A. A. Methodology for assessing the mobility level of reclamation pumping stations. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2022;12(2):68–83. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-2-68-83>.

**Введение.** На современном этапе развития мелиоративного сектора ставится задача восстановления ранее утерянных площадей сельскохозяйственных угодий. Предварительные расчеты показывают: только восстановление орошаемых площадей в России до уровня 2005 г. под широкозахватными дождевальными машинами кругового действия потребует ввода в эксплуатацию более 800 тыс. га земель. В свою очередь восстановление мелиорируемых площадей потребует воспроизводства значительного числа насосных станций.

Насосные станции делятся на два типа: стационарные и мобильные

(передвижные) [1–4]. Специфика проведения гидромелиоративных работ подразумевает учет множества разносторонних показателей, которые впоследствии будут оказывать влияние на параметры насосной станции.

Стационарные и мобильные насосные станции имеют как свои достоинства, так и недостатки. Однако как научные коллективы, так и отдельные их представители на протяжении последних десятилетий склоняются к приоритетному использованию мобильных гидромелиоративных систем или комплексов [5–7] и отдельных их элементов. Нельзя обойти вниманием применение способов циклического и периодического орошения [8, 9] в аспекте эффективности, которая основывается на применении мобильных элементов оросительной системы.

При совершенствовании либо выборе оптимального варианта мобильной насосной станции требуется система оценок, позволяющая определять достигнутый уровень разработки. Из-за перечисленных выше обстоятельств целью исследований является: разработать методические подходы, позволяющие произвести оценку уровня мобильности мелиоративных насосных станций, работающих совместно с дождевальными машинами через закрытую напорную сеть.

**Материалы и методы.** В работе использовались труды российских ученых в области мелиорации земель сельскохозяйственного назначения и изучения мобильности систем. В качестве методических подходов применялись логические приемы: анализ, синтез, сравнение, абстрагирование и обобщение. Для достижения поставленной цели применялись методы классифицирования, в частности при классифицировании показателей, характеризующих мобильную насосную станцию и уровни мобильности [10], функция желательности Харрингтона (в качестве универсального оценочного метода) [11–13], а также экспертные оценки. При рассмотрении уровня импортозамещения использовался принцип, предложенный В. И. Варавиным и др. [14].

**Результаты и обсуждение.** На первом этапе разработки методики оценки сформулируем перечень решаемых задач:

- сформировать понятийный аппарат в виде определения, позволяющий ограничить область оценки;
- определить состав сравниваемых показателей мобильности и интервалы их количественных значений;
- разработать классификацию уровней мобильности насосных станций и привязать ее к интервалам шкалы Харрингтона;
- получить уравнения пересчета реальных значений в частные параметры;
- произвести расчет желательности  $d$  от частных значений и обобщенного коэффициента желательности  $D$ ;
- определить уровень мобильности мелиоративной насосной станции.

#### Понятийный аппарат

Рассматривая такое понятие, как «мобильная насосная станция», в результате анализа нормативно-технической и научной литературы не нашли термин, полностью соответствующий искомому. Наиболее близок к нему в ГОСТ ISO 17769-1-2014<sup>1</sup>: «Передвижной насос – насос, перемещаемый в процессе эксплуатации». Однако, на наш взгляд, в стандарте представлено не совсем удачное определение. Причиной тому является довольно узкая область его применения, а также отсутствие лексических значений, влияющих на временные ограничения по скорости перемещения. Примером тому может являться следующее обстоятельство: в качестве передвижного насоса можно считать насос, однажды перемещенный после демонтажа или перед установкой на стационарной насосной станции. Цен-

---

<sup>1</sup>ГОСТ ISO 17769-1-2014. Насосы жидкостные и установки. Основные термины, определения, количественные величины, буквенные обозначения и единицы измерения. Ч. 1. Жидкостные насосы [Электронный ресурс]. Введ. 2015-09-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

ным элементом определения считаем включение в него стадии жизненного цикла, в данном случае эксплуатации, что в одном случае ограничивает область применения, в другом дает возможность рассмотрения мобильности насосной станции на других стадиях жизненного цикла.

Более удачное представление мобильности изложено в определении словаря-справочника [15]: «Мобильность – характеристика систем и машин, заключающаяся в их подвижности и способности к быстрому перемещению и действию». Однако в данной ситуации мобильность рассматривается через определение, относящее термин к более широкому обобщающему пониманию, в частности системам и машинам.

Проведя предварительный анализ, предложим свое определение термина: станция насосная мелиоративная мобильная – тип насосной станции, способный в процессе эксплуатации к быстрому передвижению, подключению (отключению) к гидромелиоративной сети и переходу в рабочее состояние.

Придерживаясь смысловой нагрузки определения, рассмотрим, какими показателями, которые впоследствии могут быть применены к оценке уровня мобильности, можно охарактеризовать насосную станцию. Количество характеристик может носить индивидуальный характер, так же как и взятые интервалы, характеризующие параметр, но только в пределах одного проекта (например, совершенствование одного определенного объекта).

#### Показатели мобильности

1 Привлечение сторонних средств для перемещения насосной станции (средства перемещения).

Функция перемещения является основной для мобильных систем, однако существует множество способов ее реализации. В связи с этим требуется рассмотреть возможные варианты перемещения, провести их ранжирование по принципу наилучшей комбинации с точки зрения мобильности.

Если насосная станция способна к самостоятельному перемещению, то показатель в количественном значении будет равняться нулю («0»).

Если компоненты насосной станции размещены на шасси, но для перемещения ее требуется привлечение тягача, то показатель в количественном значении будет равняться единице («1»).

Рассмотрим вариант с максимальным количеством задействованных средств для перемещения: насосная станция выполнена в виде контейнера, при этом для перемещения ее потребуются погрузочно-разгрузочное средство и средство для транспортировки. В данном случае показатель в количественном значении будет равняться двум («2»).

Для данного показателя минимальное количественное значение является лучшим.

2 Регулирование напора при постоянном расходе насосной станции (напор).

Мобильность насосной станции зависит не только от ее способности к перемещению, но и от возможности работы в разных условиях. В данном случае изменяемая напорная характеристика раскрывает потенциал работы насосной станции с дождевальными машинами одной производительности по расходу, но отличающимися по необходимому напору из-за разного расположения в пространстве, т. е. имеющими разные геодезические напоры, потери по длине напорного трубопровода и т. д.

В качестве количественной характеристики напора предлагаем использовать величину, получаемую как разницу между максимальным и минимальным напорами, обеспечиваемыми насосной станцией при неизменяемой расходной характеристике. Чем меньше разница между максимальным и минимальным напорами, тем будет хуже рассматриваемая характеристика насосной станции. Максимальная разница между напорами будет считаться наилучшим вариантом, однако эта величина не может

быть бесконечной, в связи с чем для наших условий ограничимся величиной в 50 м вод. ст., что считаем вполне достижимым.

Нельзя обойти вниманием тот факт, что напорная характеристика может регулироваться в довольно широком диапазоне с применением, например, задвижки. Однако данный вариант сопряжен с неэффективным использованием затраченной энергии, из-за чего введем ограничение, т. е. при снижении напора должна уменьшаться затрачиваемая мощность, а ее величина не должна быть более 20 % в пересчете на единицу напора относительно оптимального варианта. Например, насосной станции для подачи определенного расхода воды с напором 100 м требуется работать с мощностью 150 кВт, значит, в пересчете на единицу напора получим 1,5 кВт/м (коэффициент), если снизить напор до 70 м вод. ст., затрачиваемая мощность должна быть не более 126 кВт, при том что коэффициент равен 1,8 кВт/м.

3 Регулирование расхода при постоянном напоре насосной станции (показатель регулирования расхода).

Регулирование расхода воды в широких диапазонах несет смысл мобильности, рассмотренный в предыдущем показателе при регулировании напора. Если учитывать потребности прямого потребителя расходной характеристики насосной станции в виде дождевальной машины или их группы, имеется интерес к использованию одного насоса при обеспечении как одной, так и двух дождевальных машин, также при современных технологиях дополива углов при работе дождевальных машин кругового действия требуется увеличение расходной характеристики на 10–15 %. Однако интервал регулировки расхода ограничивается серьезным падением коэффициента полезного действия (КПД) насоса, в связи с чем возьмем за количественную характеристику возможность изменения расхода в 2 раза, что вполне реализуемо в соответствии с предварительными расчетами. При этом будем уменьшать максимальную расходную характеристику, га-

рантированную производителем насоса. Наилучшим результатом будем считать наибольшую разницу между максимальным и минимальным экономически обоснованными расходами насосной станции, выраженную через показатель регулирования расхода, который ограничивается двумя. Минимальным значением показателя будем считать единицу. Например, максимальный расход насосной станции равен  $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ , а минимальный –  $200 \text{ м}^3/\text{ч}$ , поделив один расход на другой, получим показатель регулирования расхода, равный 1,5.

#### 4 Высота всасывания насосной станции (высота всасывания).

Возможность изъятия воды с различных поверхностных водных источников, т. е. из источников, имеющих значительные разности между отметками поверхности земли и уровнем воды, лимитируется высотой всасывания насосной станции. Чем больше высота всасывания, тем мобильнее может быть насосная станция, так как у нее появляется возможность работы в более широком диапазоне условий. Поскольку мелиоративные насосные станции преимущественно выполнены с применением центробежных насосов, то высота всасывания будет ограничиваться 6–7 м. Данную величину можно увеличить с применением дополнительных устройств [16], однако в данной статье они использоваться (учитываться) не будут. Наилучшим результатом будет считаться максимальное значение высоты всасывания насосной станции.

#### 5 Использование комплектующих отечественного производства (уровень импортозамещения).

При возможности ввода санкций по любому из направлений хозяйственной деятельности встает вопрос о возможности долгосрочных простоев насосной станции в случае даже несущественной поломки, что в свою очередь влияет на ее мобильность. При комплектации насосных станций отечественными элементами данные риски становятся значитель-

но ниже. К тому же государство данную проблему не оставляет без внимания, о чем свидетельствует ряд постановлений правительства<sup>2, 3</sup>, направляющих промышленные предприятия на путь импортозамещения. В связи с этим будем считать 100% комплектацию насосной станции отечественными элементами как наилучший вариант, а расчет произведем по формуле:

$$K_n = M_{от} / M_y \cdot 100 \%,$$

где  $K_n$  – уровень импортозамещения, %;

$M_{от}$  – масса элементов отечественного производства, кг;

$M_y$  – масса насосной станции, кг.

Также при оценке мобильности насосных станций можно использовать дополнительные показатели, такие как: используемая энергия для работы насосной станции, наличие мануфактуры и сторонних механизмов при подготовке насосной станции к транспортировке и разворачиванию, унификация и др. (требует проведения дополнительных исследований).

В результате рассмотрения параметров мобильности сформируем таблицу 1, где представим перечень параметров и интервалы значений, которые будут выступать в качестве реального диапазона значений параметров сравнения.

**Таблица 1 – Интервалы значений параметров мобильности насосной станции**

**Table 1 – Value intervals of pumping station mobility parameters**

| Параметр                    | Интервал значений параметров |     |
|-----------------------------|------------------------------|-----|
|                             | min                          | max |
| 1                           | 2                            | 3   |
| 1 Средства перемещения, шт. | 2                            | 0   |
| 2 Напор, м вод. ст.         | 0                            | 50  |

<sup>2</sup>О Правительственной комиссии по импортозамещению [Электронный ресурс]: постановление Правительства РФ от 4 авг. 2015 г. № 785 (с изм. на 6 марта 2020 г.). Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

<sup>3</sup>Об утверждении Правил предоставления из федерального бюджета субсидий участникам промышленных кластеров на возмещение части затрат при реализации совместных проектов по производству промышленной продукции кластера в целях импортозамещения [Электронный ресурс]: постановление Правительства РФ от 28 янв. 2016 г. № 41 (с изм. на 8 апр. 2021 г.). Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

Продолжение таблицы 1

Table 1 continuation

| 1                             | 2 | 3   |
|-------------------------------|---|-----|
| 3 Расход                      | 1 | 2   |
| 4 Высота всасывания, м        | 0 | 7   |
| 5 Уровень импортозамещения, % | 0 | 100 |

### Классификация уровней мобильности

Далее произведем разработку классификации уровней мобильности мелиоративных насосных станций и привяжем ее к шкале желательности Харрингтона (таблица 2).

**Таблица 2 – Уровни мобильности мелиоративной насосной станции и интервалы шкалы Харрингтона**

**Table 2 – Mobility levels of the reclamation pumping station and Harrington scale intervals**

| Уровень мобильности<br>мелиоративной насосной станции | Интервал шкалы Харрингтона |                                                        |
|-------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------|
|                                                       | Лингвистическая<br>оценка  | Числовой интервал<br>значения функции<br>желательности |
| Очень хороший уровень мобильности                     | Очень хорошо               | 1,00–0,80                                              |
| Хороший уровень мобильности                           | Хорошо                     | 0,80–0,63                                              |
| Удовлетворительный уровень мобильности                | Удовлетворительно          | 0,63–0,37                                              |
| Плохой уровень мобильности                            | Плохо                      | 0,37–0,20                                              |
| Очень плохой уровень мобильности                      | Очень плохо                | 0,20–0,00                                              |

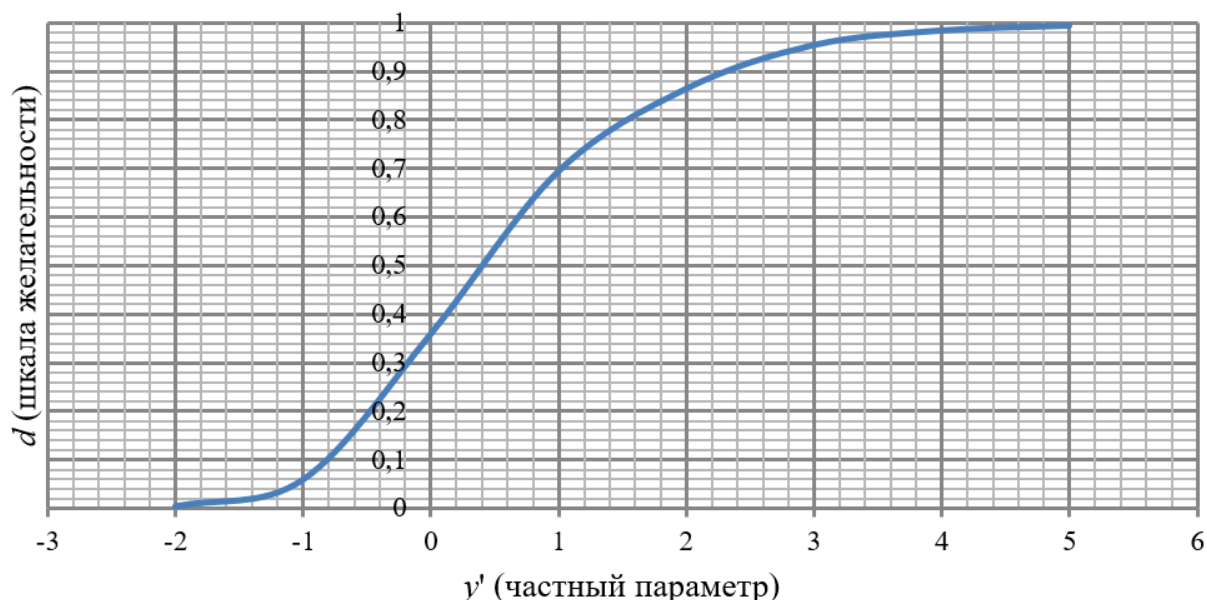
### Уравнения пересчета

При всем многообразии в литературе способов перевода интервалов реальных значений в частные параметры эффективного диапазона практических значений сравнения нами был выбран способ с применением программы MS Excel. В качестве исходных данных использовались интервалы количественных значений показателей (таблица 1) и промежуток эффективных значений на шкале частных показателей от «–2» до «+5» (рисунок 1). В результате получены уравнения пересчета (таблица 3).

### Расчет желательности и обобщенного коэффициента

Расчет частных значений желательности и обобщенного коэффициента произведем на примере, при этом зададимся исходными значениями параметров насосной станции, в скобках укажем количественную характе-

ристику параметра. Насосная станция размещена на шасси без возможности самостоятельного перемещения (1 шт.); при неизменяемом расходе и коэффициенте затрачиваемой мощности менее 20 % максимальный напор 110 м вод. ст., а минимальный – 60 м вод. ст. (50 м вод. ст.); при неизменяемом напоре максимальный расход 360 м<sup>3</sup>/ч, а минимальный – 220 м<sup>3</sup>/ч (показатель регулирования расхода 1,64); высота всасывания насосной станции равна 4,7 м; масса элементов насосной станции отечественного производства составляет 2000 кг при общей массе насосной станции 2400 кг (83 %). Исходные данные о показателях и последующие результаты расчета поместим в таблицу 4.



**Рисунок 1 – Функция желательности Харрингтона**

**Figure 1 – Harrington's desirability function**

**Таблица 3 – Уравнения пересчета параметров**

**Table 3 – Parameter recalculation equations**

| Параметр                                                                                                                                                                                                     | Уравнение пересчета |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1 Средства перемещения, шт.                                                                                                                                                                                  | $y' = -3,5x + 5$    |
| 2 Напор, м вод. ст.                                                                                                                                                                                          | $y' = 0,14x - 2$    |
| 3 Показатель регулирования расхода                                                                                                                                                                           | $y' = 7x - 9$       |
| 4 Высота всасывания, м                                                                                                                                                                                       | $y' = x - 2$        |
| 5 Уровень импортозамещения, %                                                                                                                                                                                | $y' = 0,07x - 2$    |
| Примечание – $y'$ – частный параметр, лежащий в эффективном диапазоне практических значений параметров сравнения, получаемый при подстановке числа $x$ из реального диапазона значений параметров сравнения. |                     |

**Таблица 4 – Сводная таблица расчета**

**Table 4 – Summary table of calculation**

| Параметр                      | Исходные данные | Расчет |       |      |
|-------------------------------|-----------------|--------|-------|------|
|                               |                 | $y'$   | $d_i$ | $D$  |
| 1 Средства перемещения, шт.   | 1               | 1,50   | 0,80  | 0,92 |
| 2 Напор, м вод. ст.           | 50              | 5,00   | 0,99  |      |
| 3 Расход                      | 1,64            | 2,48   | 0,91  |      |
| 4 Высота всасывания, м        | 4,7             | 2,70   | 0,93  |      |
| 5 Уровень импортозамещения, % | 83              | 3,81   | 0,98  |      |

Воспользовавшись исходными данными (таблица 4) и уравнениями пересчета параметров (таблица 3), где  $x$  – исходные данные, произведем расчет частных параметров  $y'$ .

Частную желательность  $d_i$  рассчитываем по формуле:

$$d_i = \exp(-\exp(-y')).$$

Обобщенный коэффициент желательности  $D$  рассчитываем по формуле:

$$D = (d_1 \cdot d_2 \cdot \dots \cdot d_n)^{1/n},$$

где  $n$  – количество параметров.

#### Определение уровня мобильности

Для определения уровня мобильности воспользуемся полученным значением обобщенного коэффициента желательности  $D$  (таблица 4) и уровнями мобильности насосной станции (таблица 2). При значении  $D = 0,92$  получаем оценку «Очень хороший уровень мобильности».

#### **Выводы**

1 Мобильные мелиоративные насосные станции могут стать драйвером развития орошаемого земледелия за счет возможности их быстрого перемещения и использования в растениеводстве, что позволяет иметь более гибкую систему в эксплуатации, уменьшить время технологических простоев и в итоге срок окупаемости.

2 Предложенная методика оценки уровня мобильности может применяться как при совершенствовании мелиоративных насосных станций,

так и при выборе сельхозтоваропроизводителями имеющихся в продаже насосных станций с учетом конкретных условий работы.

3 При необходимости методику оценки уровня мобильности можно корректировать, в частности, изменять количество оцениваемых показателей, а также их интервалы количественных значений.

4 В случае существенной корреляции между вводимыми параметрами необходимо в методику оценки включать весовые показатели.

5 При использовании параметров с количественными значениями, находящимися в непосредственной близости к минимальным и максимальным значениям исходного интервала, необходимо при оценке использовать линейную часть (от  $d = 0,2$  до  $d = 0,63$ ) функции желательности с соответствующими корректировками уравнений перевода значений исходных параметров в эффективный диапазон практических значений параметров сравнения.

### Список источников

1. Алмаев Р. А., Кавелин Н. Ю., Айбашев А. Р. Разработка конструкции насосной станции Баймакской оросительной системы // Современные технологии сельскохозяйственного производства и приоритетные направления развития аграрной науки: материалы междунар. науч.-практ. конф., пос. Персиановский, 4–7 февр. 2014 г. Персиановский: Дон. гос. аграр. ун-т, 2014. С. 3–6.
2. Параскун М. Е., Карадаян Л. И., Чубурков В. В. Эксплуатация передвижных насосных станций // Концепции, теория и методика фундаментальных и прикладных научных исследований: сб. ст. по итогам междунар. науч.-практ. конф., г. Тюмень, 14 февр. 2021 г. Стерлитамак: Агентство междунар. исслед., 2021. С. 242–244.
3. Zhang K., Shi J. Pulsation simulation and energy consumption analysis of series pump valve cooperative control hydraulic system // International Journal of Fluid Power. 2021. Vol. 22, iss. 3. P. 409–424. <https://doi.org/10.13052/ijfp1439-9776.2236>.
4. Larsson L. V., Lejonberg R., Ericson L. Optimization of a pump-controlled hydraulic system using digital displacement pumps // International Journal of Fluid Power. 2022. Vol. 23, iss. 1. P. 53–78. DOI: 10.13052/ijfp1439-9776.2313.
5. Ольгаренко Г. В. Итоги и перспективы научных исследований и опытно-конструкторских разработок ФГБНУ ВНИИ «Радуга» (50 лет научно-производственной деятельности) // Мелиорация и водное хозяйство. 2017. № 5. С. 30–35.
6. Кожанов А. Л. Моделирование процесса компоновки функциональных модулей осушительной системы двустороннего действия // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2018. № 4(72). С. 24–31.
7. Олейник Р. А. Перспективы использования мобильного оросительного оборудования // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского госу-

дарственного аграрного университета [Электронный ресурс]. 2005. № 13. С. 50–55. URL: <http://ej.kubagro.ru/2005/05/15/> (дата обращения: 01.12.2021).

8. Циклическое орошение – один из факторов стабилизации земледелия в АПК на примере черноземов обыкновенных / В. Н. Щедрин, С. В. Куприянова, Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова // Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 3. С. 10–19.

9. Кожанов А. Л. Определение энергии дополнительного урожая при использовании системы периодического орошения // Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения: материалы междунар. науч.-практ. конф. М., 2016. С. 269–274.

10. Принципы построения классификаций мелиоративных систем / А. Л. Кожанов, О. В. Воеводин, В. В. Слабунов, С. Л. Жук. Новочеркасск, 2012. 130 с. Деп. в ВИНТИ 28.05.12, № 250-B2012 .

11. Lyubchenko V. Ya., Iskhakov A. F., Pavlyuchenko D. A. Rating of organization's energy efficiency based on Harrington's desirability function // FarEastCon-2020. International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies. 2020. 9271239. DOI: 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271239.

12. Зобков М. Б. Применение функций желательности для анализа качества воды // Водные ресурсы. 2012. Т. 39, № 1. С. 63–70.

13. Пичкалев А. В. Обобщенная функция желательности Харрингтона для сравнительного анализа технических средств // Исследования наукограда. 2012. № 1. С. 25–28.

14. Показатели универсальности сеялок / В. И. Варавин, А. П. Бабков, Ю. А. Гуреев, Н. С. Шершнев // Научное обеспечение агропромышленного производства: материалы междунар. науч.-практ. конф., 20–21 февр. 2018 г. Курск: Изд-во Кур. гос. с.-х. акад., 2018. С. 335–338.

15. Колганов А. В., Шкура В. Н., Щедрин В. Н. Словарь-справочник гидротехника-мелиоратора: терминолог. слов. В 2 ч. Ч. 1 (А – Н); под ред. В. Н. Щедрина. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. 422 с.

16. Способ регулирования мелиоративной насосной станции: пат. на изобрет. 2712335 Рос. Федерация: МПК F 04 D 15/00, F 04 D 13/12, F 04 F 5/54 / Рахнянская О. И., Мазанов Р. Р., Тарасьянц С. А., Тарасьянц А. С.; патентообладатель Дон. гос. аграр. ун-т. № 2018125322; заявл. 07.04.17; опублик. 28.01.20, Бюл. № 4. 9 с.

## References

1. Almaev R.A., Kavelin N.Yu., Aibashev A.R., 2014. *Razrabotka konstruksii nasosnoy stantsii Baymayskoy orositel'noy sistemy* [Development of the design of the pumping station of the Baymak irrigation system]. *Sovremennye tekhnologii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva i prioritetye napravleniya razvitiya agrarnoy nauki: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, pos. Persianovskiy* [Current Technologies of Agricultural Production and Priority Areas for the Development of Agricultural Science: Proc. of the International Scientific-Practical Conference]. Persianovsky, Don State Agrarian University, pp. 3-6. (In Russian).

2. Paraskun M.E., Karadayan L.I., Chuburkov V.V., 2021. *Ekspluatatsiya peredvizhnykh nasosnykh stantsiy* [Operation of mobile pumping stations]. *Kontseptsii, teoriya i metodika fundamental'nykh i prikladnykh nauchnykh issledovaniy: sbornik statey po itogam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Concepts, Theory and Methods of Fundamental and Applied Scientific Research: Proc. of the International Scientific-Practical Conference]. Sterlitamak, Agency for International Research, pp. 242-244. (In Russian).

3. Zhang K., Shi J., 2021. Pulsation simulation and energy consumption analysis of series pump valve cooperative control hydraulic system. *International Journal of Fluid Power*, vol. 22, iss. 3, pp. 409-424, <https://doi.org/10.13052/ijfp1439-9776.2236>.

4. Larsson L.V., Lejonberg R., Ericson L., 2022. Optimization of a pump-controlled

hydraulic system using digital displacement pumps. International Journal of Fluid Power, vol. 23, iss. 1, pp. 53-78, DOI: 10.13052/ijfp1439-9776.2313.

5. Olgarenko G.V., 2017. *Itogi i perspektivy nauchnykh issledovaniy i opytno-konstruktsionnykh razrabotok FGBNU VNII "Raduga" (50 let nauchno-proizvodstvennoy deyatel'nosti)* [Results and future trends of scientific research and experimental design projects of Federal State Budgetary Institution All-Russian Research Institute "Rainbow" (50 years of scientific and productive activities)]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 5, pp. 30-35. (In Russian).

6. Kozhanov A.L., 2018. *Modelirovanie protsessa komponovki funktsional'nykh moduley osushitel'noy sistemy dvustoronnego deystviya* [Modeling of the process of functional modules arrangement of a double-action drainage system]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 4(72), pp. 24-31. (In Russian).

7. Oleinik R.A., 2005. [Prospects for the use of mobile irrigation equipment]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU: politematischeskiy setevoy elektronnyy zhurnal*, no. 13, pp. 50-55, available: <http://ej.kubagro.ru/2005/05/15/> [accessed 01.12.2021]. (In Russian).

8. Shchedrin V.N., Kupriyanova S.V., Dokuchaeva L.M., Yurkova R.E., 2021. *Tsiklichesкое oroshenie – odin iz faktorov stabilizatsii zemledeliya v APK na primere chernozemov obyknovennykh* [Cyclic irrigation is one of the agriculture stabilization factors in the agro-industrial complex on the example of ordinary chernozem]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 3, pp. 10-19. (In Russian).

9. Kozhanov A.L., 2016. *Opreделение energii dopolnitelnogo urozhaya pri ispol'zovanii sistemy periodicheskogo orosheniya* [Determining the energy of an additional yield when using a periodic irrigation]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo: problemy i puti resheniya: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Irrigation and Water Management: Problems and Solutions: Proc. of International Scientific-Practical Conf.]. Moscow, pp. 269-274. (In Russian).

10. Kozhanov A.L., Voevodin O.V., Slabunov V.V., Zhuk S.L., 2012. *Printsipy postroeniya klassifikatsiy meliorativnykh sistem* [Principles for Constructing Classifications of Reclamation Systems]. Novocherkassk, 130 p., deposited in VINITI on 28.05.2012, no. 250-B2012. (In Russian).

11. Lyubchenko V.Ya., Iskhakov A.F., Pavlyuchenko D.A., 2020. Rating of organization's energy efficiency based on Harrington's desirability function. FarEastCon-2020. International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, 9271239, DOI: 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271239.

12. Zobkov M.B., 2012. *Primenenie funktsiy zhelatel'nosti dlya analiza kachestva vody* [Application of desirability functions for water quality analysis]. *Vodnye resursy* [Water Resources], vol. 39, no. 1, pp. 63-70. (In Russian).

13. Pichkalev A.V., 2012. *Obobshchennaya funktsiya zhelatel'nosti Kharringtona dlya sravnitel'nogo analiza tekhnicheskikh sredstv* [Generalized Harrington desirability function for the comparative analysis of technical means]. *Issledovaniya naukoграда* [Research in the Science City], no. 1, pp. 25-28. (In Russian).

14. Varavin V.I., Babkov A.P., Gureev Yu.A., Shershnev N.S., 2018. *Pokazateli universal'nosti seyalok* [Indicators of the seeder universality]. *Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo proizvodstva: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Scientific Support of Agro-industrial Production: Proc. of the International Scientific-Practical Conference]. Kursk, Kursk State Agricultural Academy Publ., pp. 335-338. (In Russian).

15. Kolganov A.V., Shkura V.N., Shchedrin V.N., 2014. *Slovar'-spravochnik gidrotekhnika-melioratora: terminologicheskiy slovar'* [Glossary of Hydraulic Engineers and Land Reclamation Engineers: terminological dictionary]. In 2 parts, pt. 1 (A-N), Novocherkassk, 422 p. (In Russian).

16. Rakhnyanskaya O.I., Mazanov R.R., Tarasyants S.A., Tarasyants A.S., 2017. *Sposob regulirovaniya meliorativnoy nasosnoy stantsii* [Method of Regulating Reclamation Pumping Station]. Patent RF, no. 2712335. (In Russian).

---

***Информация об авторах***

**О. В. Воеводин** – ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук;  
**А. А. Кириленко** – младший научный сотрудник.

***Information about the authors***

**O. V. Voyevodin** – Leading Researcher, Candidate of Agricultural Sciences;  
**A. A. Kirilenko** – Junior Researcher.

*Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата,  
самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.*

*Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.  
All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical  
violations in scientific publications.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 26.01.2022; одобрена после рецензирования 29.03.2022;  
принята к публикации 12.04.2022.*

*The article was submitted 26.01.2022; approved after reviewing 29.03.2022; accepted for  
publication 12.04.2022.*