

А. П. Васильченко, А. Е. Шепелев, А. М. Кореновский

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

К ВОПРОСУ ОСНАЩЕНИЯ ПУНКТОВ ВОДОУЧЕТА СРЕДСТВАМИ ТЕЛЕМЕТРИИ

Цель: выбор оптимального варианта оснащения пунктов водоучета средствами телеметрии на основе информационной и имитационной моделей функционирования этих пунктов водоучета с использованием целевой функции. **Материалы и методы:** проведенные исследования строятся на применении информационно-аналитических методов, математических зависимостей и вероятностно-экономических расчетов. **Результаты:** на основе использования информационной и имитационной моделей функционирования с использованием целевой функции была предложена зависимость, позволяющая на основании использования входящих в нее переменных сделать выбор оптимального варианта оснащения пунктов водоучета средствами телеметрии. Был приведен расчет оснащения пунктов водоучета средствами телеметрии на примере Райгородской оросительной системы ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз». На основании расчета был построен график выбора оптимального варианта оснащения пунктов водоучета средствами телеметрии. График показал, что оптимальным (экономически целесообразным) вариантом оснащения пунктов водоучета средствами телеметрии является оснащение семи пунктов водоучета из 10 планируемых при сроке окупаемости данного мероприятия, равном одному году. **Выводы:** многокритериальная задача построения имитационной модели сводится к определению оптимального варианта оснащения пунктов водоучета средствами телеметрии с максимумом прибыли и минимумом затрат. Для принятия правильного решения об оснащении пунктов водоучета средствами телеметрии в каждом конкретном случае необходимо провести полное обследование этих пунктов водоучета с точки зрения технического состояния, разработать технико-экономическое обоснование по вариантам, связанным с переоснащением пунктов водоучета, а также внести надлежащие сведения и коррективы в проектную и конструкторскую документацию пунктов водоучета.

Ключевые слова: пункты водоучета; средства телеметрии; вариант; оснащение; информационная модель; факторы; многокритериальная задача; имитационная модель; целевая функция; зависимость.

A. P. Vasilchenko, A. Ye. Shepelev, A. M. Korenovskiy

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

ON ISSUE OF EQUIPPING WATER METERING POINTS WITH TELEMETRY

Purpose: choosing the best option for equipping water metering points with telemetry based on information and simulation models of the functioning of these water metering points using the target function. **Materials and methods:** the studies are based on the use of information-analytical methods, mathematical dependencies and probability-economic calcula-



tions. **Results:** based on the use of information and functioning simulation models using the target function, a dependence based on the use of the included variables allows making a choice of the best option for equipping water metering points with telemetry tools was proposed. A calculation of equipping the water metering points with telemetry using the example of the Raigorod irrigation system of the FSBI “Volgogradmeliovodkhoz” Authority was made. Based on the calculation, a schedule for choosing the best option for equipping water metering points with telemetry tools was built. The graph showed that the optimal (economically feasible) option of equipping water metering points with telemetry is equipping seven out of 10 water metering points planned for a one-year payback period of this event. **Conclusions:** the multicriteria task of constructing a simulation model comes down to determining the best option for equipping water metering points with telemetry with maximum profit and minimum cost. To make the right decision on equipping water metering points with telemetry in each specific case, it is necessary to conduct a full examination of these water metering points from the point of view of the technical condition, to develop a feasibility study on options related to the re-equipment of water metering points, as well as to make appropriate information and adjustments to the design and engineering documentation for water metering points.

Key words: water metering points; telemetry aids; option; equipment; information model; factors; multicriteria task; simulation model; target function; dependence.

Введение. Наиболее важным аспектом решения проблем ресурсосбережения, в частности водосбережения, выступает создание единой информационной системы, позволяющей вести автоматический учет водопотребления и осуществлять автоматическое регулирование режимов работы систем [1].

В настоящее время для решения проблем водосбережения разрабатываются и внедряются программы по установке средств телеметрии воды на пунктах водоучета на мелиоративных системах [2, 3]. В целях осуществления диспетчеризации в различных областях интенсивно применяются SCADA-системы [4].

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) – диспетчерское управление и сбор данных [5]. SCADA-системы позволяют реализовать все основные функции визуализации измеряемой и контролируемой информации, передачи данных и команд системе контроля и управления. Поэтому в настоящее время SCADA-системы являются основным и наиболее перспективным методом автоматизированного управления технологическими процессами [6, 7].

С помощью программных средств телеметрии возможно не только

оперативно, но и в долгосрочной перспективе осуществлять анализ динамики измеряемых процессов, в т. ч. с подготовкой необходимых отчетов. При этом наглядное отображение значений всех измеряемых параметров выводится непосредственно на монитор компьютера [8, 9].

Появляется возможность непосредственно с рабочего места диспетчера управлять объектами, в режиме реального времени наблюдать за изменениями в результате оперативного вмешательства, круглосуточно записывать показания приборов. Кроме того, полученные корреляционные зависимости изменения контролируемых параметров можно использовать для дальнейшего анализа.

Преимущества введения системы телеметрии и комплексной информатизации диспетчерской службы проявляются уже на начальном этапе практической эксплуатации. Поэтому внедрение таких разработок (в совокупности с современными технологическими достижениями в области измерительной техники и метрологии) позволит реализовать качественно новый подход к мониторингу пунктов водоучета на мелиоративных системах.

Целью данной работы является выбор оптимального варианта оснащения пунктов водоучета средствами телеметрии на основе информационной и имитационной моделей функционирования этих пунктов водоучета с использованием целевой функции.

Материалы и методы. Проведенные исследования строятся на применении информационно-аналитических методов, математических зависимостей и вероятностно-экономических расчетов.

К исходным переменным информационной модели функционирования пунктов водоучета при оснащении их средствами телеметрии относятся расход воды, прошедший по каналу в пункте водоучета, площадь сечения русла канала, скорость и глубина потока, время, коэффициенты расхода и шероховатости канала, а также величина открытия затвора на пункте водоучета [8].

Общая зависимость информационной модели [10] может быть представлена в виде:

$$Z = f(Q, \omega, v, h, t, \mu, n, a), \quad (1)$$

где Q – расход воды, м³/с;

ω – площадь сечения русла, м²;

v – скорость потока, м/с;

h – глубина потока, м;

t – время, с;

μ – коэффициент расхода;

n – коэффициент шероховатости;

a – величина открытия затвора, м.

В соответствии с зависимостью (1) модели функционирования пунктов водоучета при их эксплуатации должны выполняться следующие соотношения:

- по расходу воды:

$$\varphi(Q) = Q_{\text{пр}} - Q, \alpha_0 Q_{\text{пр}} \geq \varphi(Q) \geq 0;$$

- по площади сечения русла:

$$\varphi(\omega) = \omega_{\text{пр}} - \omega, \beta_0 \omega_{\text{пр}} \geq \varphi(\omega) \geq 0;$$

- по скорости потока:

$$\varphi(v) = v_{\text{пр}} - v, \gamma_0 v_{\text{пр}} \geq \varphi(v) \geq 0;$$

- по глубине потока:

$$\varphi(h) = h_{\text{пр}} - h, \delta_0 h_{\text{пр}} \geq \varphi(h) \geq 0;$$

- по времени:

$$\varphi(t) = t, t = 10 \dots 30 \text{ с};$$

- по коэффициенту расхода:

$$\varphi(\mu) = \mu_{\text{пр}} - \mu, \varepsilon_0 \mu_{\text{пр}} \geq \varphi(\mu) \geq 0;$$

- по коэффициенту шероховатости:

$$\varphi(n) = n_{\text{пр}} - n, \lambda_0 n_{\text{пр}} \geq \varphi(n) \geq 0;$$

- по величине открытия затвора:

$$\varphi(a) = a_{\text{пр}} - a, v_0 a_{\text{пр}} \geq \varphi(a) \geq 0,$$

где φ – функция эффективности функционирования по соответствующим показателям;

Q и $Q_{\text{пр}}$ – расчетный и заданный проектный расход воды, м³/с;

ω и $\omega_{\text{пр}}$ – расчетная и заданная проектная площадь сечения русла, м²;

v и $v_{\text{пр}}$ – расчетные и заданные проектные скорости потока, м/с;

h и $h_{\text{пр}}$ – расчетные и проектные глубины потока, м;

t – время между измерениями. Задается 10–30 с;

μ и $\mu_{\text{пр}}$ – расчетное и проектное значение коэффициента расхода;

n и $n_{\text{пр}}$ – расчетное и проектное значение коэффициента шероховатости;

a и $a_{\text{пр}}$ – расчетные и проектные величины открытия затвора, м;

$\alpha_0, \beta_0, \gamma_0, \delta_0, \varepsilon_0, \lambda_0, v_0$ – коэффициенты допустимого снижения нормативных показателей.

Оценив факторное пространство рядом кодируемых переменных, можно построить модель эффективности оценки количественных и качественных факторов второго порядка (расход, уровень, скорость и др.), воздействующих на факторы первого порядка (техническое состояние пункта водоучета, способ водоизмерения и др.) [11, 12].

Для поиска оптимального решения вопроса безопасного функционирования пункта водоучета данную классификацию факторов можно считать более удобной по сравнению с общепринятым делением их на управляемые и неуправляемые. На основе иерархической модели нами был получен список управляемых факторов, максимальные и минимальные значения которых являются критериями.

Как имитационная модель многокритериальная задача [10] может быть задана следующим видом:

$$\begin{cases} F(x) \rightarrow \max, \\ x \in D, \end{cases}$$

где $F(x)$ – векторная функция векторного аргумента x , которую можно представить как $F(x) = \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)\}$, где $f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)$ – скалярные функции векторного аргумента x , каждая из которых является математическим выражением одного критерия оптимальности;

D – множество допустимых решений.

В связи с тем, что используется векторная целевая функция при применении данной модели, она может именоваться как задача векторной оптимизации [13].

Суть данной задачи заключается в определении такого ее вероятного решения, т. е. $x \in D$, которое позволит в этом или же ином значении максимизировать (минимизировать) значения всех целевых функций $f_i(x)$, $i = 1, \dots, k$. Найти решение, которое будет максимизировать все целевые функции, возможно только в исключительно редких случаях. Таким образом, при решении подобных задач следует акцентировать внимание на предварительном определении параметров самого предпочтительного решения, т. е. используемом принципе оптимальности [10].

При этом задача векторной оптимизации не имеет строго математического решения. Поэтому при решении той или иной задачи следует пользоваться вспомогательной информацией, полученной от эксперта, имеющего познания в данной области. Этого эксперта принято называть decision maker, что в переводе с английского означает «лицо, принимающее решение» (ЛПР). Из этого следует, что каждый эксперт при использовании разных источников информации для решения поставленной задачи в целом будет получать разные результаты [11, 14, 15].

Если проанализировать функции и входящие в них переменные,

многокритериальная задача построения имитационной модели эффективности функционирования пунктов водоучета, оснащенных средствами телеметрии, может быть сформулирована в виде:

$$\begin{cases} \Pi = f_1\left(\sum_{i=1}^n R_i\right) \rightarrow \max, \\ 3 = f_2\left(\sum_{i=1}^n \bar{3}_i, \sum_{i=1}^n \lambda_i Y_i, \sum_{i=1}^n N_i, \sum_{i=1}^n P_i\right) \rightarrow \min, \end{cases}$$

где Π – прибыль, млн руб.;

$\sum_{i=1}^n R_i$ – сумма годовой прибыли от эксплуатации пунктов водоучета,

млн руб./год;

i – индекс соответствующих затрат, прибылей и ущербов в границах расчетного варианта;

3 – затраты, млн руб.;

$\sum_{i=1}^n \bar{3}_i$ – сумма годовых приведенных затрат на эксплуатацию пунктов

водоучета для каждого варианта расчета, млн руб./год;

$\sum_{i=1}^n \lambda_i Y_i$ – сумма возможного ущерба от вероятных рисков, связанных

с точностью водоизмерения на пунктах водоучета, млн руб.;

λ_i – риски, связанные с уменьшением точности измерений из-за не-удовлетворительного технического состояния пунктов водоучета;

Y_i – ущербы, связанные с уменьшением точности измерений из-за не-удовлетворительного технического состояния пунктов водоучета, млн руб.;

$\sum_{i=1}^n N_i$ – сумма затрат на оснащение пунктов водоучета средствами те-

леметрии, млн руб.;

$\sum_{i=1}^n P_i$ – сумма затрат на проектирование реконструкции пунктов водо-

учета для оснащения средствами телеметрии, млн руб.

Бесспорно, все входящие в данную систему переменные имеют положительный знак.

Из всего этого следует, что многокритериальная задача построения имитационной модели сводится к двум задачам, которые описываются соответствующими функциями: определение оптимального варианта оснащения пунктов водоучета средствами телеметрии с максимумом прибыли и минимумом затрат.

Результаты и обсуждение. Для выбора оптимального варианта оснащения пунктов водоучета средствами телеметрии возможно использование следующей общей зависимости при условии ее максимизации:

$$\bar{C}_f = \sum_{i=1}^n R_i - \sum_{i=1}^n \bar{Z}_i - \sum_{i=1}^n \lambda_i Y_i - \sum_{i=1}^n N_i - \sum_{i=1}^n P_i \rightarrow \max. \quad (2)$$

При расчете по зависимости (2) для оснащения пунктов водоучета средствами телеметрии возможны следующие варианты:

- строительство пунктов водоучета, оборудованных современными средствами телеметрии;
- полная замена средств телеметрии на пунктах водоучета;
- частичная замена средств телеметрии на пунктах водоучета;
- реконструкция пунктов водоучета;
- эксплуатация пунктов водоучета без использования средств телеметрии.

В качестве примера расчета оснащения пунктов водоучета средствами телеметрии нами было условно принято 10 пунктов водоучета на Райгородской оросительной системе ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз».

Рассматривалось пять вариантов оснащения пунктов водоучета средствами телеметрии:

- вариант 1 – без оснащения;
- вариант 2 – оснащено три пункта водоучета;
- вариант 3 – оснащено пять пунктов водоучета;

- вариант 4 – оснащено семь пунктов водоучета;
- вариант 5 – оснащение всех 10 пунктов водоучета.

План водопользования нами был принят равным 168,77 млн м³.

Стоимость поданного 1 м³ воды – 1,56 руб.

Сумма годовых приведенных затрат на эксплуатацию для всех вариантов была равна 0,18 млн руб./год.

Риски, связанные с уменьшением точности измерений из-за неудовлетворительного технического состояния пунктов водоучета, рассчитывались по формуле:

$$\lambda = 1 - \frac{P_{\text{осн}}}{P_{\text{общ}}}, \quad (3)$$

где $P_{\text{осн}}$ – количество пунктов водоучета, оснащенных системой телеметрии, шт.;

$P_{\text{общ}}$ – общее количество пунктов водоучета, шт.

Ущерб, связанные с уменьшением точности измерений из-за неудовлетворительного технического состояния пунктов водоучета, условно были приняты в размере 1,5 млн руб./год.

Каждый пункт водоучета, оснащенный системой телеметрии, уменьшает ущерб на 0,1 млн руб./год.

Средняя сумма затрат на оснащение одного пункта водоучета системой телеметрии условно принималась равной 0,16 млн руб.

Сумма затрат при проектировании одного пункта водоучета при оснащении системой телеметрии равна 25 % от суммы затрат на его оснащение.

Пример расчета по зависимости (2) представлен в таблице 1. Расчетный период эксплуатации оросительной системы нами был принят равным одному году.

Из данных графика видно, что оптимальным вариантом оснащения пунктов водоучета средствами телеметрии является вариант 4, т. е. экономически целесообразно оснащение семи пунктов водоучета из 10 пла-

нируемых при сроке окупаемости данного мероприятия, составляющем один год.

Таблица 1 – Пример выбора оптимального варианта оснащения пунктов водоучета средствами телеметрии

Показатель	Единица измерения	№ варианта				
		1	2	3	4	5
$\sum_{i=1}^n R_i$	млн руб./год	263,28	263,58	263,88	264,18	264,48
$\sum_{i=1}^n \bar{Z}_i$	млн руб./год	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
$\sum_{i=1}^n$	λ_i	—	1	0,7	0,5	0,3
	Y_i	млн руб.	1,5	1,2	0,9	0,6
	$\lambda_i Y_i$	млн руб.	1,5	0,84	0,45	0,18
$\sum_{i=1}^n N_i$	млн руб.	0	0,48	0,8	1,12	1,6
$\sum_{i=1}^n P_i$	млн руб.	0	0,12	0,2	0,28	0,4
$\bar{C}_f$	млн руб./год	261,6	261,96	262,25	262,42	262,3

По полученным данным таблицы 1 нами был построен график выбора оптимального варианта оснащения пунктов водоучета средствами телеметрии (рисунок 1).

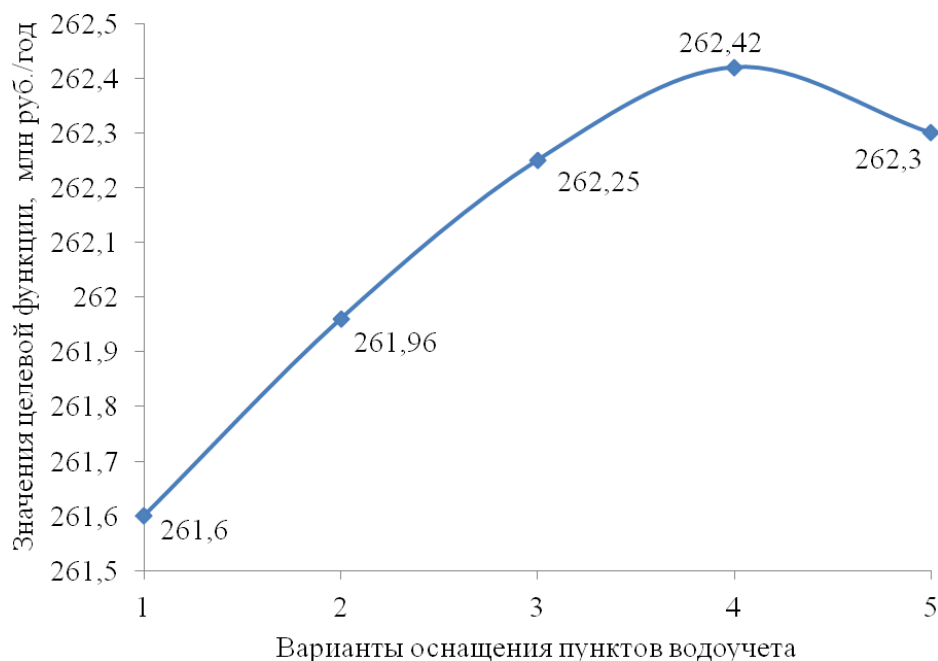


Рисунок 1 – График выбора оптимального варианта оснащения пунктов водоучета средствами телеметрии

Выводы. Многокритериальная задача построения имитационной модели сводится к определению оптимального варианта оснащения пунктов водоучета средствами телеметрии с максимумом прибыли и минимумом затрат.

Для принятия правильного решения об оснащении пунктов водоучета средствами телеметрии в каждом конкретном случае необходимо:

- провести полное обследование этих пунктов водоучета с точки зрения технического состояния;
- разработать технико-экономическое обоснование по вариантам, связанным с переоснащением пунктов водоучета;
- внести надлежащие сведения и коррективы в проектную и конструкторскую документацию пунктов водоучета.

Список использованных источников

- 1 Водосбережение – приоритет рационального природопользования / Н. Н. Крупина, Е. Н. Киприянова, Ю. К. Тарануха, Н. Е. Коваленко // Экологические системы и приборы. – 2010. – № 9. – С. 23–29.
- 2 Бочкарев, В. Я. Новые технологии и средства измерений, методы организации водоучета на оросительных системах / В. Я. Бочкарев; ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2012. – 227 с. – Деп. в ВИНТИ 27.04.12, № 196-B2012.
- 3 Шепелев, А. Е. Анализ средств водоизмерения на пунктах водоучета мелиоративных систем Минсельхоза России / А. Е. Шепелев, Л. В. Юченко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2019. – № 1(73). – С. 43–46.
- 4 Андреев, Е. Б. SCADA-системы: взгляд изнутри: учеб. для вузов / Е. Б. Андреев, Н. А. Куцевич, О. В. Синенко. – М.: РТСофт, 2004. – 176 с.
- 5 Школьная, В. М. К вопросу автоматизации водораспределения на участке канала с применением SCADA-системы / В. М. Школьная, В. Э. Завалюев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 2(62). – С. 43–48.
- 6 Интегрированные системы проектирования и управления: SCADA-системы: учеб. пособие / И. А. Елизаров, А. А. Третьяков, А. Н. Пчелинцев, В. А. Погонин, В. Н. Назаров, П. М. Оневский. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2015. – 160 с.
- 7 Osmic, N. Design of a simple service oriented supervisory control and data acquisition system / N. Osmic, J. Velagic // 59th Int. Symp. ELMAR-2017. – Zadar, Croatia, 2017. – P. 245–248. – DOI: 10.23919/ELMAR.2017.8124478.
- 8 Водоучет и водораспределение на мелиоративных системах / В. Я. Бочкарев, А. А. Чураев, И. В. Клишин, Л. В. Юченко, М. В. Вайнберг; ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2011. – 43 с. – Деп. в ВИНТИ 28.06.11, № 309-B2011.
- 9 Назаров, А. В. Современная телеметрия в теории и на практике: учеб. курс / А. В. Назаров, Г. И. Козырев. – СПб.: Наука и Техника, 2007. – 672 с.
- 10 Поколения оросительных систем: прошлое, настоящее, будущее: монография / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, Г. Т. Балакай, Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов,

А. А. Чураев, А. Н. Бабичев; под общ. ред. В. Н. Щедрина. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2012. – 164 с.

11 Машунин, Ю. К. Информационные технологии моделирования технических систем на базе методов векторной оптимизации / Ю. К. Машунин // Информационные технологии. – 2001. – № 9. – С. 14–21.

12 Ногин, В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход / В. Д. Ногин. – М.: Физматлит, 2002. – 144 с.

13 Vector optimization problems via improvement sets / M. Chicco, F. Mignanego, L. Pusillo, S. Tijs // Journal of Optimization Theory and Applications. – 2011. – Vol. 150, № 3. – P. 516–529. – DOI: 10.1007/s10957-011-9851-1.

14 Gardashova, L. A. Modeling of decision maker under imperfect information / L. A. Gardashova // Studies in Fuzziness and Soft Computing. – 2016. – Vol. 342. – P. 503–513. – DOI: 10.1007/978-3-319-32229-2_35.

15 Олейников, Б. И. Использование методов векторной оптимизации в задачах оптимизации потребительского выбора / Б. И. Олейников // Научные исследования: от теории к практике. – 2015. – № 2(3). – С. 58–62.

References

1 Krupin N.N., Kipriyanova E.N., Taranukha Yu.K., Kovalenko N.E., 2010. *Vodoberezhenie – prioritet ratsional'nogo prirodopol'zovaniya* [Water economy is the priority of environmental management]. *Ekologicheskie sistemy i pribory* [Ecological Systems and Devices], no. 9, pp. 23-29. (In Russian).

2 Bochkarev V.Ya., 2012. *Novye tekhnologii i sredstva izmereniy, metody organizatsii vodoucheta na orositel'nykh sistemakh* [New Technologies and Measuring Instruments, Methods of Organizing Water Accounting on Irrigation Systems]. Novocherkassk, 227 p., deposited in VINITI on 27.04.2012, no. 196-V2012. (In Russian).

3 Shepelev A.E., Yuchenko L.V., 2019. *Analiz sredstv vodoizmereniya na punktakh vodoucheta meliorativnykh sistem Minsel'khoza Rossii* [Analysis of water measuring instruments at water metering points of drainage systems of the Ministry of Agriculture of Russia]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 1(73), pp. 43-46. (In Russian).

4 Andreev E.B., Kutsevich N.A., Sinenko O.V., 2004. *SCADA-sistemy: vzglyad iznutri: uchebnik dlya vuzov* [SCADA-Systems: a Look from the Inside: Textbook for Universities]. Moscow, RTSoft Publ., 176 p. (In Russian).

5 Shkol'naya V.M., Zavalyuev V.E., 2016. *K voprosu avtomatizatsii vodoraspredeleniya na uchastke kanala s primeneniem SCADA-sistemy* [On the issue of water distribution automation in the canal section using the SCADA system]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(62), pp. 43-48. (In Russian).

6 Elizarov I.A., Tret'yakov A.A., Pchelintsev A.N., Pogonin V.A., Nazarov V.N., On-evsky P.M., 2015. *Integrirovannye sistemy proektirovaniya i upravleniya: SCADA-sistemy: uchebnoe posobie* [Integrated Systems Design and Management: SCADA-systems: textbook]. Tambov, TSTU Publ., 160 p. (In Russian).

7 Osmic N., Velagic J., 2017. Design of a simple service oriented supervisory control and data acquisition system. 59th Int. Symp. ELMAR-2017. Zadar, Croatia, pp. 245-248, DOI: 10.23919/ELMAR.2017.8124478.

8 Bochkarev V.Ya., Churaev A.A., Klishin I.V., Yuchenko L.V., Vainberg M.V., 2011. *Vodouchet i vodoraspredelenie na meliorativnykh sistemakh* [Water Accounting and Water Distribution in Reclamation Systems]. Novocherkassk, 43 p., deposited in VINITI on 28.06.2011, no. 309-V2011. (In Russian).

9 Nazarov A.V., Kozyrev G.I., 2007. *Sovremennaya telemektriya v teorii i na praktike: ucheb. kurs* [Modern Telemetry in Theory and Practice: Course]. St. Petersburg, Science and Technology Publ., 672 p. (In Russian).

10 Shchedrin V.N., Vasiliev S.M., Balakai G.T., Kosichenko Yu.M., Kolganov A.V., Churaev A.A., Babichev A.N., 2012. *Pokoleniya orositel'nykh sistem: proshloe, nastoyashchee, budushchee: monografiya* [Generations of Irrigation Systems: Past, Present, Future: monograph]. Novocherkassk, SRSTU (NPI) Publ., 164 p. (In Russian).

11 Mashunin Yu.K., 2001. *Informatsionnye tekhnologii modelirovaniya tekhnicheskikh sistem na baze metodov vektornoy optimizatsii* [Information technology modeling of technical systems based on vector optimization methods]. *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technology], no. 9, pp. 14-21. (In Russian).

12 Nogin V.D., 2002. *Prinyatie resheniy v mnogokriterial'noy srede: kolichestvennyy podkhod* [Decision Making in a Multicriteria Environment: A Quantitative Approach]. Moscow, Fizmatlit Publ., 144 p. (In Russian).

13 Chicco M., Mignanego F., Pusillo L., Tijs S., 2011. Vector optimization problems via improvement sets. *Journal of Optimization Theory and Applications*, vol. 150, no. 3, pp. 516-529, DOI: 10.1007/s10957-011-9851-1.

14 Gardashova L.A., 2016. Modeling of decision maker under imperfect information. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, vol. 342, pp. 503-513, DOI: 10.1007/978-3-319-32229-2_35.

15 Oleynikov B.I., 2015. *Ispol'zovanie metodov vektornoy optimizatsii v zadachakh optimizatsii potrebitel'skogo vybora* [The use of vector optimization methods in optimization problems of consumer choice]. *Nauchnye issledovaniya: ot teorii k praktike* [Scientific Research: From Theory to Practice], no. 2(3), pp. 58-62. (In Russian).

Васильченко Аркадий Павлович

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: Vap79@mail.ru

Vasilchenko Arkadiy Pavlovich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: Vap79@mail.ru

Шепелев Александр Евгеньевич

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: ведущий научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniiipm@yandex.ru

Shepelev Aleksandr Yevgenyevich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniiipm@yandex.ru

Кореновский Александр Михайлович

Должность: научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: koren-24@yandex.ru

Korenovskiy Aleksandr Mikhaylovich

Position: Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: koren-24@yandex.ru

Поступила в редакцию 30.04.2020

После доработки 10.06.2020

Принята к публикации 30.06.2020