

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО,
ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 681.5.03

doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-4-418-437

**Модернизация автоматизированной системы контроля
уровня воды в хранилищах Павловского водозабора**

Марина Викторовна Чкалова¹, Виктория Дмитриевна Павлидис²

^{1,2}Оренбургский государственный аграрный университет, Институт управления рисками и комплексной безопасности, Оренбург, Российская Федерация

¹chkalovamv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6802-5832>

²pavlidis@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6967-9478>

Аннотация. Цель: определить основные направления модернизации автоматизированной системы управления распределением рабочей нагрузки водозабора села Павловка Оренбургской области. **Материалы и методы.** Получено инженерно-техническое решение проблемы повышения эффективности технической системы водозабора, основанное на оптимизации системы управления насосами 2-го подъема: в хранилищах воды поплавковые датчики уровня заменяются ультразвуковыми, на все насосы 2-го подъема устанавливаются частотные преобразователи, датчик давления из трубопровода переносится к водяному столбу водонапорной башни, обратная связь обеспечивается промышленным логическим контроллером PR100 OVEN. **Результаты.** Построена инженерно-математическая модель системы распределения рабочей нагрузки через систему контроля уровня воды в хранилищах водозабора в виде обобщенной передаточной функции системы, проведена ее верификация в среде динамического моделирования SimInTech, и получены оценки качественных показателей автоматизированной системы управления до и после модернизации. **Выводы.** Основные расчеты выполнены с помощью авторского программного средства оценки качественных показателей линейных динамических систем и показали улучшение быстродействия за счет снижения времени регулирования от 15 до 6 с, увеличение степени устойчивости с 0,2 до 0,5, рост надежности системы на 10,3 %. Все эти изменения не влияют на устойчивость системы управления, но повышают эффективность и функциональность технической системы водозабора. В качестве показателя эффективности модернизации рассмотрена производительность насосной станции 2-го подъема. Проведенные расчеты, выполненные с помощью авторского программного средства оценки экономической эффективности модернизации технической системы, показывают увеличение предполагаемой производительности на 88 %. Предполагаемый срок окупаемости модернизации составит 19 месяцев.

Ключевые слова: водозабор, насосная станция, система контроля уровня, автоматизированная система управления, эффективность

Для цитирования: Чкалова М. В., Павлидис В. Д. Модернизация автоматизированной системы контроля уровня воды в хранилищах Павловского водозабора // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 4. С. 418–437. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-4-418-437>.

HYDRAULIC ENGINEERING,
HYDRAULICS AND ENGINEERING HYDROLOGY

Original article

**Modernization of the automated water level control system
in the Pavlovskiy water intake storage reservoirs**



Marina V. Chkalova¹, Victoria D. Pavlidis²

^{1,2}Orenburg State Agrarian University, Institute for Risk Management and Integrated Security,
Orenburg, Russian Federation

¹chkalovamv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6802-5832>

²pavlidis@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6967-9478>

Abstract. Purpose: to determine the main directions of the automated control system modernization for the water intake workload distribution in the village of Pavlovka, Orenburg region. **Materials and methods.** An engineering and technical solution to the problem of increasing the efficiency of the technical water intake system based on the optimization of the control system of the 2nd lift pumps was obtained: float level sensors in water storages are replaced by ultrasonic ones and frequency converters are installed on all 2nd lift pumps, the pressure sensor is transferred from the pipeline to the water column of the water tower, feedback is provided by the industrial logic controller PR100 OVEN. **Results.** An engineering and mathematical model of the workload distribution system through the water level control system in water intake storages was built in the form of a generalized transfer function of the system, it was verified in the SimInTech dynamic modeling environment, and the estimates of the qualitative indicators of the automated control system before and after modernization were obtained. **Conclusions.** The main calculations were performed using the author's software for assessing the quality indicators of linear dynamic systems and showed an improvement in response time due to a decrease in the control time from 15 to 6 s, an increase in the degree of stability from 0.2 to 0.5, and an increase in the system reliability by 10.3 %. All these changes do not affect the stability of the control system, but increase the efficiency and functionality of the technical water intake system. The performance of the 2nd lift pumping station is considered as an indicator of the modernization effectiveness. The calculations carried out using the author's software for assessing the economic efficiency of the technical system modernization show an increase in the expected productivity by 88 %. The expected payback period for the modernization will be 19 months.

Keywords: water intake, pumping station, level control system, automated control system, efficiency

For citation: Chkalova M. V., Pavlidis V. D. Modernization of the automated water level control system in the Pavlovskiy water intake storage reservoirs. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(4):418–437. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-4-418-437>.

Введение. Государственная политика в сфере водоснабжения и водоотведения направлена в первую очередь на обеспечение охраны здоровья и улучшения качества жизни населения.

По данным Росстата за 2021 г., в России свыше 25 % населения проживает в сельской местности. Обеспечение данной категории населения водными ресурсами – одна из актуальных проблем. Снабжение достаточным количеством воды сельского поселения позволяет поднять общий уровень его благоустройства, обеспечить бесперебойное снабжение качественной водой людей, животных и технологических процессов. Качество водоснабжения оказывает существенное влияние и на экономические по-

казатели региона: способствует повышению энергетической эффективности предприятий, обеспечению доступности водоснабжения и водоотведения для абонентов путем развития более эффективных форм управления этой инфраструктурой. Одним из направлений повышения ее эффективности становится реализация мероприятий по модернизации имеющихся объектов водоснабжения.

Водозабор играет определяющую роль в функционировании системы водоснабжения и, являясь ее первым звеном, представляет собой комплекс инженерных сооружений, оснащенных энергетическим и механическим оборудованием. Бесперебойная работа водозабора должна осуществляться при любых условиях забора воды, существенно изменяющихся в течение суток и по сезонам года [1, 2].

В современных условиях только замена изношенных инженерных сетей и производственного оборудования водозаборов не решит весь спектр проблем их функционирования, так как наряду с задачей поддержания их работоспособности необходимо поставить вопрос об эффективности работы всей технической системы водоснабжения (производительность, уровень энергопотребления, обеспечение качества всех технологических процессов) [1–3].

Один из путей достижения этой цели – модернизация автоматизированной системы управления предприятием водоснабжения.

Основными задачами такой автоматизированной системы являются:

- автоматическое поддержание уровня воды в резервуарах;
- программно-логическое управление подающими насосными агрегатами;
- контроль текущего состояния насосов;
- обеспечение работы алгоритмов защит и блокировок;
- увеличение ресурса оборудования за счет реализации алгоритмов равномерного использования агрегатов по заданной наработке.

Целью нашего исследования является повышение эффективности

технической системы водоснабжения сельского поселения. Основные этапы исследования проводились на базе инжиниринговой компании «АСУ ПРО» (г. Оренбург), объектом исследования являлись хранилища и насосы 2-го подъема Павловского водозабора (с. Павловка Оренбургского района).

Материалы и методы. За последние 10 лет рост количества жителей в с. Павловка составил более 20 %. Вследствие подключения новых потребителей, увеличилось соответственно потребление (расход) воды, уменьшился напор у потребителя (рисунок 1).

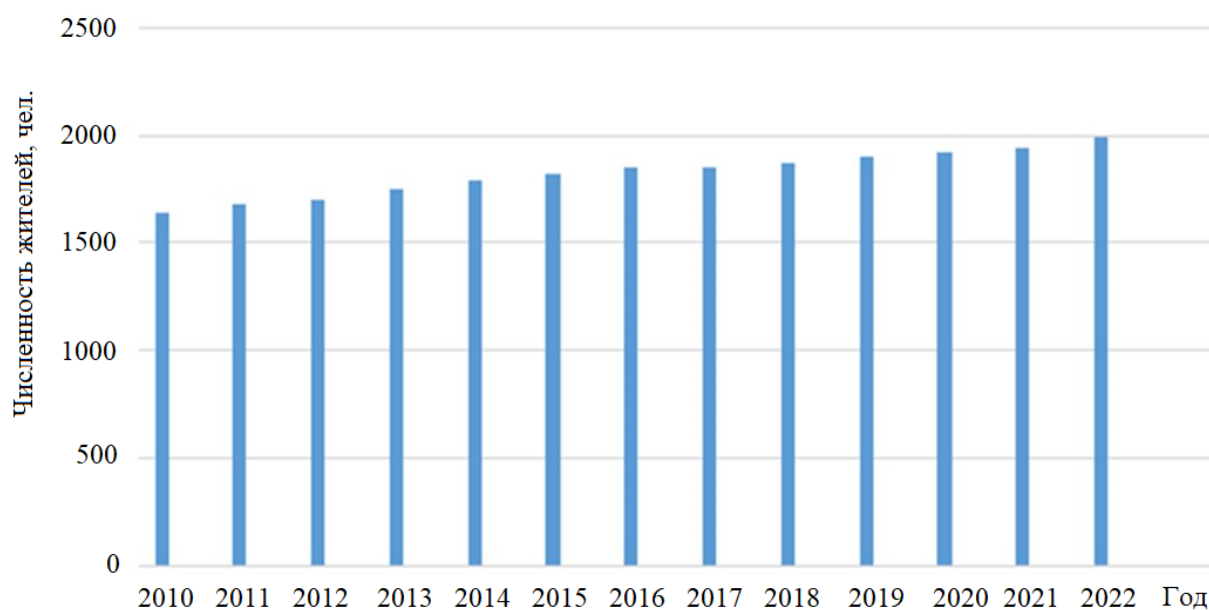


Рисунок 1 – Численность жителей села Павловка, 2010–2022 гг.
Figure 1 – Number of residents of Pavlovka village, 2010–2022

Очевидные технико-технологические решения проблемы бесперебойного водоснабжения жителей села, такие как увеличение диаметра используемых труб, ограничение потребления, повышение давления на выходе из насосной станции, практически трудно реализуемы. Следовательно, необходимо реализовать скрытые ресурсы самой технической системы обеспечения [4, 5]. Такую возможность предоставляет модернизация системы управления насосной станции 2-го подъема (рисунки 2, 3).

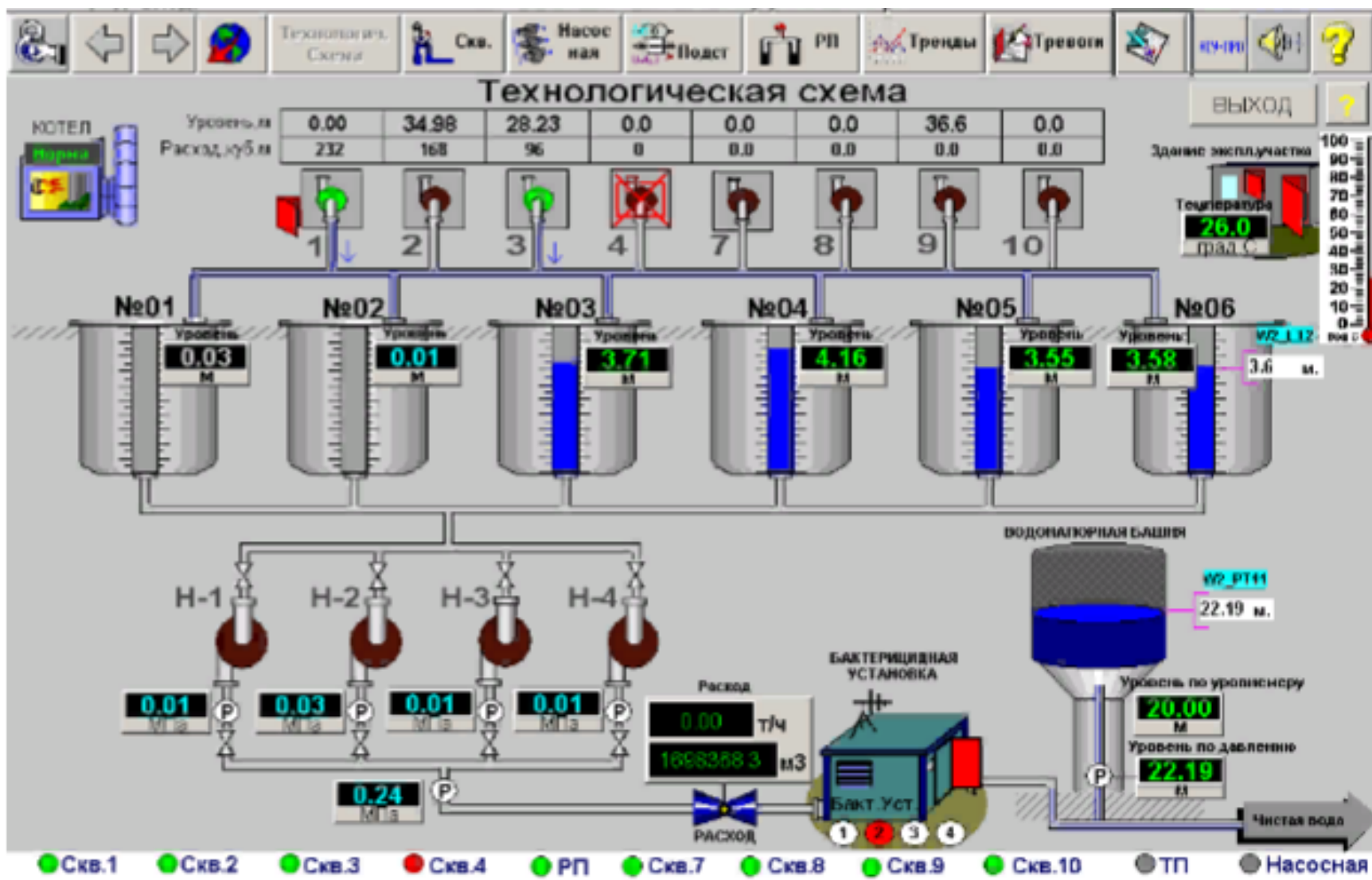


Рисунок 2 – Мнемосхема Павловского водозабора
 Figure 2 – Mnemonic diagram of the Pavlovskiy water intake

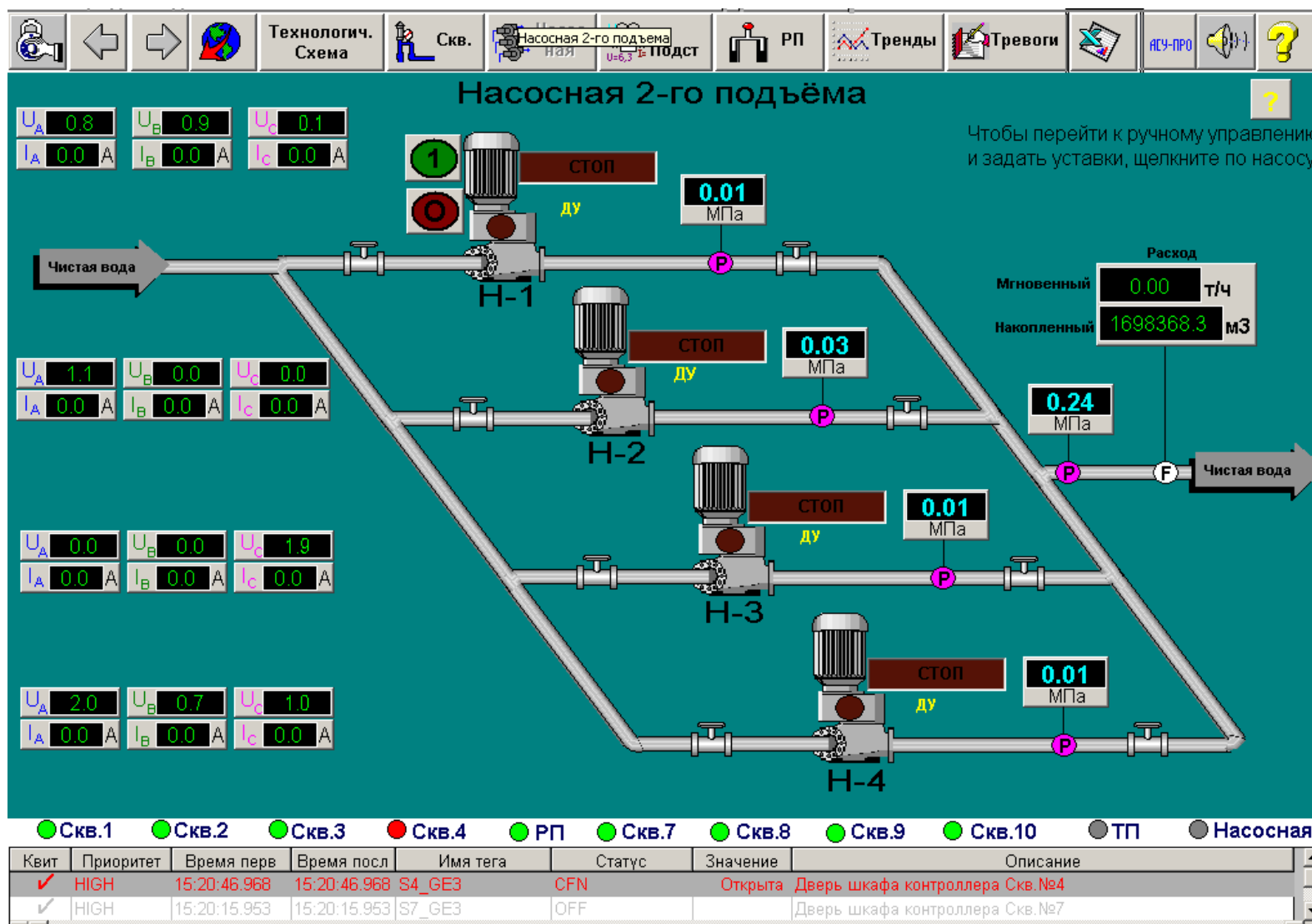


Рисунок 3 – Мнемосхема насосов 2-го подъема
 Figure 3 – Mnemonic diagram of the 2nd lift pumps

Исходным параметром для оптимизации системы управления насосами 2-го подъема является уровень в водонапорной башне, который обеспечивает резервирование и возможность непрерывной работы алгоритмов управления [6, 7].

На станции 2-го подъема основные насосы были укомплектованы преобразователями частоты, управление осуществлялось по датчикам давления. Однако анализ данных в режиме эксплуатации технической системы показал, что основные насосы работали с дебитом выше допустимого значения, это приводило к «сухому ходу» насосов и срабатыванию защиты от перегрева. Вынужденные простои насосов отрицательно сказывались на их надежности и приводили к повышенному износу рабочих органов, снижая их КПД [6–8].

Авторами предложена модернизация системы управления, направленная на увеличение производительности водозабора и ресурсосбережение: в хранилищах воды перед насосной станцией 2-го подъема поплавковые датчики уровня заменяются ультразвуковыми, на все насосы 2-го подъема устанавливаются частотные преобразователи, датчик давления из трубопровода переносится к водяному столбу водонапорной башни. Обратная связь обеспечивается промышленным логическим контроллером PR100 OVEN. Предложенное решение позволяет задавать и поддерживать суточный график распределения давления в трубопроводной системе водоснабжения поселка и обеспечивает стабилизацию эксплуатационных режимов работы насосов, быстрое действие при реагировании на аварийные отключения электроэнергии и сбой в работе насосов 2-го подъема [6–10]. Программное обеспечение интеллектуального модуля автоматизированной системы контроля уровня (ПЛК), созданное на основе технологической карты объекта, позволит определить оптимальный вариант режима работы насосной станции 2-го подъема, т. е. найти минимальную вместимость емкости бака башни и наименьшую частоту включения насосных агрегатов.

Результаты и обсуждение. Построим принципиальные схемы технической системы водозабора до и после модернизации на основе мнемосхем и нормативных документов, выданных на предприятии (рисунок 4).

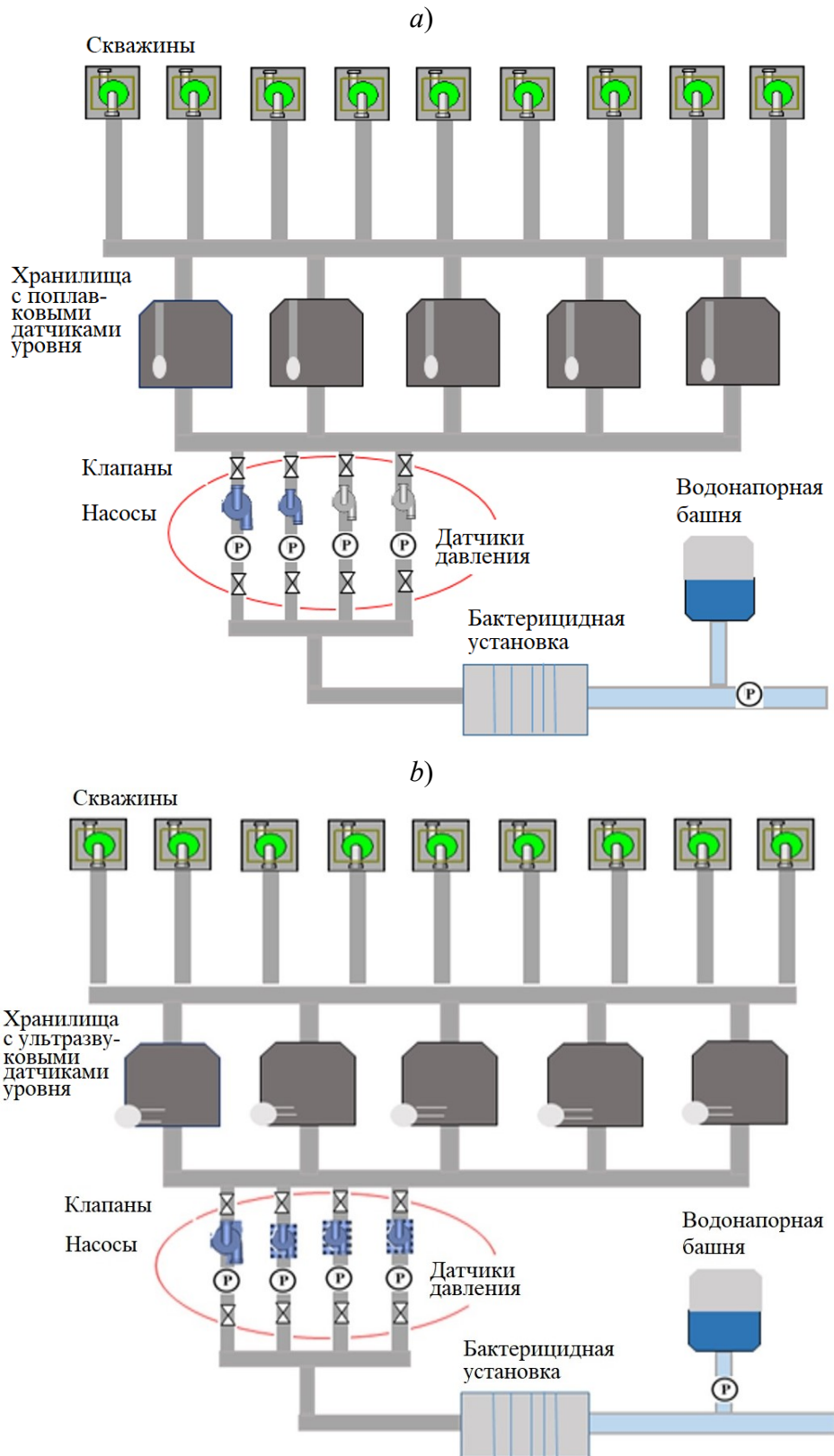


Рисунок 4 – Принципиальная схема водозабора:
a) до модернизации; b) после модернизации
Figure 4 – Schematic diagram of water intake:
a) before modernization; b) after modernization

На основе принципиальных и мнемосхем были построены функциональные схемы автоматизированной системы управления (АСУ) распределением рабочей нагрузки водозабора до и после модернизации (рисунок 5).

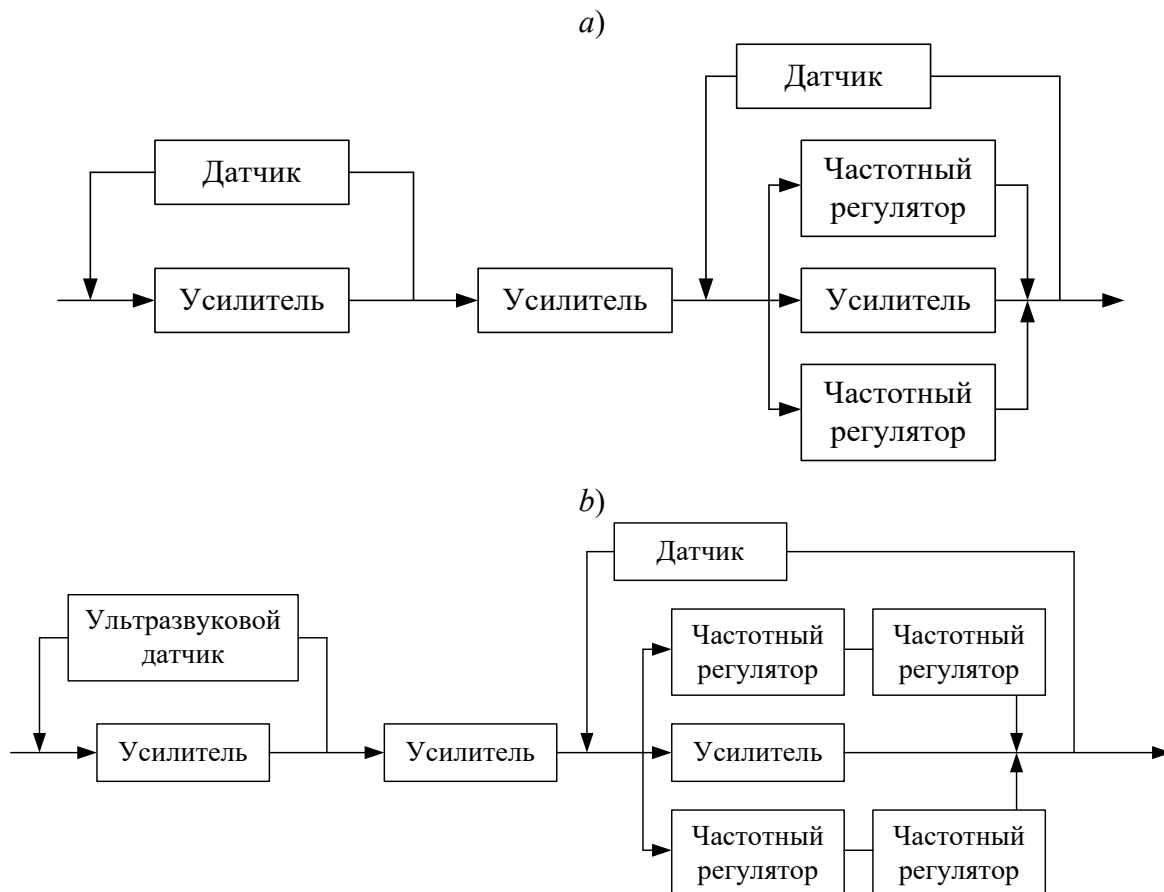


Рисунок 5 – Функциональная схема автоматизированной системы управления распределением рабочей нагрузки водозабора: а) до модернизации; б) после модернизации

Figure 5 – Functional diagram of the automated control system for the distribution of water intake workload: а) before modernization; б) after modernization

Авторами был проведен сравнительный анализ технических средств модернизации: преобразователей частоты векторных (ПЧВ), ультразвуковых датчиков уровня (таблицы 1, 2), и выбраны ПЧВ3 и ультразвуковой датчик уровня МПУ-4.

Для оценки качественных показателей АСУ распределением рабочей нагрузки водозабора до и после модернизации были построены структурные схемы с определением динамических звеньев на основе технических

характеристик оборудования и физической сущности производственных процессов (рисунок 6).

Таблица 1 – Анализ технических характеристик преобразователей частоты векторных

Table 1 – Analysis of technical characteristics of vector frequency converters

Параметр	ПЧВ1/ПЧВ2	ПЧВ3
Питающая сеть	0,75–2,2 кВт/0,75–22 кВт	0,75–90 кВт
Выходное напряжение	0,75–2,2 кВт/0,75–22 кВт	30,75–90 кВт
Выходная частота	0–600 Гц – при скалярном управлении/ 0–300 Гц – при векторном управлении	0–299 Гц
Режим управления	Скалярное/векторное управление (доступно только в модификациях ПЧВ1-х-В)	Векторное управление без/с обратной связью
Перегрузочная способность	1-фазные ПЧ: 150 % – 20 с, 180 % – 0,5 с; 3-фазные ПЧ: 150 % – 60 с, 180 % – 5 с, 200 % – 0,5 с	120 % – в течение 35 с; 140 % – в течение 6 с; 150 % – в течение 3 с

Таблица 2 – Анализ технических характеристик ультразвуковых датчиков уровня для хранилищ

Table 2 – Analysis of technical characteristics of ultrasonic level sensors for storage facilities

Модель	МПУ-4	МПУ-8	МПУ-12
Жидкость	4,00 м	8,00 м	12,00 м
Слепая зона	0,20 м	0,30 м	0,45 м

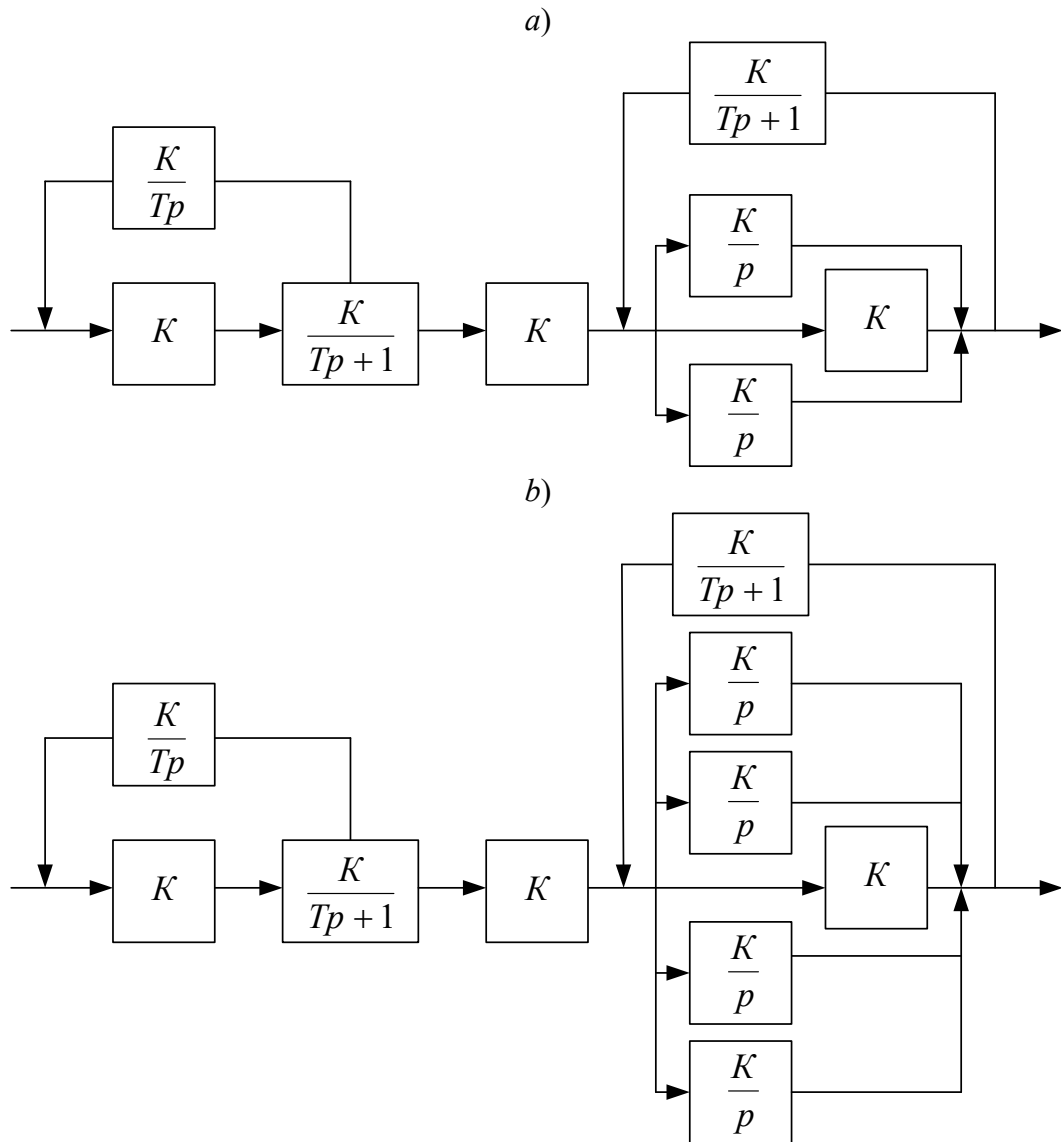
Расчеты оценок качественных показателей АСУ были проведены в среде динамического моделирования SimInTech (рисунок 7).

В качестве инженерно-математической модели АСУ распределением рабочей нагрузки водозабора были приняты передаточные функции системы до модернизации:

$$W(s) = \frac{1,92s^4 + 11,49s^3 + 3,58s^2 + 1,08s}{s^4 + 1,33s^3 + 2,583s^2 + 1,08s}, \quad (1)$$

и после модернизации:

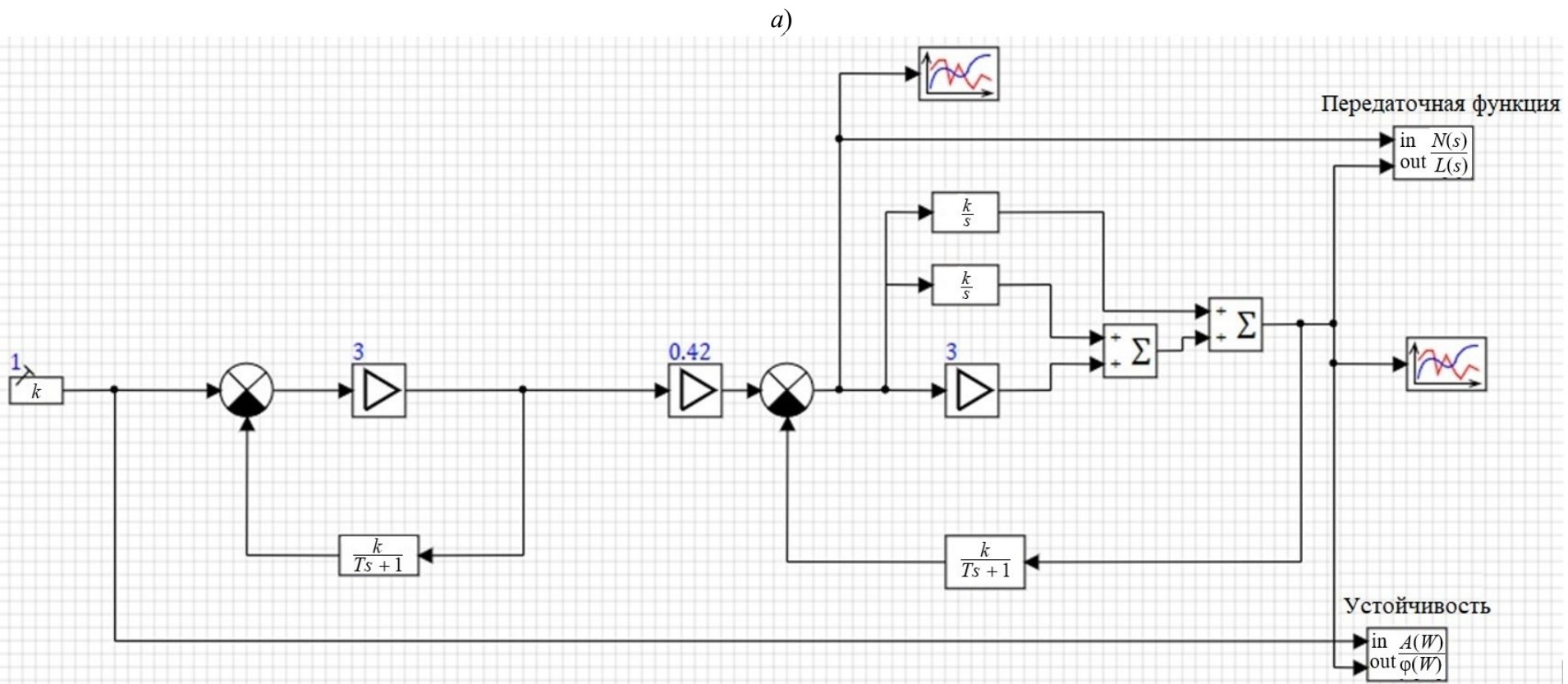
$$W(s) = \frac{1,46s^4 + 35,83s^3 + 2,08s^2 + 10s + 1}{s^4 + 1,66s^3 + 7,25s^2 + 3,33s + 5,12}. \quad (2)$$

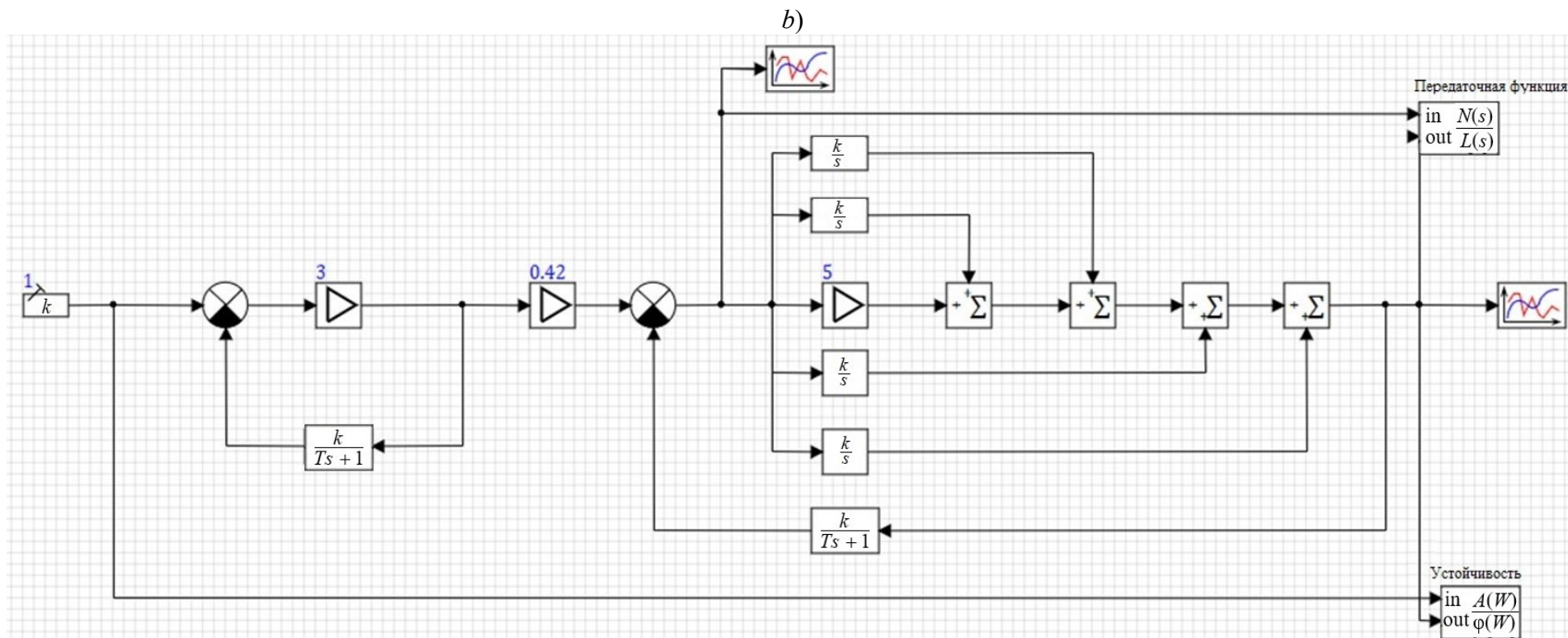


K – передаточная функция усилительного звена; $\frac{K}{p}$ – передаточная функция интегрирующего звена; $\frac{K}{Tp}$ – передаточная функция интегрирующего звена с усилением; $\frac{K}{Tp+1}$ – передаточная функция аperiodического звена 1-го порядка

K – transfer function of the amplifying link; $\frac{K}{p}$ – transfer function of the integrating link; $\frac{K}{Tp}$ – transfer function of the integrating link with amplification; $\frac{K}{Tp+1}$ – transfer function of the 1st order aperiodic link

Рисунок 6 – Структурная схема автоматизированной системы управления: а) до модернизации; б) после модернизации
Figure 6 – Structural diagram of the automated control system: а) before modernization; б) after modernization





$\frac{k}{s}$ – передаточная функция интегрирующего звена в среде SimInTech;

$\frac{k}{Ts + 1}$ – передаточная функция аperiodического звена 1-го порядка в среде SimInTech

$\frac{k}{s}$ – transfer function of the integrating link in the SimInTech environment;

$\frac{k}{Ts + 1}$ – transfer function of the 1st order aperiodic link in the SimInTech environment

**Рисунок 7 – Структурные схемы автоматизированной системы управления в SimInTech:
 а) до; б) после модернизации, со стандартным обозначением динамических звеньев**

**Figure 7 – Structural diagrams of the automated control system in SimInTech:
 a) before; б) after modernization, with standard designation of dynamic links**

Оценки качественных показателей были получены корневым методом [11, 12].

Оценим устойчивость системы управления с помощью критерия Ляпунова и определим степень устойчивости в области устойчивости η , оценим быстродействие системы временем регулирования $t_p \geq 3 / \eta$ (таблица 3).

Таблица 3 – Качественные показатели системы управления до и после модернизации

Table 3 – Quality indicators of the control system before and after modernization

Показатель	Оценка качественного показателя АСУ	
	до модернизации	после модернизации
Корни характеристического многочлена в алгебраической форме (i – мнимая единица)	$s_1 = -0,5 + 0i$ $s_2 = -0,2 + 0i$ $s_3 = -0,4 - 0,5i$ $s_4 = -0,4 + 0,5i$ в области устойчивости	$s_1 = -0,5 + 0,1i$ $s_2 = -0,5 - 0,1i$ $s_3 = -0,7 - 0,75i$ $s_4 = -0,7 + 0,75i$ в области устойчивости
Степень устойчивости η	0,2	0,5
Время регулирования t_p , с	15	6

Определим динамическую ошибку регулирования системы управления до модернизации:

$$\sigma < e^{-\frac{\pi}{\mu}} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где μ равен до модернизации:

$$\mu = \left| \frac{\beta}{\alpha} \right|_{\max} = \frac{0,5}{0,4} = 1,25; \quad (4)$$

β – мнимая часть характеристического корня;

α – действительная часть характеристического корня;

$$\sigma < e^{-\frac{\pi}{1,25}} \cdot 100 \% = 8,1 \%,$$

и после модернизации:

$$\mu = \left| \frac{\beta}{\alpha} \right|_{\max} = \frac{0,75}{0,7} = 1,071,$$

$$\sigma < e^{-\frac{\pi}{1,071}} \cdot 100 \% = 5,3 \%$$

Интерпретируем оценки качественных показателей АСУ до и после модернизации следующим образом: устойчивость системы не изменилась, степень устойчивости после модернизации повысилась с 0,2 до 0,5; время регулирования сократилось с 15 до 6 с, динамическая ошибка регулирования упала с 8,1 до 5,3 %, а значит, надежность системы повысилась на 10,3 % [11, 12].

Предложенная модернизация системы управления должна способствовать повышению эффективности технической системы водозабора. В качестве параметра оптимизации была выбрана производительность насосной станции 2-го подъема (таблица 4):

$$Q_c = \frac{1,36 \cdot k_\phi \cdot (H^2 - h^2)}{\lg \frac{R}{r}}, \quad (5)$$

где Q_c – производительность (среднесуточный объем перекачанной воды);

k_ϕ – коэффициент фильтрации;

H^2 – максимальный поток воды;

h^2 – минимальный поток воды;

R – радиус влияния;

r – радиус трубы.

Таблица 4 – Расчет показателей производительности насосов

Table 4 – Calculation of pump performance indicators

Показатель	До модернизации	После модернизации	Δ
$Q_c, \text{ м}^3$	292,4	550,8	258,4
k_ϕ	0,86	0,91	0,05
$H^2, \text{ м}^3$	300	600	300
$h^2, \text{ м}^3$	50	150	100
$R, \text{ м}$	0,25	0,25	0
$r, \text{ м}$	0,025	0,025	0
Δ – разность значений показателя до и после модернизации.			

Расчет значений показателей производительности насосов проводился по методике, представленной заказчиком, без учета понижающих факторов, связанных с технологией процесса.

Расчеты показывают, что в результате проведения предложенной модернизации АСУ распределением рабочей нагрузки водозабора производительность может увеличиться на 88 %.

Расчет окупаемости предлагаемой модернизации был проведен с использованием авторского программного средства [13], предполагаемый срок окупаемости составил 19 месяцев (рисунок 8).

Программа расчета экономической эффективности модернизации АСУ ТП

Годовой экономический эффект от модернизации производственных процессов:
$$\text{Э}_{\text{год}} = \Delta\Pi - E_n \cdot K_{\text{ед}}$$

Срок окупаемости затрат на модернизацию:
$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{ед}}}{\Delta\Pi}$$

Коэффициент экономической эффективности:
$$K_{\text{эф}} = \frac{\Delta\Pi}{K_{\text{ед}}}$$

Затраты на установку оборудования:
$$K_{\text{вп}} = K_{\text{об}} + K_{\text{монт}}$$

$K_{\text{об}}$	<input type="text" value="901400"/>	руб.	$K_{\text{вп}} = 901400 + 10000 = 911400$ руб.
$K_{\text{монт}}$	<input type="text" value="10000"/>	руб.	$\text{Э}_{\text{год}} = 38250 - 0,06 \cdot 60000 = 34650$ руб.
$\Delta\Pi$	<input type="text" value="38250"/>	руб.	$T_{\text{ок}} = 60000 / 38250 = 1,57$ года = 18,84 мес.
E_n	<input type="text" value="0,06"/>		$K_{\text{эф}} = 38250 / 60000 = 0,64$
$K_{\text{ед}}$	<input type="text" value="60000"/>	руб.	

$\Delta\Pi$ – прирост прибыли, вызванный внедрением средств автоматизации (в данном случае равен условно-годовой экономии); E_n – нормативный коэффициент экономической эффективности средств автоматизации; $K_{\text{ед}}$ – доля средств капитальных вложений, относящихся к представленной технологической линии; $K_{\text{об}}$ – стоимость оборудования; $K_{\text{монт}}$ – стоимость монтажа оборудования

$\Delta\Pi$ – increase in profit caused by the introduction of automation equipment (in this case equal to the conditional annual savings); E_n – standard coefficient of economic efficiency of automation equipment; $K_{\text{ед}}$ – share of capital investment funds related to the presented technological line; $K_{\text{об}}$ – cost of equipment; $K_{\text{монт}}$ – cost of equipment installation

Рисунок 8 – Фрагмент программы расчета срока окупаемости предлагаемой модернизации автоматизированной системы управления

Figure 8 – Fragment of the program for calculating the payback period of the proposed modernization of the automated control system

Выводы. Предложенная модернизация значительно улучшит показатели системы управления водозабором относительно распределения рабочей нагрузки, в частности контроля уровня воды, снизив время регулирования до 6 с и увеличив надежность системы на 10,3 %. Все эти изменения повысят эффективность и функциональность технической системы водозабора, о чем свидетельствуют расчеты увеличения предполагаемой производительности на 88 %.

Также стоит отметить, что доустановка частотных преобразователей стандартно снизит уровень энергопотребления технической системы водозабора примерно на 25–45 % за счет возможности регулирования мощности насосов 2-го подъема в зависимости от объема воды, который нужно подкачать. Это позволит увеличить срок службы насосов. Кроме того, ультразвуковые датчики помогут контролировать уровень воды в емкостях и резервуарах, что уменьшит риск утечек и переполнения.

Таким образом, модернизация системы управления распределением рабочей нагрузки Павловского водозабора с помощью включения в систему новых функциональных элементов (частотных регуляторов и ультразвуковых датчиков уровня) и создания дополнительных каналов обратной связи (ПЛК PR100 OVEN) будет способствовать обеспечению бесперебойного водоснабжения населения поселка даже в случае дальнейшего роста его количества.

Список источников

1. Хецуриани Е. Д., Гарбуз А. Ю., Хецуриани Т. Е. Научные основы разработки гидротехнических устройств для обеспечения надежности и безопасной работы водозаборов // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2021. Т. 11, № 4. С. 332–345. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1253> (дата обращения: 20.05.2024). DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-332-345. EDN: XTND0V.

2. Повышение надежности и экономичности систем водоснабжения и водоотведения / И. А. Каюмов, Ж. С. Нуруллин, А. Х. Низамова, И. Г. Шешегова // Фундаментальные исследования. 2016. № 12-5. С. 985–988. EDN: XRPJEL.

3. Гостищев В. Д., Пономаренко Т. С., Бреева А. В. Повышение рациональности использования водных ресурсов Чограйского водохранилища на основе имитационного водохозяйственного моделирования // Мелиорация и гидротехника [Электронный ре-

сурс]. 2021. Т. 11, № 3. С. 314–328. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1230> (дата обращения: 20.05.2024). DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-314-328. EDN: ABZYYG.

4. Кимяев И. Т., Соколов Б. В. Методология обеспечения жизнеспособности сложного объекта на основе управления его структурной динамикой // Мехатроника, автоматизация, управление. 2024. Т. 25, № 4. С. 167–176. DOI: 10.17587/mau.25.167-176. EDN: WLJGMQ.

5. Методы и модели управления состоянием технических объектов / Н. С. Асылбеков, Г. К. Аманова, М. Н. Уметбекова, С. Д. Осмонбекова, А. Канатбек // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2022. № 3. С. 1–7. DOI: 10.25791/pribor.3.2022.1324. EDN: DGQDQT.

6. Еловик В. Л. Особенности режимов работы насосных станций водозаборных сооружений подземных вод, систем канализации и комбинированных систем водоснабжения // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2020. № 1(229). С. 242–248. EDN: STIQRX.

7. Анализ возможности проектирования системы автоматического управления технологическим процессом водораспределения с использованием ПИД-регуляторов при управлении по верхнему бьефу в Донском магистральном канале / А. А. Ткачев, А. М. Анохин, И. Г. Литуновский, Д. А. Симончук // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2023. Т. 13, № 4. С. 362–384. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1415> (дата обращения: 20.05.2024). DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-4-362-384. EDN: KKKTVI.

8. Объекты с новыми типами обратной связи / Л. П. Мышляев, Г. В. Макаров, М. М. Свинцов, И. Р. Загидулин // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2024. № 4. С. 31–39. DOI: 10.25791/pribor.4.2024.1491. EDN: KVIPUK.

9. Корчевская Ю. В., Троценко И. А., Назаркин Э. Е. Модернизация насосной станции технического водоснабжения на примере АО «Омский каучук» // Природообустройство. 2021. № 5. С. 111–116. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-5-111-116. EDN: WVMSLW.

10. Управление насосами артезианских скважин и станции водозабора // Автоматизация в промышленности. 2011. № 12. С. 37–39. EDN: OWHYJD.

11. Шевнина Ю. С. Моделирование состояния технологического оборудования в составе информационно-управляющей системы // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2024. № 1. С. 29–35. DOI: 10.25791/pribor.1.2024.1468. EDN: DQCISF.

12. Программа расчета качественных показателей линейных динамических систем: свидетельство о гос. регистрации прогр. для ЭВМ № 2022664211 Рос. Федерация / Павлидис В. Д., Чкалова М. В., Хафизов Д. Р., Степанов А. А.; правообладатели Павлидис В. Д., Чкалова М. В., Хафизов Д. Р., Степанов А. А. Заявка № 2022663564; заявл. 12.07.22; опубл. 26.07.22, Бюл. № 8. EDN: QWWUTT.

13. Программа расчета экономической эффективности модернизации автоматизированной системы управления технологическим процессом: свидетельство о гос. регистрации прогр. для ЭВМ № 2023615845 Рос. Федерация / Павлидис В. Д., Чкалова М. В., Скопинцева В. Ю., Степанов А. А.; правообладатель Оренбург. гос. аграр. ун-т. Заявка № 2023613153; заявл. 21.02.23; опубл. 20.03.23, Бюл. № 3. EDN: AWIDHI.

References

1. Khetsuriani E.D., Garbuz A.Yu., Khetsuriani T.E., 2021. [Scientific basis for developing hydraulic engineering structures to ensure the reliability and safe operation of water intakes]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 11, no. 4, pp. 332-345, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1253> [accessed 20.05.2024], DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-332-345, EDN: XTNDQV. (In Russian).

2. Kayumov I.A., Nurullin Zh.S., Nizamova A.Kh., Sheshhegova I.G., 2016. *Povyshenie*

nadezhnosti i ekonomichnosti sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya [Improving the reliability and efficiency of water supply and sanitation systems]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research], no. 12-5, pp. 985-988, EDN: XRPJEL. (In Russian).

3. Gostishchev V.D., Ponomarenko T.S., Breeva A.V., 2021. [Improving the rational use of water resources of the Chograi reservoir based on water simulation modeling]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 11, no. 3, pp. 314-328, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1230> [accessed 20.05.2024], DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-314-328, EDN: ABZYGY. (In Russian).

4. Kimyaev I.T., Sokolov B.V., 2024. *Metodologiya obespecheniya zhiznesposobnosti slozhnogo ob"ekta na osnove upravleniya yego strukturnoy dinamiko*y [Methodology for ensuring the viability of a complex object based on managing its structural dynamics]. *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravleniye* [Mechatronics, Automation, Control], vol. 25, no. 4, pp. 167-176, DOI: 10.17587/mau.25.167-176, EDN: WLJGMQ. (In Russian).

5. Asylbekov N.S., Amanova G.K., Umetbekova M.N., Osmonbekova S.D., Kanatbek A., 2022. *Metody i modeli upravleniya sostoyaniem tekhnicheskikh ob"ektov* [Methods and models for managing the state of technical objects]. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika* [Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics], no. 3, pp. 1-7, DOI: 10.25791/pribor.3.2022.1324, EDN: DGQDQT. (In Russian).

6. Elovik V.L., 2020. *Osobennosti rezhimov raboty nasosnykh stantsiy vodozabornykh sooruzheniy podzemnykh vod, sistem kanalizatsii i kombinirovannykh sistem vodosnabzheniya* [Features of operating modes of pumping stations of groundwater intake structures, sewerage systems and combined water supply systems]. *Trudy BGTU. Seriya 2: Khimicheskie tekhnologii, biotekhnologiya, geoekologiya* [Proceedings of BSTU. Series 2: Chemical Technologies, Biotechnology, Geoecology], no. 1(229), pp. 242-248, EDN: CTIQRX. (In Russian).

7. Tkachev A.A., Anokhin A.M., Litunovsky I.G., Simonchuk D.A., 2023. [Opportunity analysis of designing an automatic control system for the technological process of water distribution using PID controllers in upstream control in the Donskoy Main Channel]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 13, no. 4, pp. 362-384, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1415> [accessed 20.05.2024], DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-4-362-384, EDN: KKKTBI. (In Russian).

8. Myshlyaev L.P., Makarov G.V., Svintsov M.M., Zagidulin I.R., 2024. *Ob"ekty s novymi tipami obratnoy svyazi* [Objects with new types of feedback]. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika* [Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics], no. 4, pp. 31-39, DOI: 10.25791/pribor.4.2024.1491, EDN: KVIPUK. (In Russian).

9. Korchevskaya Yu.V., Trotsenko I.A., Nazarkin E.E., 2021. *Modernizatsiya nasosnoy stantsii tekhnicheskogo vodosnabzheniya na primere AO "Omskiy kauchuk"* [Modernization of the pumping station of technical water supply on the example of JSC "Omsk kauchuk"]. *Prirodobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 5, pp. 111-116, DOI: 10.26897/1997-6011-2021-5-111-116, EDN: WVMSLW. (In Russian).

10. *Upravlenie nasosami artezijskikh skvazhin i stantsii vodozabora* [Control of artesian well pumps and water intake stations]. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti* [Automation in Industry], 2011, no. 12, pp. 37-39, EDN: OWHYJD. (In Russian).

11. Shevnina Yu.S., 2024. *Modelirovanie sostoyaniya tekhnologicheskogo oborudovaniya v sostave informatsionno-upravlyayushchey sistemy* [Modeling the state of technological equipment as part of an information and control system]. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika* [Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics], no. 1, pp. 29-35, DOI: 10.25791/pribor.1.2024.1468, EDN: DQCISF. (In Russian).

12. Pavlidis V.D., Chkalova M.V., Khafizov D.R., Stepanov A.A., 2022. *Programma rascheta kachestvennykh pokazateley lineynykh dinamicheskikh sistem* [Program for Calculating the Qualitative Indicators of Linear Dynamic Systems]. Certificate of State Registration of Computer Programs of the Russian Federation, no. 2022664211, EDN: QWWUTT. (In Russian).

13. Pavlidis V.D., Chkalova M.V., Skopintseva V.Yu., Stepanov A.A., 2023. *Programma rascheta ekonomicheskoy effektivnosti modernizatsii avtomatizirovannoy sistemy upravleniya tekhnologicheskim protsessom* [Program for Calculating the Economic Efficiency of Upgrading an Automated Process Control System]. Certificate of State Registration of Computer Programs of the Russian Federation, no. 2023615845, EDN: AWIDHI. (In Russian).

Информация об авторах

М. В. Чкалова – доцент кафедры информатики и прикладной математики, кандидат технических наук, доцент, Оренбургский государственный аграрный университет, Институт управления рисками и комплексной безопасности, Оренбург, Российская Федерация, chkalovamv@mail.ru, AuthorID: 761450, ORCID: 0000-0002-6802-5832;

В. Д. Павлидис – профессор кафедры информатики и прикладной математики, кандидат физико-математических наук, профессор, Оренбургский государственный аграрный университет, Институт управления рисками и комплексной безопасности, Оренбург, Российская Федерация, pavlidis@mail.ru, AuthorID: 77606, ResearcherID: G-3262-2017, Scopus AuthorID: 57209274468, ORCID: 0000-0001-6967-9478.

Information about the authors

M. V. Chkalova – Associate Professor of the Department of Informatics and Applied Mathematics, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Orenburg State Agrarian University, Institute for Risk Management and Integrated Security, Orenburg, Russian Federation, chkalovamv@mail.ru, AuthorID: 761450, ORCID: 0000-0002-6802-5832;

V. D. Pavlidis – Professor of the Department of Informatics and Applied Mathematics, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Orenburg State Agrarian University, Institute for Risk Management and Integrated Security, Orenburg, Russian Federation, pavlidis@mail.ru, AuthorID: 77606, ResearcherID: G-3262-2017, Scopus AuthorID: 57209274468, ORCID: 0000-0001-6967-9478.

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 08.05.2024; одобрена после рецензирования 29.08.2024; принята к публикации 10.09.2024.

The article was submitted 08.05.2024; approved after reviewing 29.08.2024; accepted for publication 10.09.2024.