

УДК 626.82

DOI: 10.31774/2658-7890-2019-2-100-116

В. И. Коржов, А. А. Белоусов

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

Т. В. Матвиенко, А. Б. Белоусов

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова –
филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск,
Российская Федерация

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАССИВНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВЕНЬЕВ ВОДОРАСПРЕДЕЛЬНОЙ СЕТИ

Целью исследований являлось изучение возможностей использования данных об эксплуатации оросительной системы для определения гидродинамических характеристик, используемых для управления на ней водораспределением. Взят один из фрагментов диспетчерского управления водораспределением на участке Миусской оросительной системы, на котором в течение наблюдаемого промежутка времени (времени пассивного эксперимента) проводилось неоднократное перерегулирование расхода воды. Определено, что описание процессов перерегулирования расходов на участках каналов может быть достигнуто путем их автономного описания на разных характерных временных интервалах процесса перерегулирования. В состав этих интервалов вошли: время добегания измененного расхода от источника водоподачи до точки контроля, время перехода значений расхода с одного установившегося значения на другой, время нового установившегося значения расхода. Выдвинута гипотеза о том, что при использовании принципа регулирования по верхнему бьефу переходы регулируемых расходов с одних значений на другие, независимо от их количественных значений, могут описываться единой аналитической функцией, приведенной к абсолютной шкале. Зависимость, описывающую переходный процесс перерегулирования расхода, предложено описывать в виде экспоненциальной функции. Проверка этой гипотезы на адекватность показала ее научную обоснованность. Предложенная методика применения пассивного эксперимента, основанная на использовании результатов фактической эксплуатации оросительной системы, позволяет значительно упростить процедуру определения ее гидродинамических характеристик, используемых для управления водораспределением, а также учесть те возможные отклонения от проектных значений и другие особенности, которые могут возникнуть в процессе ее эксплуатации.

Ключевые слова: оросительные системы, водораспределение, параметры управления, каналы, гидродинамические характеристики, пассивный эксперимент, переходные процессы, аналитическое описание.

V. I. Korzhov, A. A. Belousov

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

T. V. Matvienko, A. B. Belousov

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State
Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

USING PASSIVE EXPERIMENT FOR DETERMINING HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS OF WATER DISTRIBUTION NETWORK ELEMENTS

The purpose of the research was to study the possibilities of using data on irrigation system operation to determine the hydrodynamic characteristics used for its water distribution control. One of the fragments of the water distribution dispatch control was taken in the area of the Miuss irrigation system where the multiple water flow adjustment was carried out during the observed period of time (the time of the passive experiment). It was found that the description of the overregulation processes of water discharge on canal sections can be performed by their autonomous description in different characteristic time intervals of the overregulation process. The lag time of changed flow from the water supply source to the control point, the transition time of discharge from one steady flow value to another one, the time of the new steady-state water discharge are included into such time intervals. It was hypothesized that when using the principle of regulation along the upstream pool the transitions of regulated discharges from one point to another, regardless of their quantitative values, can be described by a single analytical function reduced to an absolute scale. It is proposed to describe the dependence depicting the transient process of flow overregulation, as an exponential function. Testing this hypothesis for adequacy has shown its scientific validity. The proposed methodology of applying a passive experiment based on the results of the actual operation of the irrigation system makes it possible to simplify significantly the procedure for determining its hydrodynamic characteristics used to control water distribution, as well as to take into account possible deviations from design values and other features that may arise during its operation.

Key words: irrigation systems, water distribution, control parameters, canals, hydrodynamic characteristics, passive experiment, transition processes, analytical description.

Введение. Описание гидравлических режимов движения воды на водораспределительной сети является неотъемлемой частью теории управления водораспределением на оросительных системах [1]. Оно позволяет оценить поведение системы в различных режимах ее функционирования и выбрать наиболее приемлемые, с точки зрения управления, решения [2]. При этом, как правило, средства описания этих режимов могут использоваться как на стадии проектирования водораспределительной сети, так и непосредственно в контуре оперативного управления водораспределением на ней [3]. В соответствии с этим, к ним могут предъявляться разные требования.

В первом случае средства математического описания должны обеспечивать возможность определения проектных технических и эксплуатационных характеристик элементов системы, ее размеров, прочности, надежности и т. п. При этом применительно к задачам водораспределения, технические характеристики элементов водораспределительной сети

должны назначаться с учетом проявления возможных гидравлических процессов движения воды, связанных со сменой режимов работы насосных станций, гидротехнических сооружений, дождевальных агрегатов и т. п. [4]. Недоучет последствий от этих процессов может приводить к возникновению нештатных ситуаций на системе и даже созданию непредвиденных аварийных ситуаций в виде переливов воды через бровки каналов, опорожнениям каналов или их размывам [5].

Во втором случае, при проведении оперативного управления, средства математического описания должны быть частью алгоритма управления водораспределением [6]. Поэтому, они должны быть достаточно мобильными, обладать хорошим быстродействием, учитывать особенности конкретной оросительной системы, быть достаточно простыми в эксплуатации [7].

Одной из наиболее важных характеристик оперативного управления водораспределением на оросительной системе является реакция системы на постоянно возникающие на ней ситуации, связанные с изменением режимов работы водопотребителей, регулирующих сооружений, насосных станций. Это обусловлено тем, что ввиду инерционности ее звеньев (каналов), перерегулирование в них не может осуществляться мгновенно и, поэтому, необходимо знать законы перехода регулируемой величины во времени из одного равновесного состояния в другое, т. е. их переходные характеристики [8].

Эти характеристики могут быть известны из математического описания объекта, полученного аналитически, а также экспериментально.

Аналитическое нахождение этих характеристик является задачей трудоемкой требующей большого количества данных об объекте применения достаточно сложного математического аппарата. К тому же многие характеристики (знание которых, по сути, не требуется для нужд управления водораспределением) могут достаточно быстро меняться в процессе эксплуатации системы, а, значит, приводить к дополнительным погрешностям [9].

В связи с этим, для определения динамических характеристик элементов системы, необходимых для реализации задач управления, используют практику их получения путем проведения на ней необходимых экспериментов с последующей обработкой полученных результатов¹.

Получение исходного материала для описания переходных характеристик возможно путем активного или пассивного экспериментирования [10].

Метод активного эксперимента основан на использовании определенных искусственных возмущений, вводимых в объект по заранее спланированной программе. Введение искусственных возмущений позволяет целенаправленно и быстро вскрывать нужные зависимости между параметрами.

Метод пассивного эксперимента основан на регистрации контролируемых параметров процессов в режиме нормальной работы объекта, без внесения каких-либо преднамеренных возмущений, т. е. в режиме штатного управления водораспределением на оросительной системе.

И первый и второй способ имеют место быть в условиях эксплуатации оросительной системы.

Однако активные эксперименты не всегда могут быть реализованы на действующих объектах, т. к. они требуют вмешательства в ход технологического процесса и при этом возникают связанные с этим «неудобства»: срывы своевременной подачи воды водопотребителям, образование нештатных или даже аварийных ситуаций и т. п. [11].

Пассивные же эксперименты требуют более тщательного контроля за ходом технологического процесса водораспределения, протоколирования его результатов, последующей математической обработки. Использование в контуре мобильных средств информационно-технологической поддержки управления водораспределением и современных средств связи

¹ Красовский, М. Ю. Совершенствование способов и технических средств автоматизации водораспределения в открытых оросительных системах: дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02: защищена 25.09.87 / Красовский Михаил Юрьевич. – Новочеркасск: НИМИ, 1987. – 257 с.

телемеханики позволяет эксплуатационному персоналу в настоящее время значительно упростить эту работу и производить экспериментальные исследования непосредственно во время проведения штатного режима управления водораспределением [12].

В связи с вышеизложенным, целью настоящих исследований являлось изучение возможностей применения пассивного эксперимента для определения динамических характеристик звеньев водораспределительной сети, используемых для управления водораспределением. Для этого были использованы результаты оперативного управления водораспределением на действующей оросительной системе и определена методика их использования.

Материалы и методы. Поскольку к основным объектам управления водораспределением в открытых оросительных системах относятся расходы и уровни воды, то целью экспериментов было определено исследование динамики изменения расходов воды на одном из действующих участков оросительной системы.

Для проведения эксперимента была использована следующая методика.

1 За начало пассивного эксперимента выбирался момент времени, когда на исходном для проведения эксперимента участке системы (канала) в течение двух-трех и более часов не производилось никаких управляющих воздействий (т. е. ее состояние можно было характеризовать как «установившийся режим»).

2 Фиксировался момент времени изменения подачи воды в контур регулирования (определяемый штатной, предусмотренной режимом управления водораспределением необходимостью).

3 С помощью имеющихся на исследуемом объекте средств измерений и системы телемеханики производились измерения управляемого параметра (расхода) в исследуемом створе системы (канала).

4 Данные считывались и фиксировались с заданной периодичностью

до достижения нового установившегося значения контролируемого параметра (расхода).

5 Аналогичным образом эксперимент продолжался при последующих перерегулировках подачи воды в контур регулирования.

6 По окончании эксперимента производилась обработка полученной информации, и определялись динамические характеристики объекта управления, необходимые для обеспечения управления водораспределением.

В качестве объекта исследований был определен участок магистрального канала (МК) Миусской оросительной системы Ростовской области. Он включил в себя водоподающую головную насосную станцию (ГНС), участок открытого магистрального канала и два регулирующих перегораживающих сооружения, подающих воду в нижележащие магистральные каналы (МР-1 и МР-2).

Исходными требованиями, сложившимися на момент проведения эксперимента, были следующие штатные условия эксплуатации водораспределительной сети.

На момент начала эксперимента в магистральный канал в течение 2,5 ч расход не подавался. Маневрирование затворами перегораживающих сооружений, регулирующих подачу в межхозяйственные распределители МР-1 и МР-2 за вышеуказанный период, не производилось.

За счет объема, накопленного в магистральном канале в течение предыдущего интервала его работы, в нижележащие бьефы подавался расход, равный 80 л/с. В результате этого уровень воды в верхнем бьефе перегораживающих сооружений за время наблюдений изменился от 1,52 до 1,48 м. Однако, учитывая, что изменение уровня за наблюдаемый период не превысило величину допускаемой погрешности измерений (5 %) данный режим движения воды в канале был принят как установившийся.

Расход, подаваемый в контур регулирования ГНС, определялся по производительности входящих в ее состав насосных агрегатов (4 агрегата по 1,44 м³/с каждый).

В качестве точки контроля регулируемых расходов был определен верхний бьеф регулирующих перегораживающих сооружений, подающих воду в МР-1 и МР-2. Расход в точке контроля определялся по показаниям уровнемеров, расположенных в верхнем и нижнем бьефах этих сооружений и величине открытия их щитов. Перерасчет этих показаний в значения расходов осуществлялся с помощью тарифовочных таблиц на данные сооружения. Данные считывались с интервалом 5 мин.

Под изменением режимов работы понимались различные расходы подачи воды в магистральный канал, кратные производительности насосных агрегатов ГНС ($1,44 \text{ м}^3/\text{с}$).

К особенностям проведения эксперимента относилось то, что в связи с необходимостью соблюдения принятой на системе технологией регулирования по верхнему бьефу, производилась стабилизация уровня воды в верхнем бьефе МР-1 (1,5 м).

Результаты и обсуждение. В основу эксперимента был взят фрагмент оперативного управления водораспределением на системе, включивший в себя три изменения режимов подачи воды в систему. В соответствии с этим в составе эксперимента были выделены три опыта.

В состав первого опыта вошло включение одного насосного агрегата и изменение подаваемого в систему расхода с $0,00$ до $1,44 \text{ м}^3/\text{с}$. Время наблюдений за изменением расходов в точке контроля составило 55 мин.

В состав второго опыта вошло включение еще одного (второго) насосного агрегата и увеличение подаваемого в систему расхода с $1,44$ до $2,88 \text{ м}^3/\text{с}$. Время наблюдений составило 75 мин.

И, наконец, в состав третьего опыта вошло отключение обоих насосных агрегатов и снижение подаваемого в систему расхода с $2,88$ до $0,00 \text{ м}^3/\text{с}$. Время наблюдения составило более 70 мин.

Протоколы фрагмента процесса водораспределения и выделенных опытов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Фрагмент оперативного управления водораспределением на исследуемом участке водораспределительной сети

Вре- мя, мин	Расход на входе, м ³ /с	Расход в точке кон- троля, м ³ /с	Вре- мя, мин	Расход на входе, м ³ /с	Расход в точке кон- троля, м ³ /с	Вре- мя, мин	Расход на входе, м ³ /с	Расход в точке кон- троля, м ³ /с
Опыт № 1			Опыт № 2			Опыт № 3		
0	1,44	0,00	55	2,88	1,47	135	0,00	2,85
5	1,44	0,00	60	2,88	1,46	140	0,00	2,87
10	1,44	0,00	65	2,88	1,44	145	0,00	2,86
15	1,44	0,00	70	2,88	1,46	150	0,00	2,82
20	1,44	0,00	75	2,88	1,50	155	0,00	2,80
25	1,44	0,74	80	2,88	1,90	160	0,00	2,00
30	1,44	1,35	85	2,88	2,70	165	0,00	0,74
35	1,44	1,37	90	2,88	2,78	170	0,00	0,28
40	1,44	1,40	95	2,88	2,80	175	0,00	0,20
45	1,44	1,45	100	2,88	2,84	180	0,00	0,14
50	1,44	1,47	105	2,88	2,84	185	0,00	0,09
			110	2,88	2,86	190	0,00	0,07
			115	2,88	2,90	195	0,00	0,05
			120	2,88	2,90	200	0,00	0,07
			125	2,88	2,90	205	0,00	0,05
			130	2,88	2,88			

Графики изменения расходов в канале в течение эксперимента приведены на рисунке 1.

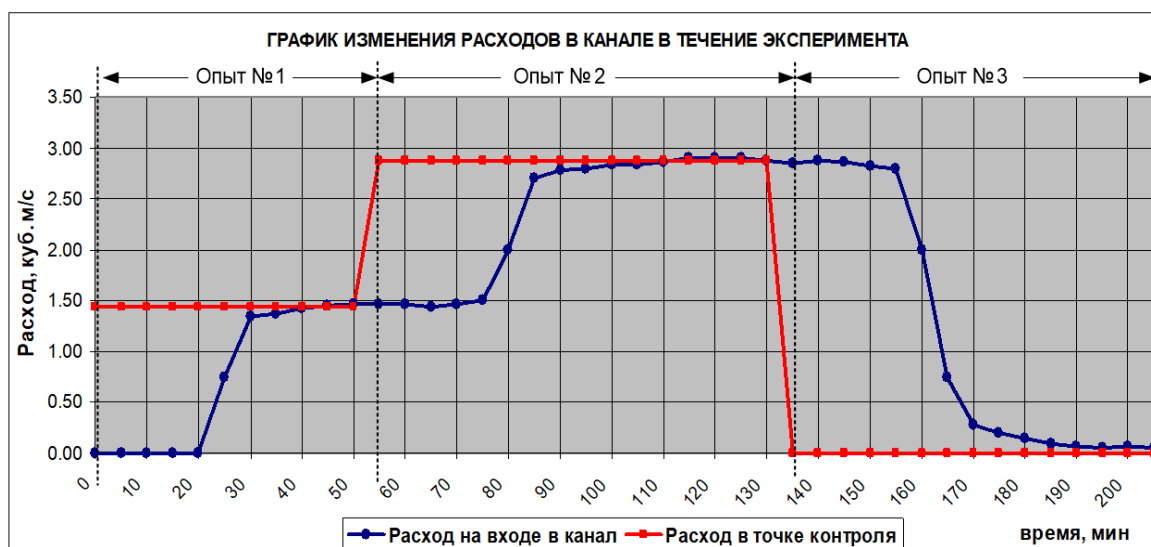


Рисунок 1 – Графики изменения расходов в канале в течение эксперимента

Для оценки гидродинамических характеристик исследуемого участка канала, полученных в каждом из выделенных опытов, результаты были приведены к единой шкале времени (рисунок 2).

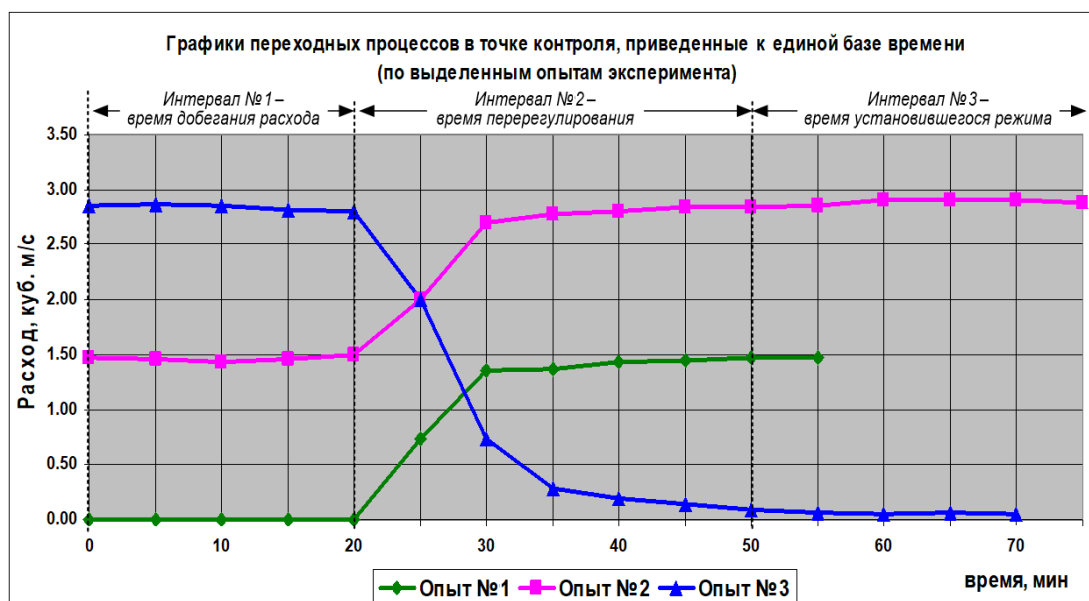


Рисунок 2 – Графики переходных процессов перерегулирования (по выделенным опытам), приведенные к единой шкале времени

Анализ полученных данных показал, что на всех трех графиках переходных процессов можно выделить три характерных интервала времени (рисунок 2):

- № 1 – интервал, на котором значение расхода в точке контроля практически не изменяется (это связано со временем добегающего расхода от входа в канал до точки его контроля);
- № 2 – интервал, определяющий время перерегулирования расхода с начального значения до вновь устанавливаемого;
- № 3 – интервал, на котором значение вновь устанавливаемого значения расхода выходит на новый установившийся режим и становится соизмеримым с погрешностью его измерения.

Было отмечено, что, несмотря на разные значения перерегулируемых расходов (от 0,00 до 1,44; от 0,144 до 2,88 и от 2,88 до 0,00 м³/с), интервалы перерегулирования для всех трех опытов остаются примерно одинаковыми. В частности, применительно к проведенным экспериментам они составили:

- для интервала № 1 – с 0-й до 20-й мин;
- для интервала № 2 – с 20-й до 50-й мин;
- для интервала № 3 – начиная с 50-й мин и далее.

Это позволило выдвинуть гипотезу о том, что при использовании способа регулирования по верхнему бьефу гидродинамические переходные характеристики участка канала, используемые для нужд водораспределения, могут быть описаны с достаточной степенью точности единой аналитической зависимостью, приведенной к абсолютной шкале ее значений. Для проверки этой гипотезы данные каждого из опытов были приведены к абсолютной 100%-ной шкале (таблица 2).

Таблица 2 – Значения регулируемых расходов по интервалам времени, приведенные к 100%-ной шкале

Время, мин	Значение по 100%-ной шкале	Погрешность, %	Значение по 100%-ной шкале	Погрешность, %	Значение по 100%-ной шкале	Погрешность, %	Аналитическое описание, %
Опыт № 1		Опыт № 2		Опыт № 3			
Интервал № 1							
0	0,0	0,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	-1,4	-1,4	0,3	0,3	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	1,7	0,0
20	0,0	0,0	2,8	2,8	2,4	2,4	0,0
Интервал № 2							
20	0,0	0,0	2,8	2,8	2,4	2,4	0,0
25	51,4	1,0	37,5	-12,8	30,2	-20,1	50,3
30	93,8	18,4	86,1	10,8	74,0	-1,4	75,3
35	95,1	7,4	91,7	3,9	89,9	2,2	87,8
40	99,3	5,4	93,1	-0,9	92,7	-1,2	93,9
45	100,7	3,7	95,8	-1,1	94,8	-2,2	97,0
50	102,1	3,6	95,8	-2,7	96,5	-2,0	98,5
Интервал № 3							
50	102,1	3,6	95,8	-2,7	96,5	-2,0	98,5
55			97,2	-2,0	97,2	-2,0	99,3
60			100,0	0,4	97,9	-1,7	99,6
65			100,0	0,2	97,2	-2,6	99,8
70			100,0	0,1	97,9	-2,0	99,9
75			98,6	-1,3			100,0

Поскольку, как было показано ранее, поведение системы на разных интервалах регулирования проявляется по-разному, то его математическое описание может быть записано в следующем виде:

$$Q(t) = Q_{\text{нач}} \text{ для } 0 \leq t \leq t_{\text{доб}};$$

$$Q(t) = Q_{\text{кон}} \cdot Y(t - t_{\text{доб}}) \text{ для } t_{\text{доб}} \leq t \leq t_{\text{уст}};$$

$$Q(t) = Q_{\text{кон}} \text{ для } t \geq t_{\text{уст}},$$

где $Q(t)$ – значение приведенного расхода в точке контроля в момент текущего времени t , %;

$Q_{\text{нач}}$, $Q_{\text{кон}}$ – значения приведенных расходов на начало и конец перерегулирования соответственно, %;

$t_{\text{доб}}$ – время добегания измененного расхода от входа до точки контроля, мин;

$Y(t - t_{\text{доб}})$ – функция, описывающая форму переходного процесса перерегулирования расхода от $Q_{\text{нач}}$ к $Q_{\text{кон}}$;

$t_{\text{уст}}$ – время установления нового расхода в точке контроля, мин.

Отметим, что кажущееся «не очень удобным» предложенное «поинтервальное» описание процесса легко может быть реализовано современными компьютерными средствами, имеющими широкие алгоритмические (и логические) возможности.

Очевидно, что описание переходных процессов перерегулирования на 1-м и 3-м интервалах не требует никаких дополнительных усилий.

Функция же $Y(t - t_{\text{доб}})$, определяющая переходный процесс перерегулирования расхода на интервале № 2, как раз и характеризует те аддитивные гидродинамические свойства исследуемого участка системы (канала), которые оказывают влияние на реализацию задач управления водораспределением на нем. Описание этой функции и составляет главную задачу проводимых экспериментов.

Для аналитического описания вышеуказанной функции на интервале № 2 были построены приведенные к 100%-ной шкале графики переходных процессов перерегулирования расходов для каждого из трех опытов. Они представлены на рисунке 3.

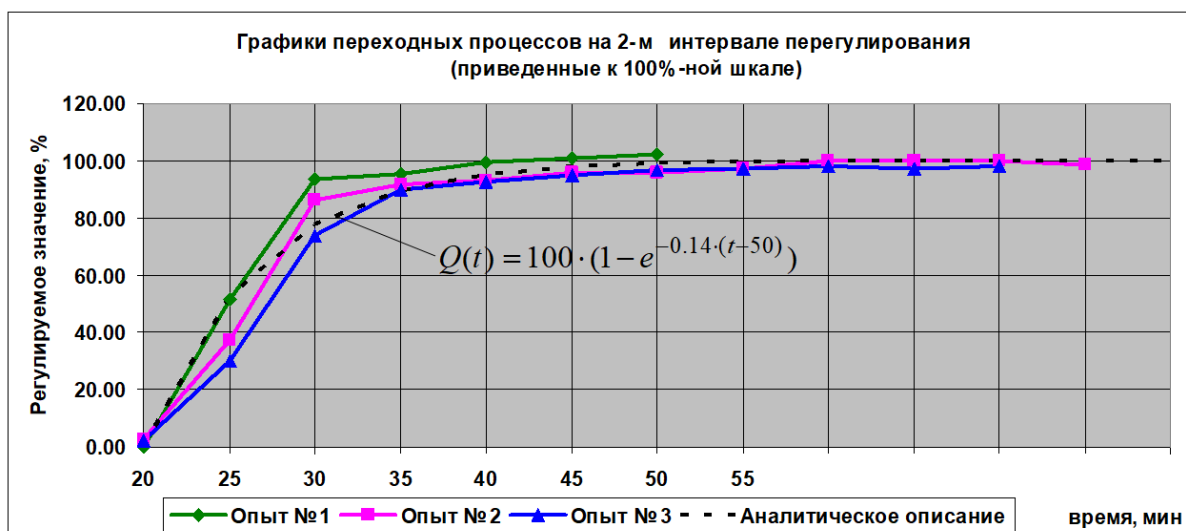


Рисунок 3 – Графики приведенных к 100%-ной шкале переходных процессов переупрегулирования расходов на интервале № 2

Если в качестве аппроксимирующей зависимости, описывающей форму переходного процесса переупрегулирования, определить экспоненциальную функцию (как наиболее характерную для процессов подобного рода [8]), то она будет иметь вид:

$$Y(t) = (1 - e^{-k \cdot (t - t_{\text{доб}})}),$$

где k – эмпирический коэффициент настройки функции на реальный объект.

Тогда сама функция, описывающая переходный процесс переупрегулирования расхода на интервале № 2, принимает вид:

$$Q(t) = Q_{\text{кон}} \cdot (1 - e^{-k \cdot (t - t_{\text{доб}})}).$$

А применительно к рассматриваемому в настоящей работе объекту (участку канала), описание переходных процессов переупрегулирования приведенных к 100%-ной шкале расходов изображается следующей зависимостью:

$$Q(t) = 100 \cdot (1 - e^{-0,14 \cdot (t - 50)}),$$

где 0,14 – эмпирически определенный коэффициент;

50 – время добега расхода от входа в контур регулирования до точки его контроля, мин.

Результаты проверки на адекватность экспериментальных и аналитически полученных результатов, описывающих процессы переупрегулиро-

вания расходов в точке контроля системы (канала), приведены в таблице 2 (см. графы «Значение по 100%-ной шкале», «Аналитическое описание» и «Погрешность»).

Выводы. Применение пассивного эксперимента, основанного на использовании результатов фактической эксплуатации оросительной системы, состоит в выделении в структуре управления водораспределением характерных интервалов регулирования и их последующей математической обработки. Его применение позволило определить, что описание процессов перерегулирования расходов на участках каналов может быть достигнуто путем их автономного описания на разных характерных временных интервалах процесса перерегулирования. В состав этих интервалов вошли: время добегания измененного расхода от источника водоподачи до точки контроля, время перехода значений расхода с одного установившегося значения на другой, время нового установившегося значения расхода.

Выдвинутая в процессе проведения эксперимента гипотеза о том, что все множество ситуаций, связанных с перерегулированием расходов на системах, использующих регулирование по верхнему бьефу, может быть описано с достаточной степенью адекватности единой, приведенной к абсолютной шкале ее значений аналитической зависимостью, получила свое подтверждение. В качестве функции, описывающей переходную функцию, предложено использовать экспоненциальную зависимость, как наиболее характерную для подобного рода процессов.

Предложенная методика применения пассивного эксперимента, основанная на использовании результатов фактической эксплуатации оросительной системы, позволяет значительно упростить процедуру определения ее гидродинамических характеристик, используемых для управления водораспределением, а также учесть те возможные отклонения от проектных значений и другие особенности, которые могут возникнуть в процессе ее эксплуатации.

Список использованных источников

- 1 Коваленко, П. И. Автоматизация мелиоративных систем / П. И. Коваленко. – М.: Колос, 1983. – 304 с.
- 2 Щедрин, В. Н. Совершенствование конструкций открытых оросительных систем и управления водораспределением / В. Н. Щедрин. – М.: Мелиорация и вод. хоз-во, 1998. – 160 с.
- 3 Иваненко, Н. Г. Имитационные модели гидравлических переходных режимов при динамическом регулировании водораспределения на оросительных системах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.16 / Иваненко Нурия Гадиевна. – Новочеркасск, НГМА, 1995. – 24 с
- 4 Моделирование динамического управления водораспределением на каналах открытой оросительной сети / В. Н. Щедрин, А. А. Чураев, В. М. Школьная, Л. В. Юченко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2015. – № 4(20). – С. 1–20. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=366&id=367>.
- 5 Иваненко, Ю. Г. Гидравлические аспекты устойчивых водных потоков в неразбиваемых и разбиваемых руслах / Ю. Г. Иваненко, А. А. Ткачев, А. Ю. Иваненко; Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – Новочеркасск: Лик, 2013. – 351 с.
- 6 Юрченко, И. Ф. Автоматизированное управление водораспределением на межхозяйственных оросительных системах / И. Ф. Юрченко, В. В. Трунин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – № 2. – С. 178–184.
- 7 Коржов, В. И. Информационно-технологическое обеспечение водопользования на оросительных системах: монография / В. И. Коржов. – Ростов н/Д.: Изв. вузов. Сев.-Кав. регион, 2006. – 128 с.
- 8 Воронов, А. А. Основы теории автоматического управления: автоматическое регулирование непрерывных линейных систем / А. А. Воронов. – М.: Энергия, 1980. – 312 с.
- 9 Ткачев, А. А. Управление водораспределением в каналах с локальным регулированием уровней воды по верхнему бьефу перегораживающих сооружений / А. А. Ткачев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2008. – № 5. – С. 35–40.
- 10 Серафинович, Л. П. Планирование эксперимента: учеб. пособие / Л. П. Серафинович. – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2006. – 128 с.
- 11 Щедрин, В. Н. Основные правила и положения эксплуатации мелиоративных систем и сооружений, проведения водоучета и производства эксплуатационных работ: монография. В 2 ч. Ч. 1 / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, В. В. Слабунов. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 395 с.
- 12 Мобильные средства поддержки управления водораспределением для условий реальной эксплуатации оросительной системы / В. И. Коржов, С. В. Сорокина, И. В. Ольгаренко, Г. О. Матвиенко, И. В. Коржов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 4(32). – С. 38–59. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec530-field6.pdf.

References

- 1 Kovalenko P.I., 1983. *Avtomatizatsiya meliorativnykh sistem* [Automation of Reclamation Works]. Moscow, Kolos Publ., 304 p. (In Russian).
- 2 Shchedrin V.N., 1998. *Sovershenstvovanie konstruksiy otkrytykh orositel'nykh sistem i upravleniya vodoraspredeleniem* [Improving the structures of open irrigation systems and water distribution management]. Moscow, Irrigation and Water Management Publ., 160 p. (In Russian).

3 Ivanenko N.G., 1995. *Imitatsionnye modeli gidravlicheskikh perekhodnykh rezhimov pri dinamicheskom regulirovanii vodoraspredeleniya na orositel'nykh sistemakh. Avtoreferat diss. kand. tekhn. nauk* [Imitation models of hydraulic transient modes with dynamic control of water distribution on irrigation systems. Abstract of cand. tech. sci. diss.]. Novocherkassk, NGMA, 24 p. (In Russian).

4 Shchedrin V.N., Churaev A.A., Shkol'naya V.M., Yuchenko L.V., 2015. *Modelirovanie dinamicheskogo upravleniya vodoraspredeleniem na kanalakh otkrytoy orositel'noy seti* [Simulation of dynamic control of water distribution on canals of an open irrigation network]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 4(20), pp. 1-20, available: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=366&id=367>. (In Russian).

5 Ivanenko Yu.G., Tkachev A.A., Ivanenko A.Yu., 2013. *Gidravlicheskie aspekty ustoychivyykh vodnykh potokov v nerazmyvaemykh i razmyvaemykh ruslakh* [Hydraulic aspects of sustainable water flows in non-eroded and eroded canals]. Novocherkassk State Engineering and Land Reclamation Academy. Novocherkassk, Lick Publ., 351 p. (In Russian).

6 Yurchenko I.F., Trunin V.V., 2012. *Avtomatizirovannoe upravlenie vodoraspredeleniem na mezkhkhozaystvennykh orositel'nykh sistemakh* [Automated water distribution control on inter-farm irrigation systems]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bull. of Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], no. 2, pp. 178-184. (In Russian).

7 Korzhov V.I., 2006. *Informatsionno-tekhnologicheskoe obespechenie vodopol'zovaniya na orositel'nykh sistemakh: monografiya* [Information and technological support of water use on irrigation systems: monograph]. Rostov n/Don, Izvestiya vuzov. Sev.-Kav. region 128 p. (In Russian).

8 Voronov A.A., 1980. *Osnovy teorii avtomaticheskogo upravleniya: avtomaticheskoe regulirovanie nepreryvnykh lineynykh sistem* [Fundamentals of Theory of Automatic Control: automatic Control of Steady Linear Systems]. Moscow, Energy Publ., 312 p. (In Russian).

9 Tkachev A.A., 2008. *Upravlenie vodoraspredeleniem v kanalakh s lokal'nym regulirovaniem urovney vody po verkhnemu b'efu peregorazhivayushchikh sooruzheniy* [Water distribution control in canals with local regulation of water levels along the upper pool of control structures]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 5, pp. 35-40. (In Russian).

10 Serafinovich L.P., 2006. *Planirovanie eksperimenta: ucheb. posobie* [Planning an Experiment: studies manual]. Tomsk, Inter-University Center for Distance Education Publ., 128 p. (In Russian).

11 Shchedrin V.N., Vasil'ev S.M., Slabunov V.V., 2013. *Osnovnye pravila i polozheniya ekspluatatsii meliorativnykh sistem i sooruzheniy, provedeniya vodoucheta i proizvodstva ekspluatatsionnykh rabot: monografiya. V 2 chastyakh. Chast' 1* [Basic Rules and Regulations for Land-Reclamation Systems and Structures Operation, Water Accounting and Maintenance Works: a monograph. In 2 parts. Part 1]. Novocherkassk, Helikon Publ., 395 p. (In Russian).

12 Korzhov V.I., Sorokina S.V., Ol'garenko I.V., Matvienko G.O., Korzhov I.V., 2018. *Mobil'nye sredstva podderzhki upravleniya vodoraspredeleniem dlya usloviy real'noy ekspluatatsii orositel'noy sistemy* [Mobile support tools for water distribution management for the conditions of the irrigation system actual operation]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 4(32), pp. 38-59, available: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec530-field6.pdf (In Russian).

Коржов Виктор Иванович

Ученая степень: кандидат технических наук

Ученое звание: профессор

Должность: главный специалист

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: rosniipm@yandex.ru

Korzhov Viktor Ivanovich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Title: Professor

Position: Chief Specialist

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

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

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Белоусов Андрей Андреевич

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: a.belousov93@mail.ru

Belousov Andrey Andreevich

Position: Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

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

E-mail: a.belousov93@mail.ru

Матвиенко Татьяна Викторовна

Должность: аспирант

Место работы: Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственной аграрный университет»

Адрес организации: ул. Пушкинская, 111, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346428

E-mail: korjovatatyana@ya.ru

Matvienko Tatyana Viktorovna

Position: Postgraduate

Affiliation: Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University

Affiliation address: st. Pushkinskaya, 111, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346428

E-mail: korjovatatyana@ya.ru

Белоусов Антон Борисович

Должность: аспирант

Место работы: Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственной аграрный университет»

Адрес организации: ул. Пушкинская, 111, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346428

E-mail: korjovatatyana@ya.ru

Belousov Anton Boricovich

Position: Postgraduate

Affiliation: Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University

Affiliation address: st. Pushkinskaya, 111, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346428

E-mail: korjovatatyana@ya.ru