

УДК 626.824-52

Ю. Г. Иваненко, А. А. Ткачев, А. Ю. Иваненко

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ТЕЧЕНИЯ ВОДНЫХ ПОТОКОВ В МАГИСТРАЛЬНОМ КАНАЛЕ ДЛЯ СПОСОБА АКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ

Целью исследований являлось решение проблемы управления водораспределением в оросительных магистральных каналах с применением методов, позволяющих учитывать динамические характеристики процессов водораспределения при неустановившемся течении воды, на примере Пригородного магистрального канала г. Краснодара. Разработан способ активного управления водораспределением, в основу которого заложены методы расчета переходных гидравлических процессов, применяемые для решения задач согласования режимов работы агрегатов головной насосной станции с режимами работы перегораживающих и водораспределительных сооружений при установленном и неустановившемся режимах течения воды для целей водораспределения. Разработаны алгоритмы расчета управляющих воздействий величин открытий затворов с дискретно-импульсным законом совмещенного регулирования уровней воды по верхнему и нижнему бьефам перегораживающих сооружений с перетекающими объемами. Установлено, что способ активного управления водораспределением в магистральных каналах с применением локальных регуляторов уровня по нижнему и верхнему бьефам перегораживающих сооружений в начале 8-го и конце 9-го бьефов дает возможность использовать имеющиеся резервные емкости воды в бьефах. Это позволяет перераспределять резервные объемы воды по длине канала таким образом, что на участке канала протяженностью более 20 км неустановившийся процесс течения воды трансформируется в установившийся. Доказано, что внедрение разработанного способа позволяет оптимизировать процессы управления водораспределения и минимизировать холостые и нетехнологические сбросы.

Ключевые слова: насосная станция, магистральный канал, управление водораспределением, совмещенное регулирование уровней воды, установившееся и неустановившееся течения воды, перегораживающие сооружения, водораспределительные сооружения.

Yu. G. Ivanenko, A. A. Tkachev, A. Yu. Ivanenko

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

CALCULATING PARAMETERS OF UNSTEADY WATER FLOW IN MAIN CANAL FOR THE METHOD OF ACTIVE MANAGEMENT OF WATER DISTRIBUTION

The aim of this study was to solve the problem of the management of water distribution in main irrigation canals using the methods which take into account the dynamic characteristics of the processes of water distribution in unsteady flow. The study was carried out at the example of Prigorodnyy main canal of Krasnodar. The method of active management of water distribution was developed. It is based on the methods for calculating transient hydrau-

lic processes applying for solving the objectives of matching operation regimes of the units of pumping station with the operation regimes of baffle and distributing facilities at steady and unsteady regimes of water flow for the purpose of water distribution. We developed algorithms for calculating the control action values of shutter opens with discrete-pulse law of combined regulating water levels on the head race and tail-water of baffle facilities with flowing volumes. It was established that the method of active management of water distribution in main canal using local level regulators on tail-water and head race of baffle facilities at the beginning of the 8th and at the end of the 9th tail-water enables to use existing water capacities in the pools. This enables to transfer reserve water volumes along the canal in such a way that part of the canal length over 20 km of unsteady water flow is transformed into steady. It is proved that implementation of the developed method allows optimizing the management of water distribution and minimizing single and non-technological discharges.

Keywords: pumping station, main canal, management of water distribution, combined regulation of water levels, steady and unsteady flow of water, baffle facilities, water distribution facilities.

В настоящее время при решении проблемы управления водораспределением предпочтение отдается методам регулирования, учитывающим динамические характеристики систем водораспределения при неустановившемся течении воды.

Известно, что эффективность работы оросительных магистральных каналов зависит от того, насколько полно используются резервные запасы воды в бьефах каналов. Именно этим определяется выбор того или иного способа управления водораспределением.

Среди существующих способов автоматизированного управления технологическими процессами водораспределения, позволяющих минимизировать холостые и нетехнологические сбросы воды, наиболее простым и легко осуществимым является разработанный способ активного управления водораспределением, который позволяет автоматически перераспределять излишки накопленных объемов воды в резервных емкостях каналов и может применяться для открытых магистральных каналов. Данный способ называется активным потому, что основные элементы управления сосредоточены и осуществляются на головной насосной станции. При этом вся система бьефов магистрального канала на всем его протяжении автоматически перерегулируется и самонастраивается применительно к новому гидравлическому режиму канала. Манипуляции управления производятся

путем отключения, а затем включения одного из агрегатов головной насосной станции на период активного управления.

Активное управление водораспределением предполагает использование в контуре управления локальных регуляторов по уровню верхнего или нижнего бьефа перегораживающих сооружений. В настоящей статье рассматривается регулирование с перетекающими объемами, при котором в контуре управления применяется совмещенное регулирование уровней воды по нижнему и верхнему бьефам перегораживающих сооружений. При применении регулирования с перетекающими объемами места установки локальных регуляторов в системе бьефов и перегораживающих сооружений магистрального канала определяются в процессе проведения специальных имитационных исследований на математической модели.

Водопотребление на рассматриваемой оросительной системе может быть предельно обеспеченным, обеспеченным и недостаточно обеспеченным. Обеспеченным (недостаточно обеспеченным) называется водопотребление, при котором общая сумма отборов воды действующими водопотребителями с учетом величины расхода сброса в конце магистрального канала меньше (больше) расхода головной насосной станции.

Обеспеченное водопотребление может быть 70 % и 90 % (в общем случае n -процентным). Иными словами, обеспеченное водопотребление – это водопотребление n -процентной обеспеченности [1]. Таким образом, предельно обеспеченное водопотребление является 100 %. Для случая предельно обеспеченного водопотребления

$$Q_{\text{НС}} = \sum_{i=1}^n q_i + Q_{\text{сбр}},$$

где $Q_{\text{НС}}$ – расход головной насосной станции, $\text{м}^3/\text{с}$;

n – количество отборов воды;

q_i – расход i -го отбора воды, $\text{м}^3/\text{с}$;

$Q_{\text{сбр}}$ – расход сброса в конце магистрального канала, $\text{м}^3/\text{с}$.

Имитационные исследования активного управления водораспределением в магистральных каналах с применением совмещенного регулирования уровней воды по нижнему и верхнему бьефам перегораживающих сооружений, называемого также регулированием с перетекающими объемами, проводились на математической модели Пригородного магистрального канала г. Краснодара (ПМК г. Краснодара) с головной насосной станцией для случая обеспеченного 93 % водопотребления.

Пригородный магистральный канал г. Краснодара представляет собой русло трапецеидального сечения протяженностью более 50 км. Головная насосная станция оборудована семью насосными агрегатами равной производительности, $Q_{\text{агр}} = 3,2 \text{ м}^3/\text{с}$.

Данные по бьефам с гидравлическими элементами и схематизированными значениями расходов водопотребления, уточненными в процессе проведения натурных исследований на Пригородном магистральном канале г. Краснодара, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Гидравлические элементы в бьефах ПМК г. Краснодара

Номер бьефа	Шероховатость	Уклон	Длина бьефа, м	Заложение откоса	Ширина по дну, м	Отбор воды, $\text{м}^3/\text{с}$	
						100 %	98 %
1	0,017	0,0003	4500	2	2	1,2	1,2
2	0,017	0,0003	3500	2	2	1,2	1,2
3	0,017	0,0003	4500	2	2	1,2	1,2
4	0,017	0,0004	3500	2	1	1,2	1,2
5	0,017	0,0004	2250	2	1	1,2	1,2
6	0,02	0,00045	3500	2	1,5	1,2	1,2
7	0,02	0,0006	4000	2	1,5	1,2	1,2
8	0,025	0,0004	5000	2	1,5	0,9	0,8
9	0,025	0,0004	4750	2	1,5	0,9	0,8
10	0,025	0,0004	9500	2	1,5	0,8	0,7
11	0,02	0,00005	500	2	1,5	0	0

Методика исследований уточнялась в процессе имитационного изучения гидравлических переходных процессов, соответствующих различным режимам эксплуатации открытых каналов. На основе таких исследований разработаны рекомендации по выбору и назначению оптимальных

параметров каналов и сооружений на них, длин бьефов, уклонов дна распределительных каналов, напоров и величин открытых затворов на сооружениях, выбору створов сечений каналов для установки средств водоизмерения при неустановившемся режиме движения воды [2, 3].

Для разработанной математической модели и предложенного пакета прикладных программ использованы следующие исходные данные, полученные в результате натурных исследований:

- гидравлические параметры участков канала: форма поперечного сечения, уклоны, длина участков канала и ширина по дну, заложения откосов, коэффициенты шероховатости (приведены в таблице 1);

- гидравлические параметры гидротехнических сооружений: количество и производительность агрегатов головной насосной станции, количество и характеристики регулирующих затворов на перегораживающих сооружениях;

- величины забираемых расходов воды в створах водоотбора (таблица 1) и др.

Для расчета переходных режимов течения воды в каналах разработан программный комплекс, основанный на методе характеристик. Метод характеристик, в отличие от других методов, применяемых для решения аналогичных задач, дает возможность определять время и местоположение (створ) возникновения прерывных волн. Он наиболее точный, максимально приближенный к физическим процессам, протекающим в натурных условиях, и позволяет достаточно просто вводить краевые условия.

Контроль режима работы и управления затворами перегораживающих сооружений осуществляется в дискретные моменты времени в соответствии с математическими зависимостями, описывающими процесс контроля и управления. Ему соответствуют расчетные операции управляющих воздействий и уставок.

В качестве математических зависимостей для расчета управляющих

воздействий затворами перегораживающих сооружений рассматриваются законы регулирования дискретного действия, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Математические зависимости для расчета управляющих воздействий затворами перегораживающих сооружений с применением законов регулирования дискретного действия

Дискретный (импульсный) закон регулирования для стабилизации уровня воды в нижнем бьефе перегораживающего сооружения	Дискретный (импульсный) закон регулирования для стабилизации уровня воды в верхнем бьефе перегораживающего сооружения
<pre> If nb=7 ns:=LEN(sp[nb]) eps:= glk[nb+1,1]-glt[nb+1,1] If eps= ε >=0,01 ds[nb+1,10]:=1,01*ds[nb+1,10] Else ds[nb+1,10]:=ds[nb+1,10] EndIf If eps= ε <= -0,01 ds[nb+1,10]:=0,99*ds[nb+1,10] Else ds[nb+1,10]:=ds[nb+1,10] EndIf Endif </pre>	<pre> if nb=10 ns:=LEN(sp[nb]) eps:= glk[nb,ns]-glt[nb,ns] If eps= ε >=0,01 ds[nb+1,10]:=0,99*ds[nb+1,10] Else ds[nb+1,10]:=ds[nb+1,10] EndIf If eps= ε <= -0,01 ds[nb+1,10]:=1,01*ds[nb+1,10] Else ds[nb+1,10]:=ds[nb+1,10] EndIf Endif </pre>
Примечание – nb – номер бьефа; ns – номер створа; ds[nb+1,10] – заданный шаг открытия затвора; $glk[nb+1,1] = H_{\text{нб}}^{\text{уст}}(t)$ – глубина воды в начальном створе нижнего бьефа, соответствующая заданной уставке в момент времени t; $glt[nb+1,1] = H_{\text{нб}}(t_k)$ – глубина воды в начальном створе нижнего бьефа, соответствующая характеристике с временным слоем t_k; $eps = H_{\text{нб}}^{\text{уст}}(t) - H_{\text{нб}}(t_k)$ – отклонение регулируемого параметра глубины (уровня) воды в нижнем бьефе от заданной уставки в момент времени t_k; $glk[nb,ns] = H_{\text{вб}}^{\text{уст}}(t)$ – глубина воды в конечном створе верхнего бьефа, соответствующая заданной уставке в момент времени t; $glt[nb,ns] = H_{\text{вб}}(t_k)$ – глубина воды в конечном створе верхнего бьефа, соответствующая характеристике с временным слоем t_k; $eps = H_{\text{вб}}^{\text{уст}}(t) - H_{\text{вб}}(t_k)$ – отклонение регулируемого параметра глубины (уровня) воды в верхнем бьефе от заданной уставки в момент времени t_k; ε – заданная точность регулирования или зона нечувствительности регулируемого параметра; t_k – время, характеризующее периодичность контроля и управления затвором на каждой характеристике с временным слоем t_k.	

Полным периодом активного управления водораспределением называется время, в течение которого один из агрегатов головной насосной станции сначала выключается на период не менее 6 часов, а затем вновь включается на период до 18 часов (период окончания суток). В период от-

ключения агрегата происходит сработка накопленных объемов воды в бьефах канала. При этом уровни воды снижаются на контролируемую величину, не превышающую заданной фиксированной уставки. В период включения агрегата объемы и уровни воды в бьефах могут восстанавливаться.

В качестве начального и граничных условий приняты гидравлические параметры канала по бьефам, соответствующие установившемуся неравномерному течению с расходом воды $Q = 16 \text{ м}^3/\text{с}$ и глубиной воды в голове канала $h = 2,242 \text{ м}$.

Величина сбросного расхода в конце магистрального канала $Q_{\text{сбр}} = 5 \text{ м}^3/\text{с}$.

Имитационными исследованиями определены места установки локальных регуляторов уровней воды по нижнему и верхнему бьефам перегораживающих сооружений, указанные в таблице 3. Локальные регуляторы должны быть установлены на перегораживающих сооружениях в 8-м и 10-м бьефах.

Таблица 3 – Данные по перегораживающим сооружениям ПМК г. Краснодара

Номер бьефа	Тип сопряжения	Коэффициент расхода	Коэффициент горизонтального сжатия потока	Коэффициент вертикального сжатия потока	Ширина затвора, м	Количество затворов, шт.	Открытие затвора, м	Наличие регулятора
2	ПС*	0,66	0,97	0,95	1,5	2	2,3	Нет
3	ПС	0,64	0,96	0,95	1,5	2	2,3	Нет
4	ПС	0,63	0,96	0,94	1,5	2	2,3	Нет
5	ПС	0,65	0,97	0,95	1,5	2	2,0	Нет
6	ПС	0,64	0,96	0,94	1,5	2	2,0	Нет
7	ПС	0,63	0,97	0,95	1,5	2	1,1	Нет
8	ПС	0,66	0,96	0,95	1,5	2	0,9	Да
9	ПС	0,64	0,96	0,95	1,5	2	0,8	Нет
10	ПС	0,65	0,96	0,94	1,5	2	0,6	Да
11	ПС	0,63	0,95	0,95	1,5	2	0,6	Нет
Примечание – * – перегораживающие сооружения.								

Процесс неустановившегося течения воды начинается с момента от-

ключения одного агрегата головной насосной станции (с изменением расхода с 16,0 до 12,8 м³/с) и снижения отборов воды в точках водовыдела. Этот процесс сопровождается понижением уровня воды в бьефах канала. Через двенадцать часов отключенный агрегат вновь включается (с изменением расхода с 12,8 до 16,0 м³/с), при этом отборы воды сохраняются на прежнем уровне. В течение этого периода наблюдается подъем уровней воды в бьефах канала. Один полный период активного управления водораспределением продолжается 24 часа.

Таким образом, за 24 часа осуществляется весь цикл процесса управления водораспределением, включающий в себя управление водоподачей на головной насосной станции и управление водоотбором в точках водовыдела.

Активное управление процессами водораспределения осуществлялось средствами пакета прикладных программ «Статика–Динамика–Устойчивость» (НИИАСС Лира Софт (Киев).

На рисунке 1 представлена зависимость изменения глубин от удаленности бьефов от головного створа магистрального канала для отбора расходов воды 98 % обеспеченности с применением совмещенного регулирования уровней воды по нижнему и верхнему бьефам перегораживающих сооружений. В продолжение первого полуцикла регулирования, составляющего 12 часов, наблюдается снижение уровней воды в головной части магистрального канала на величину 0,35 м с последующим уменьшением изменения глубины воды по длине канала. На авторегуляторах глубина удерживается на уровне фиксированного значения. Во втором полуцикле регулирования включается отключенный агрегат насосной станции, и в последующие 12 часов уровень воды в бьефах магистрального канала повышается, практически достигая начального значения и в дальнейшем оставаясь неизменным.

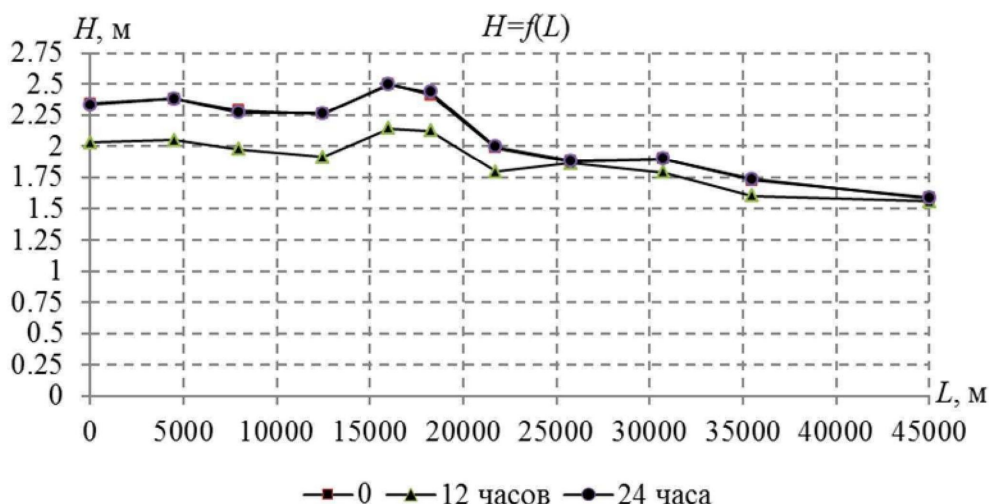


Рисунок 1 – Зависимость изменения глубин воды от удаленности бьефов от головного створа магистрального канала для отбора расходов воды 98 % обеспеченности при наличии регуляторов уровней по нижнему и верхнему бьефам сооружений (регулирование с перетекающими объемами)

На рисунке 2 представлена зависимость изменения расхода от удаленности бьефов от головного створа магистрального канала для отбора расходов воды 98 % обеспеченности с применением совмещенного регулирования уровней воды по нижнему и верхнему бьефам перегораживающих сооружений. В продолжение первого полуцикла регулирования, составляющего 12 часов, наблюдается максимальное снижение расхода воды в головной части магистрального канала на величину $3,2 \text{ м}^3/\text{с}$ с последующим уменьшением изменения расхода воды по длине до хвостовой части канала. В течение второго полуцикла после включения отключенного агрегата насосной станции расход по всей длине канала увеличивается и в конце полного цикла регулирования практически достигает начального значения.

На рисунке 3 представлены зависимости изменения глубин воды от времени в начальном створе 8-го и конечном створе 9-го бьефов для отбора расходов воды 98 % обеспеченности с применением совмещенного регулирования уровней воды по нижнему и верхнему бьефам перегораживающих сооружений. На авторегуляторах величины глубин удерживаются на уровне фиксированных значений. Зависимости уровней воды от време-

ни на авторегуляторах соответствуют принятому дискретному закону изменения уставки в заданных диапазонах.

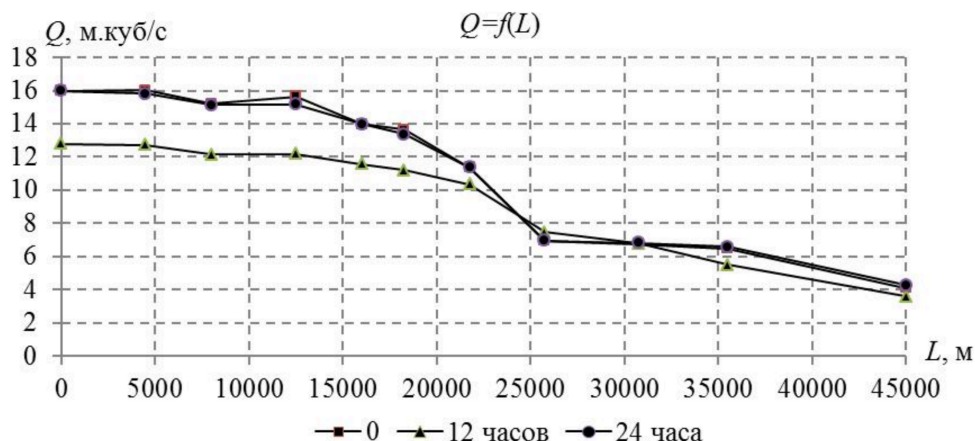


Рисунок 2 – Зависимость изменения расходов воды от удаленности бьефов от головного створа магистрального канала для отбора расходов воды 98 % обеспеченности при наличии регуляторов уровней по нижнему и верхнему бьефам сооружений (регулирование с перетекающими объемами)

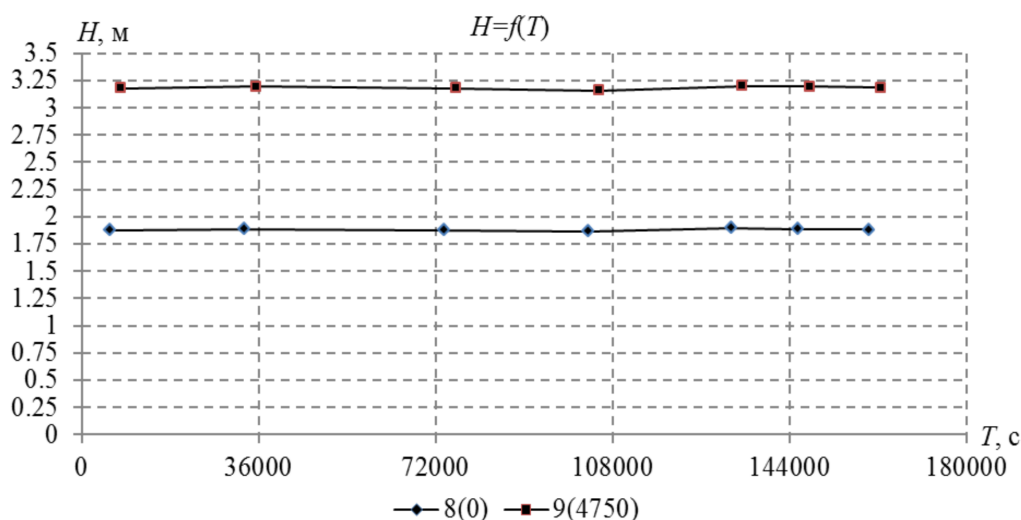


Рисунок 3 – Зависимость изменения уровней от времени в начальном створе 8-го и конечном створе 9-го бьефов для отбора расходов воды 98 % обеспеченности при наличии регуляторов уровней по нижнему и верхнему бьефам сооружений (регулирование с перетекающими объемами)

На рисунке 4 представлены зависимости изменения расходов воды от времени в начальном створе 8-го и конечном створе 9-го бьефов для отбора расходов воды 98 % обеспеченности с применением совмещенного регулирования уровней воды по нижнему и верхнему бьефам перегораживающих

сооружений. На авторегуляторах величины расходов воды изменяются незначительно. Таким образом, для отборов расходов воды 98 % обеспеченности подтверждается эффективная работа авторегуляторов.

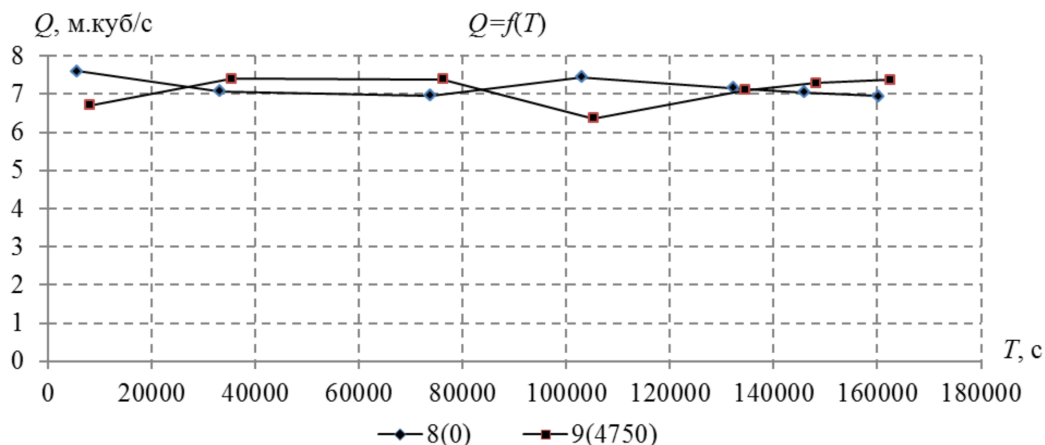


Рисунок 4 – Зависимость изменения расходов от времени в начальном створе 8-го и конечном створе 9-го бьефов для отбора расходов воды 98 % обеспеченности при наличии регуляторов уровней по нижнему и верхнему бьефам сооружений (регулирование с перетекающими объемами)

Выводы

Рассмотренный способ активного управления водораспределением дает возможность использовать имеющиеся резервные емкости воды в бьефах. Такой результат достигается путем точного контроля над изменением уровней в начале 8-го и конце 9-го бьефов, позволяя перераспределять резервные объемы воды по длине канала и этим способствовать существенному повышению эффективности работы насосной станции и системы водораспределения в целом. Внедрение способа активного автоматизированного управления технологическими процессами водораспределения на оросительных магистральных каналах с применением средств локального совмещенного регулирования уровней воды по верхнему и нижнему бьефам сооружений с использованием резервных запасов объемов воды в бьефах позволяет оптимизировать процессы управления водораспределением и минимизировать холостые и нетехнологические сбросы.

Список использованных источников

1 Иваненко, Ю. Г. Гидравлические аспекты устойчивых водных потоков в неразмываемых и размываемых руслах / Ю. Г. Иваненко, А. А. Ткачев, А. Ю. Иваненко. – Новочеркасск: Лик, 2013. – 352 с.

2 Иваненко, Ю. Г. Теоретические и прикладные проблемы гидравлики рек и каналов / Ю. Г. Иваненко, А. А. Ткачев. – Новочеркасск: Лик, НГМА, 2007. – 250 с.

3 Иваненко, Ю. Г. Теоретические принципы и решения специальных задач гидравлики открытых русел / Ю. Г. Иваненко, А. А. Ткачев. – Новочеркасск: Лик, НГМА, 2013. – 203 с.

Иваненко Юрий Георгиевич – доктор технических наук, профессор кафедры гидравлики, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация.

Контактный телефон: 8 (8635) 258980.

E-mail: pavodok37@gmail.com

Ivanenko Yuriy Georgiyevich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Chair of Hydraulic Structures, Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute of Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation.

Contact telephone number: 8 (8635) 258980

E-mail: pavodok37@gmail.com

Ткачев Александр Александрович – доктор технических наук, профессор кафедры гидротехнических сооружений, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация.

Контактный телефон: 8 (8635) 253102.

E-mail: lxtkachev@gmail.com

Tkachev Aleksandr Aleksandrovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Chair of Hydraulic Structures, Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute of Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation.

Contact telephone number: 8 (8635) 253102.

E-mail: lxtkachev@gmail.com

Иваненко Александр Юрьевич – заместитель директора, Агро-Промышленный альянс, Новочеркасск, Российская Федерация.

Контактный телефон: 8 (8635) 258980.

E-mail: pavodok37@gmail.com

Ivanenko Aleksandr Yuryevich – Deputy Director, Agro-Industrial Alliance, Novocherkassk, Russian Federation.

Contact telephone number: 8 (8635) 258980.

E-mail: pavodok37@gmail.com