

УДК 626.824:626.822

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ЭКСПЛУАТАЦИИ  
КАНАЛОВ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ  
СТАБИЛИЗАТОРАМИ РАСХОДА ВОДЫ**

*О.В. Атаманова*

Приводятся основные рекомендации по проектированию и эксплуатации каналов оросительных систем, автоматизированных гидравлическими стабилизаторами расхода воды.

*Ключевые слова:* канал; водораспределение; каскадное регулирование; стабилизатор расхода воды.

---

**RECOMMENDATIONS FOR DESIGN AND OPERATION  
OF CHANNEL IRRIGATION SYSTEMS WITH HYDRAULIC STABILIZERS FLOW**

*O. V. Atamanova*

The basic recommendations for the design and operation of irrigation canals systems, automated hydraulic water flow stabilizers.

*Key words:* canal; water distribution; cascade control; water flow regulator.

Современная гидромелиоративная система, оборудованная гидравлическими стабилизаторами расхода воды, призвана максимально экономить земельные и водные ресурсы, иметь минимум затрат рабочей силы при ее эксплуатации, давать высокий экономический эффект, сохранять плодородие почвенного слоя путем предупреждения процессов эрозии, а также способствовать созданию оптимальных мелиоративных условий орошаемой территории.

Проектируя оросительную систему с гидравлическими стабилизаторами расхода воды, необходимо помнить, что автоматизация водораспределения дает максимальный эффект на орошаемых землях при удачном сочетании автоматизации водораспределения с автоматизацией водозабора и автоматизацией полива. Выбирая схему автоматического регулирования процесса водораспределения на мелиоративной системе открытого типа с гидравлическими стабилизаторами расхода воды, следует учитывать, что схемы I класса, характеризующиеся отсутствием обратной гидравлической связи целесообразно применять по необходимости, чаще всего, в тех случаях, когда имеют место большие уклоны местности. Для каналов с докритическими уклонами наиболее предпочтительными являются схемы автоматизации регулирования водораспределения II класса, характеризующиеся наличием обратной гидравлической связи. Это, так называемые схемы каскадного регулирования.

Предложенные рекомендации по проектированию и эксплуатации каналов оросительных систем с гидравлическими стабилизаторами расхода воды касаются, прежде всего, оросительных систем с каналами, имеющими уклоны меньше критических. Рекомендации разработаны по результатам теоретических и экспериментальных исследований автора.

При проектировании каналов оросительных систем в соответствии с одной из схем регулирования II класса приходится решать задачи расчленения канала на звенья (участки) перегораживающими сооружениями, выбирать габариты канала на этих участках в зависимости не только от нормальных ( $Q$ ) или форсированных ( $Q_{\phi}$ ) расходов воды, но и от величин приращений расходов ( $\Delta Q$ ), оказывающих влияние на распространение подпора, интенсивность наполнения и сбрасывания резервных объемов воды в звеньях каскада канала.

Указанная задача может быть достаточно полно решена только в случае учета динамики процессов, протекающих в звеньях каскада.

Поэтому при расчете каждого из звеньев каскада канала с гидравлическими стабилизаторами расхода воды первоначально рассматривается картина установившегося движения воды в канале.

Длина звена каскада определяется из условия поддержания перед стабилизаторами на водовыпускных сооружениях допустимых наполнений, при которых обеспечивается постоянство отводимых расходов воды. При этом предварительно нужно подобрать подходящие для проектных условий (топографических, гидрологических, природно-климатических и др.) стабилизаторы расхода воды.

С учетом выбранных конструкций стабилизаторов, обладающих диапазоном колебаний  $\Delta H = H_{max} - H_{min}$ , длина бьефа (звена) каскада принимается таким образом, чтобы наполнение  $h_n$  в начальном створе звена было не менее  $H_{min}$ , а наполнение  $h_k$  в конечном створе звена не более  $H_{max}$ .

Конструктивные параметры канала в первом приближении определяются гидравлическим расчетом исходя из требуемой пропускной способности и проектной трассы канала. Далее расчетом неравномерного режима движения воды в канале уточняется длина бьефа (звена) каскада и намечается расположение водовыпусков вдоль звена каскада.

Установив длину звена каскада, вычисляют величины наполнений в канале на каждом водовыпуске. Если оказывается, что наполнение  $h$  на каком-то водовыпуске  $h > H_{max}$  или  $h < H_{min}$  ( $H_{min}$ ,  $H_{max}$  – минимальное и максимальное допустимые наполнения перед стабилизаторами, при которых обеспечивается постоянство отводимых расходов воды), следует изменить параметры канала или тип стабилизатора и повторить расчет таким образом, чтобы соблюдалось условие  $h_{min} \geq H_{min}$ ,  $h_{max} \leq H_{max}$ . При этом следует помнить, что наиболее предпочтительным является расположение стабилизаторов вдоль звена каскада канала на расстоянии от нижнего створа равном  $0,3l \leq l_1 \leq 0,8l$  ( $l$  – длина звена каскада с неравномерным режимом движения потока) [1].

Для выявления особенностей динамики процессов в проектируемом канале необходимо проанализировать изменения наполнений в каждом из рассматриваемых звеньев каскада канала с гидравлическими стабилизаторами расхода воды, возникающие в результате возмущающих воздействий в створах звеньев каскада.

Изменение положения уровня в канале, где перегораживающие сооружения автоматизированы регуляторами уровня нижнего бьефа, что наиболее предпочтительно для каналов с уклонами меньше критических, определяется для трех основных моментов:

➤ когда имеет место возмущение в конечном створе звена каскада [2]:

$$\Delta h^{11} = \gamma_2 \frac{\omega}{B} N_k \alpha_k \left\{ \frac{\gamma_2 \beta g (t - \tau_2^1) + \nu \exp\left(-\frac{a+b}{2} \tau_2\right)}{\nu - \mu \sqrt{\frac{g\omega}{B}}} + \frac{\nu \exp\left(-\frac{a+b}{2} \tau_2\right)}{\nu - \sqrt{\frac{g\omega}{B}}} \right\}, \quad (1)$$

где  $\alpha_k = \frac{\Delta a_1}{a_1}$ ,  $\Delta a_1$  – абсолютное приращение открытия, отсчитываемого от значения при начальном режиме;  $a_1$  – открытие стабилизатора нижнего перегораживающего сооружения;

$N_k = \frac{\partial Q_1}{\partial a_1} \frac{a_1}{Q_1}$ ,  $Q_1$  – расход воды в створе нижнего перегораживающего сооружения;

$$\beta = 2I; \mu = \frac{a+b}{2\sqrt{ab}}, a+b = 2 \frac{I g}{\nu} \left( 1 - \frac{\nu^2 B}{g\omega} + \frac{\nu^2 x}{2gh} \right);$$

$$\gamma_2 = \exp(-\tau_2 \sqrt{ab}), \tau_2 = \frac{S}{\frac{g\omega}{B} - \nu^2} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}; S – \text{расстояние вдоль канала от рассматриваемого створа до нижне-}$$

го перегораживающего сооружения;  $\omega$  – живое сечение потока воды в канале;  $B$  – ширина потока по верху;  $\nu$  – средняя скорость воды в канале;  $g$  – ускорение силы тяжести;  $x$  – гидравлический показатель русла;  $I$  – уклон канала;

➤ когда имеет место возмущение в начальном створе и отсутствует влияние обратной волны [3]:

$$\Delta h = \frac{\gamma_1 g \omega}{B \nu} N_n \alpha_n \left\{ \frac{\beta B h \nu}{\gamma_1 I x g \omega} + \frac{\nu \exp\left(-\tau_1 \frac{a+b}{2}\right)}{g \left( 1 + \frac{1}{\nu} \sqrt{\frac{g\omega}{B}} \right)} - \frac{\beta B h \nu}{\gamma_1 I x g \omega} \right\} \times \exp \left[ - (t - \tau_1^1) \frac{\frac{\gamma_1 x \omega}{2 B h \left( 1 + \frac{1}{\nu} \sqrt{\frac{g\omega}{B}} \right)} \exp\left(\tau_1 \frac{a+b}{2}\right) - 1}{\frac{\nu}{g \beta} + \tau_1 (1 - \mu) - \left( 1 + \frac{\mu}{\nu} \sqrt{\frac{g\omega}{B}} \right) \frac{B h \nu}{I x g \omega}} \right], \quad (2)$$

где  $\alpha_n = \frac{\Delta a_2}{a_2}$ ,  $\Delta a_2$  – абсолютное приращение открытия, отсчитываемое от значения при начальном режиме;  $a_2$  – открытие стабилизатора верхнего перегораживающего сооружения;

$N_n = \frac{\partial Q_2}{\partial a_2} \frac{a_2}{Q_2}$ ,  $Q_2$  – расход воды в нижнем бьефе верхнего перегораживающего сооружения;

$\gamma_1 = \exp(\tau_1 \sqrt{ab})$ ,  $\tau_1 = \frac{S_1 - S}{\frac{g\omega}{B} - v^2} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}$ ,  $\sqrt{ab} = \frac{Ix}{2h} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}$ ,  $S_1$  – расстояние между нижним и верхним перегораживающими сооружениями;

при возмущении в начальном створе и влиянии на рассматриваемый створ обратной волны:

$$\begin{aligned} \Delta h' = & -\frac{\gamma_1 g \omega}{B v} N_n \alpha_n \left\{ \left( \frac{v \exp\left(-\tau_1 \frac{a+b}{2}\right) - \beta B h v}{g \left(1 + \frac{1}{v} \sqrt{\frac{g \omega}{B}}\right)} - \frac{\beta B h v}{\gamma_1 I x g \omega} \right) \left( \frac{1 + \frac{1}{v} \sqrt{\frac{g \omega}{B}}}{1 - \frac{1}{v} \sqrt{\frac{g \omega}{B}}} \exp(-\tau_2 (a+b)) - \right. \right. \\ & \left. \left. - \frac{\frac{I x g \omega \gamma_2^2 \left(\frac{v}{g} + \tau_1 (1-\mu)\beta\right) - \left(1 + \frac{\mu}{v} \sqrt{\frac{g \omega}{B}}\right) \beta \gamma_2^2}{B h v}}{\left( \frac{\gamma_1 I x \omega}{B h \left(1 + \frac{1}{v} \sqrt{\frac{g \omega}{B}}\right)} \exp\left(-\tau_1 \frac{a+b}{2}\right) - \beta \left(1 - \frac{\mu}{v} \sqrt{\frac{g \omega}{B}}\right)\right)} \right) \exp\left[-(t + \tau_{10}^1 + \tau_2^1)\right] \times \right. \\ & \left. \times \frac{\frac{\gamma_1 \exp\left(-\tau_1 \frac{a+b}{2}\right) I x \omega}{\left(1 + \frac{1}{v} \sqrt{\frac{g \omega}{B}}\right) B h} - \beta}{\left(\frac{v}{g} + \tau_1 (1-\mu)\beta\right) - \left(1 + \frac{\mu}{v} \sqrt{\frac{g \omega}{B}}\right) \beta \frac{B h v}{I x g \omega}} + \frac{\frac{I x g \omega \gamma_2^2 \left(\frac{v}{g} + \tau_1 (1-\mu)\beta\right) - \left(1 + \frac{\mu}{v} \sqrt{\frac{g \omega}{B}}\right) \beta \gamma_2^2}{B h v}}{\left( \frac{\gamma_1 I x \omega}{B h \left(1 + \frac{1}{v} \sqrt{\frac{g \omega}{B}}\right)} \exp\left(-\tau_1 \frac{a+b}{2}\right) - \beta \left(1 - \frac{\mu}{v} \sqrt{\frac{g \omega}{B}}\right)\right)} \right. \\ & \left. \times \left( \frac{v}{g \left(1 + \frac{1}{v} \sqrt{\frac{g \omega}{B}}\right)} \exp\left(-\tau_1 \frac{a+b}{2}\right) - \frac{\beta B h v}{\gamma_1 I x g \omega} + \frac{\beta B h v}{\gamma_1 I x g \omega} \frac{1 + \frac{1}{v} \sqrt{\frac{g \omega}{B}}}{1 - \frac{1}{v} \sqrt{\frac{g \omega}{B}}} \exp(-\tau_2 (a+b)) + \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{\beta \gamma_2^2}{\gamma_1 \left(1 - \frac{\mu}{v} \sqrt{\frac{g \omega}{B}}\right)} (t - \tau_{10}^1 - \tau_2^1) - \frac{\beta B h v}{\gamma_1 I x g \omega} - \left( \frac{v}{g \left(1 + \frac{1}{v} \sqrt{\frac{g \omega}{B}}\right)} \exp\left(-\tau_1 \frac{a+b}{2}\right) - \frac{\beta B h v}{\gamma_1 I x g \omega} \right) \times \right. \right. \\ & \left. \left. \times \exp\left[ -\frac{\left( t - \tau_1 \right) \left( \frac{\gamma_1 I x \omega}{B h \left(1 + \frac{1}{v} \sqrt{\frac{g \omega}{B}}\right)} \exp\left(-\tau_1 \frac{a+b}{2}\right) - \beta \right)}{\frac{v}{g} + \tau_1 (1-\mu)\beta - \left(1 + \frac{\mu}{v} \sqrt{\frac{g \omega}{B}}\right) \beta \frac{B h v}{I x g \omega}} \right] \right\}. \end{aligned} \quad (3)$$

Расчет наполнений в створах звена каскада рекомендуется проводить в табличной форме, используя ЭВМ.

Полученные расчетным путем кривые подпора  $\Delta h = f(N_n; \alpha_n; t)$  облегчат работу службе диспетчерского контроля и управления на системе.

Зная возможные величины возмущений в створах звена каскада, следует определить время нормальной работы бьефа после возмущения в конечном створе из выражения:

$$t \leq \frac{0,18h_k B \left( v - \mu \sqrt{\frac{g\omega}{B}} \right)}{\gamma_2^2 \beta g N_k \alpha_k \omega} - \frac{v \exp\left(-\frac{a+b}{2} \tau_2\right) \left( v - \mu \sqrt{\frac{g\omega}{B}} \right)}{\gamma_2 \beta g \left( v - \sqrt{\frac{g\omega}{B}} \right)} + \tau_2^1. \quad (4)$$

Время нормальной работы стабилизаторов при возникновении возмущений в начальном створе длинного бьефа определяется из выражения:

$$t \leq \tau_1^1 - \ln \left[ \frac{-\frac{0,07h_n B v}{\gamma_1 g \omega N_n \alpha_n} - \frac{\beta B h v}{\gamma_1 I x g \omega}}{v \exp\left(-\tau_1 \frac{a+b}{2}\right) - \frac{\beta B h v}{g \left(1 + \frac{1}{v} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right)} - \frac{\beta B h v}{\gamma_1 I x g \omega}} \right] \frac{\frac{v}{g\beta} + \tau_1(1-\mu) - \left(1 + \frac{\mu}{v} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right) \frac{B h v}{I x g \omega}}{\frac{\gamma_1 x \omega}{2 B h \left(1 + \frac{1}{v} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right)} \exp\left(-\tau_1 \frac{a+b}{2}\right) - 1}. \quad (5)$$

Необходимо также рассчитать наполнение резервной емкости при одновременно возникающих возмущениях в начальном  $\alpha_n$  и конечном  $\alpha_k$  створах звена каскада канала определяется из выражения:

$$\Delta W = \Delta W_n + \Delta W_k. \quad (6)$$

По результатам статических и динамических расчетов канала, установив наполнения в звене каскада, габаритные размеры канала и местоположения водовыпусков, можно переходить к расчету водовыпускных и перегораживающих сооружений.

При расчете водовыпуска, автоматизированного стабилизатором расхода воды конкретной конструкции, необходимо установить режим истечения через стабилизатор.

Зная проектный режим истечения из-под стабилизатора, рассчитываются параметры водовыпускного сооружения. Расчет водовыпускного сооружения обычно осуществляется на базе предварительно установленных максимального отводимого расхода воды  $Q_{max}$ , минимального наполнения  $h_{min}$  и максимального наполнения  $h_{max}$  в транзитном канале перед водовыпуском.

Каждая конструкция гидравлического стабилизатора расхода воды имеет свою индивидуальную методику расчета [3].

Каналы, работающие по схеме регулирования II класса, когда сооружения оснащены авторегуляторами уровня и стабилизаторами расхода воды, которые в сочетании с обратной связью обеспечивают осуществление процесса водораспределения без участия обслуживающего персонала, относятся к системам первой стадии комплексной автоматизации.

В этом случае стабилизаторы расхода воды, установленные на отводах, подают в каналы младшего порядка расходы воды по запросам потребителей в соответствии с планами водораспределения. Изменение режима водопотребления (управление) при нормальных условиях эксплуатации осуществляется потребителями – персоналом, производящим полив. Периодический контроль осуществляется персоналом эксплуатации. Информация передается на диспетчерский пункт по телефону или радио. Нарушения нормального режима эксплуатации устраняет диспетчерская служба при выезде на объект.

На каналах с гидравлическими стабилизаторами расхода воды при второй стадии комплексной автоматизации (для схем регулирования II класса) предусматривается местная автоматизация сооружений и централизованный контроль с помощью средств телемеханики. Процесс водораспределения осуществляется автоматически. Централизованный контроль позволяет обеспечить систематический учет водопотребления и повысить оперативность управления в случаях нарушения нормального режима эксплуатации, устраняемые диспетчерской службой при выезде на объект.

Таким образом, проектирование сооружений водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды сводится к определению по гидравлическим, статическим и динамическим расчетам размеров основных элементов сооружений и их местоположения, определению материалов для исполнения этих элементов и компоновке их в единую систему.

Класс капитальности сооружений водораспределения принимается равным классу капитальности каналов, на которых они проектируются.

Нагрузки и воздействия на сооружения рассчитываются согласно СНиП П-57-75 “Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Нормы проектирования”.

Для возведения бетонных и ж/б элементов сооружений систем водораспределения, выполняемых по СНиП П.06.08-87, необходимо применять гидротехнический бетон, отвечающий требованиям СНиП П.03.01-84.

Антикоррозийную защиту конструкций следует предусматривать согласно СНиП П-03.11-85 “Защита строительных конструкций от коррозии”.

Металлические части стабилизаторов подлежат окраске водостойкой краской. Подъемный винт необходимо промазывать нигролом перед началом, и после завершения поливного сезона.

Эксплуатационное обслуживание и уход за сооружениями на каналах осуществляется штатными сотрудниками РУВХ, закрепленными за данным гидроучастком. Регулирование расходов воды в отводящие каналы производится согласно планам водоподдачи маневрированием затворов стабилизаторов расхода на водовыпусках и распределительных узлах.

В зимний период ирригационные каналы чаще всего не эксплуатируются. Поэтому перед зимним сезоном необходимо выполнить консервацию всех средств автоматизации водораспределения.

Эксплуатация стандартного механического оборудования (винтов, подъемников и др.) производится в соответствии с паспортами, инструкциями и другими документами заводов-поставщиков.

Начальник участка должен периодически проводить инструктаж обслуживающего персонала по охране труда с соответствующими отметками в журнале.

Дополнительными мерами к действующим нормам безопасности жизнедеятельности при эксплуатации сооружений водораспределения являются:

- сооружение ограждений на крупных водораспределительных узлах;
- размещение на ограждении предупреждающих надписей, запрещающих купание вблизи сооружений, оборудованных затворами;
- сооружение на водораспределительных узлах служебных мостиков с перилами для регулировочных и обслуживающих работ;
- периодическое наблюдение обслуживающего персонала за состоянием звеньев системы и средств их автоматизации.

#### **Литература**

1. Атаманова О.В. Переходные процессы в бьефах каскада канала с гидравлическими стабилизаторами расхода воды / О.В. Атаманова // Гидротехническое строительство. М., 2005. №12. С.34-41.
2. Маковский Э.Э. Автоматизированные автономные системы трансформации неравномерного стока / Э.Э. Маковский, В.В. Волчкова. Фрунзе: Илим, 1981. 380 с.
3. Атаманова О.В. Курс лекций по основам автоматики и автоматизации в гидротехническом строительстве: учеб. пособие / О.В. Атаманова. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2013. 232 с.