

Срок прогноза откладывается по оси абсцисс, выбирается та кривая, ордината которой наибольшая. Это и будет наиболее вероятное состояние плотины. Во внимание следует принимать те состояния, вероятность которых превышает 5%. К примеру, в настоящий момент времени собственник не располагает финансовыми средствами для восстановления нормального уровня безопасности или текущего ремонта. Практически невозможно (то есть с вероятностью, меньшей, чем 5%), что в ближайшие 2 года плотина снизит уровень безопасности до неудовлетворительного или опасного. Если же отложить ремонт еще на 13 лет, то снижение уровня безопасности до опасного уже не будет практически невозможным событием (то есть вероятность опасного состояния превысит 5%), а вероятность того, что плотина будет иметь неудовлетворительный уровень, превысит 20%. В этом случае будет необходим уже капитальный ремонт. Кривые достаточно просты в использовании.

Список использованных источников

1. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2017 году». – М.: НИА-Природа, 2018. – 298 с.

2. Постановление Правительства Российской Федерации от 2 ноября 2013 года № 986 «О классификации гидротехнических сооружений»

3. Постановление Правительства Российской Федерации от 19 апреля 2012 года № 350 «О федеральной целевой программе "Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах» (доступ из системы Гарант).

4. Волосухин В.А., Бондаренко В.Л. Факторы, определяющие безопасности гидротехнических сооружений // Наука и безопасность. 2014. № 3 (12). С. 7 – 8.

5. Волков В.И., Каганов Г.М. Обобщение результатов обследования состояния гидроузлов в Московской области за 2002-2012 гг. // Мелиорация и водное хозяйство. 2012. № 3. С. 5 – 8.

6. Козлов Д.В., Волков В.И., Снежко В.Л. Прогноз уровня безопасности низконапорных и бесхозяйных гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 2018. № 11. С. 35 – 41.

7. Волков В.И., Снежко В.Л. Статистические методы определения показателей надежности сооружений низконапорных гидроузлов // Природообустройство. 2017. №5. С. 20 – 26.

8. Михеева О.В., Панкова Т.А. К вопросу об эксплуатационной надежности грунтовых плотин // О.В. Михеева, Т.А. Панкова / Вестник Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова. 2012, № 7. С. 56–60.

УДК 631.6, 001.57, 556.541:004.94

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СООРУЖЕНИЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

А.А. Талызов

ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», г. Москва, Россия

Введение

Недостаточно высокий уровень водоучета и не оптимальность управления водораспределением на оросительных системах (ОС) приводят к повышенным

материальным затратам при их эксплуатации, и могут служить причиной перебоев подачи воды. Внедрение новых методик управления оросительно-обводнительными системами, основанных на численном математическом моделировании, позволит повысить оперативность и качество управленческих решений, минимизировать возможные потери. Создаваемые методы регулирования стока позволят улучшить эффективность функционирования гидромелиоративных систем за счет выбора наиболее оптимального режима работы насосных станций и регулирующих сооружений [1, 2].

Материалы и методы

Учет таких закономерностей режима источника водоснабжения, как колебания горизонтов и расходов воды, изменение мутности воды позволяет оптимизировать работу головной насосной станции и мелиоративной системы в целом. Для учета этой информации могут использоваться графики характерных горизонтов воды в водоприемнике [3]. Путем выбора оптимального создаваемого напора насосные станции могут работать в области наивысшего КПД.

Рассмотрим задачу, связанную с функционированием головного водозаборного гидроузла – насосной станции первого подъема оросительно-обводнительной системы. Оптимизация режима работы данной станции может быть выполнена по критерию минимизации затраты электроэнергии на подачу необходимого объема воды, при изменяющемся по известному графику ходу уровня воды в источнике $h(t)$. Необходимо выбрать период включения насосной станции, исходя из необходимого объема подаваемой воды, известного уровня верхнего бьефа, и характеристик самой насосной станции.

Моментальная электрическая мощность может быть вычислена по формуле

$$P = \frac{\rho g Q H}{1000 \eta},$$

где:

P – полная потребляемая мощность, кВт;

η – полный КПД насоса;

ρg – удельный вес жидкости, Н/м³;

Q – объемная подача насоса, м³/с;

H – напор, развиваемый насосом, м.

Количество затрачиваемой электроэнергии на подачу определенного объема воды в течение выбранного интервала времени (t_0, t_1) может быть подсчитано как

$$W = \int_{t_0}^{t_1} P(t) dt$$

Таким образом, задача оптимизации сводится к поиску такого интервала (t_0, t_1), при котором W минимальна. Наиболее простым методом нахождения данного решения, с точки зрения программной реализации, является алгоритм последовательного перебора. Суть его заключается в следующем: полный временной интервал разбивается на дискретные значения, и каждое такое значение рас-

сматривается как начальное для запуска насосов. Исходя из необходимого количества подаваемой воды, вычисляется время останова, и затрачиваемая при этом электроэнергия. Тот интервал, при котором затрачиваемая электроэнергия минимальна, считается оптимальным, и выдается в качестве рекомендуемого.

Для практической реализации описанного метода была создана программа FindMax, реализующая описанный алгоритм. При запуске, программа считывает в табличном виде параметры насосной станции в виде графика зависимости потребляемой электрической мощности от создаваемого напора $P(h)$, необходимые требования по объему подаваемой воды и уровню верхнего бьефа, а также произвольный график хода уровней воды в источнике $h(t)$. Методом последовательного перебора с дискретным по времени шагом производится поиск наиболее подходящего интервала времени для работы насосной станции. Если решение не может быть найдено, то выводится соответствующее сообщение. Также проверяются на корректность исходные данные, в частности, нахождение вычисленного напора воды в диапазоне, указанном в характеристике станции $P(h)$. Программа реализована в виде приложения Microsoft Windows, была успешно протестирована на различных наборах исходных данных. Пример исходных данных (кривая хода уровня воды в источнике) и расчетная рекомендуемая временная область включения насосов показаны на рисунке 1.

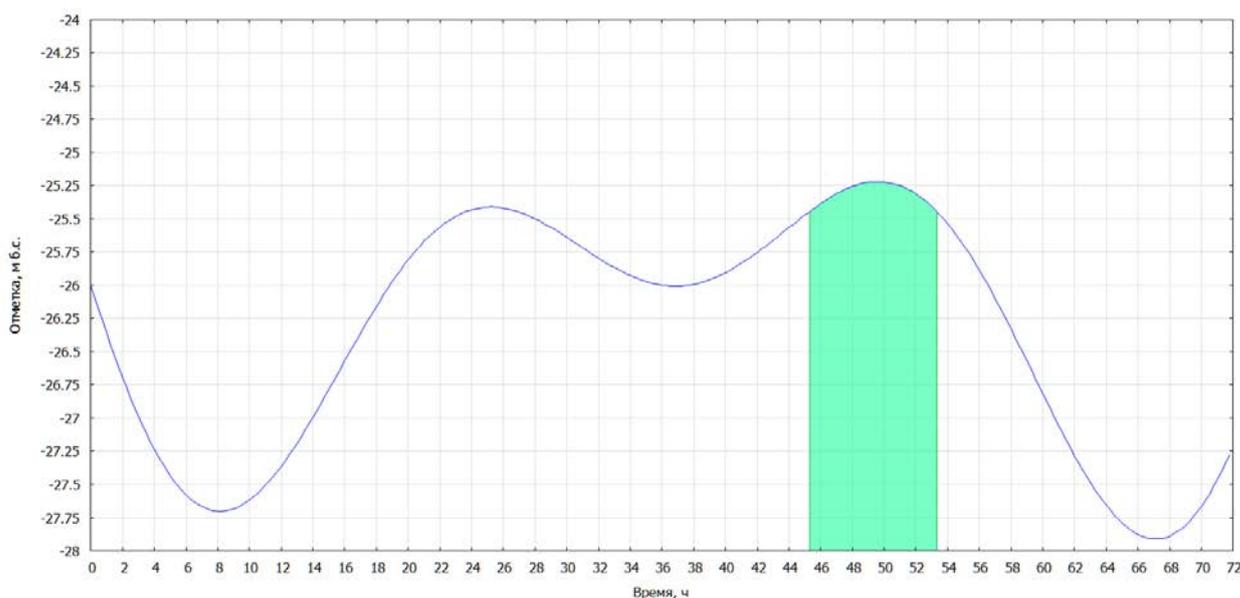


Рисунок 1 - Графическое отображение исходного хода уровней и найденного решения

На основе модельных и фактических данных могут быть созданы правила автоматизированного регулирования режимов функционирования управляющих сооружений, входящих в состав оросительной системы [4].

Предлагаемая система автоматизации состоит из модулей накопления и подготовки данных, модулей математического моделирования и модуля отображения расчетных рекомендаций по регулированию сооружений, входящих в состав мелиоративной системы. Под регулированием обычно подразумевают процесс, при котором физическая величина, например, уровень или расход воды,

непрерывно измеряется и сравнивается с целевым значением, в зависимости от результата сравнения выполняются действия, приводящие к ее сближению с требуемой величиной. Данная последовательность действий выполняется в пределах замкнутого контура – контура регулирования (рисунок 2).

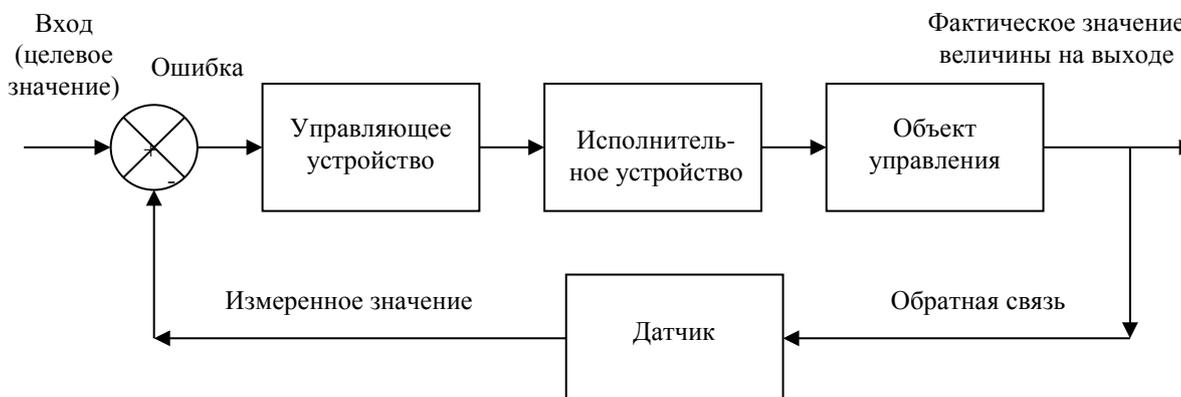


Рисунок 2- Схема замкнутой системы регулирования

Практически все объекты мелиоративных систем обладают инерцией – механической, гидродинамической. При изменении входных сигналов выходной сигнал системы меняется не мгновенно, а в течение некоего периода времени. Также выходной сигнал может изменяться и после того, как входной сигнал стал постоянным. Это явление также является примером инерции. Инерция элементов мелиоративной системы связана в основном с накоплением воды в ее элементах, например, магистральных каналах, имеющих кроме основной функции – транспорта воды, также способность ее накапливать и отдавать при изменении характеристик течения. Также некоторой инертностью обладают затворы, насосные станции. При переходных процессах параметры течения могут изменяться не только монотонно, но и колебательно.

По характеру изменения управляемой величины во времени различают статический и динамический режимы. При статическом режиме выходная величина постоянна во времени, такой режим возникает при постоянстве входных воздействий. В таком случае связь между входными и выходными величинами может быть описана алгебраическими уравнениями. При динамическом режиме выходная величина непрерывно изменяется во времени. Данный режим возникает при установлении выходной величины после приложения входного воздействия. Происходящие при этом процессы могут быть описаны с помощью дифференциальных уравнений. Динамические режимы могут быть подразделены на переходные и установившиеся. Переходный режим, существующий от момента начала изменения входного воздействия до момента, когда выходная величина начинает изменяться по закону этого воздействия. Установившийся режим наступает в момент, когда выходная величина начинает изменяться по такому же закону, что и входное воздействие, после окончания переходного процесса.

Модель объекта регулирования может быть представлена в виде набора звеньев, каждое из них обладает определенными динамическими свойствами. Каждое звено соответствует определенному элементу моделируемой оросительной системы, сложные элементы могут быть представлены в виде набора отдельных элементарных звеньев. Соотношение входного и выходного сигнала каждого звена описывается передаточной функцией. Подразделяют следующие виды типовых звеньев:

- усилительные;
- интегрирующие (идеальное и реальное);
- дифференцирующие (идеальное и реальное);
- аperiodические (инерционное);
- колебательные;
- запаздывающие.

Примером интегрального звена может служить водохранилище, если в качестве входного параметра рассматривать расход поступающей воды, а в качестве выходного – уровень воды. Движение воды в канале описывается запаздывающим звеном: входной параметр - объем закачанной воды без изменения поступает к потребителю, с определенной задержкой по времени. В таблице 1 приведено математическое описание основных видов передаточных звеньев.

Таблица 1 - Виды элементарных звеньев

Вид звена	Описание во временной области	Передаточная функция
Усилительное	$y = Kx$	$W(s) = K$
Идеальное интегрирующее	$y = K \int_0^t x(t) dt$	$w(s) = \frac{K}{s}$
Реальное интегрирующее	$T \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + \frac{dy(t)}{dt} = kx(t)$	$w(s) = \frac{K}{s(Ts + 1)}$
Идеальное дифференцирующее	$y = K \frac{dx(t)}{dt}$	$W(s) = Ks$
Реальное дифференцирующее	$h(t) = \frac{K}{T} e^{-\frac{t}{T}}$	$w(s) = \frac{Ks}{Ts + 1}$
Аperiodическое (инерционное)	$T \frac{dy}{dt} + y = Kx$	$W(s) = \frac{K}{Ts + 1}$
Запаздывающее	$y(t) = x(t - \tau)$	$W(s) = e^{-s\tau}$
Колебательное	$T_2^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = Kx$	$W(s) = \frac{K}{T_2^2 s^2 + T_1 s + 1}$

Регулирование с помощью правил исследовано с применением HEC-RAS версии 5.0. HEC-RAS – комплекс программ, предназначенный для выполнения одномерных и двумерных гидравлических расчетов для речной сети искусственных каналов. Изначальное и основное применение заключается в вычислении кривых водной поверхности, профилей и карт затопления. Впоследствии, функционал был значительно расширен, появилась возможность моделировать работу различных типов гидротехнических сооружений, в том числе с помощью правил, описанных программно с помощью модуля Rule Base Operations.

Rule Based Operations - встроенная функция программных сценариев регулирования в HEC-RAS, располагающая широким набором инструментов управления сооружениями и способами задания граничных условий. С помощью правил пользователь может предоставить HEC-RAS возможность управлять открытием затворов или переопределять их тип с помощью указания потоков в структуре затвора.

Пользователь может выполнять операции сценариев на основе ввода или вычисления переменных в различных точках расчетной сети, включая текущие и ранее вычисленные параметры водного потока. Все эти элементы управления предварительно запрограммированы в редакторе операций с правилами. В отличие от обычных языков программирования, правила создаются внутри редактора операций, путем нажатия определенных кнопок и заполнения полей ввода из выпадающего списка. С помощью этого редактора пользователь может определять новые переменные, извлекать смоделированные значения, устанавливать параметры функционирования сооружений, условные операторы программ, выполнять математические вычисления и настраивать таблицы парных данных. Может быть установлена простая операция правил для открытия или закрытия затвора на основе вычисленного потока в исходном местоположении. Если определенный расход превышен, затвор открывается на заданную величину. С другой стороны, если вычисленный поток меньше заданного значения, затвор закрывается на заданную величину, таким образом, реализована функция регулирования уровня воды. На рисунке 3 показан условный программируемый оператор, необходимый для обработки этой операции в редакторе правил.

Выводы

В ходе выполнения данного исследования разработаны методы регулирования стока в водопроводящей сети, включающие:

- методику определения области эффективных решений применительно к задачам регулирования стока (программа, на основе известных методов поиска области эффективных решений);

- создание правил регулирования на основе модельных и фактических данных (задание работы сооружений с помощью определенного алгоритма и набора данных).

Внедрение предлагаемых методик управления позволит оптимизировать режимы функционирования гидромелиоративных систем, снизить потребление электроэнергии насосными станциями, обеспечить бесперебойную подачу воды потребителям.

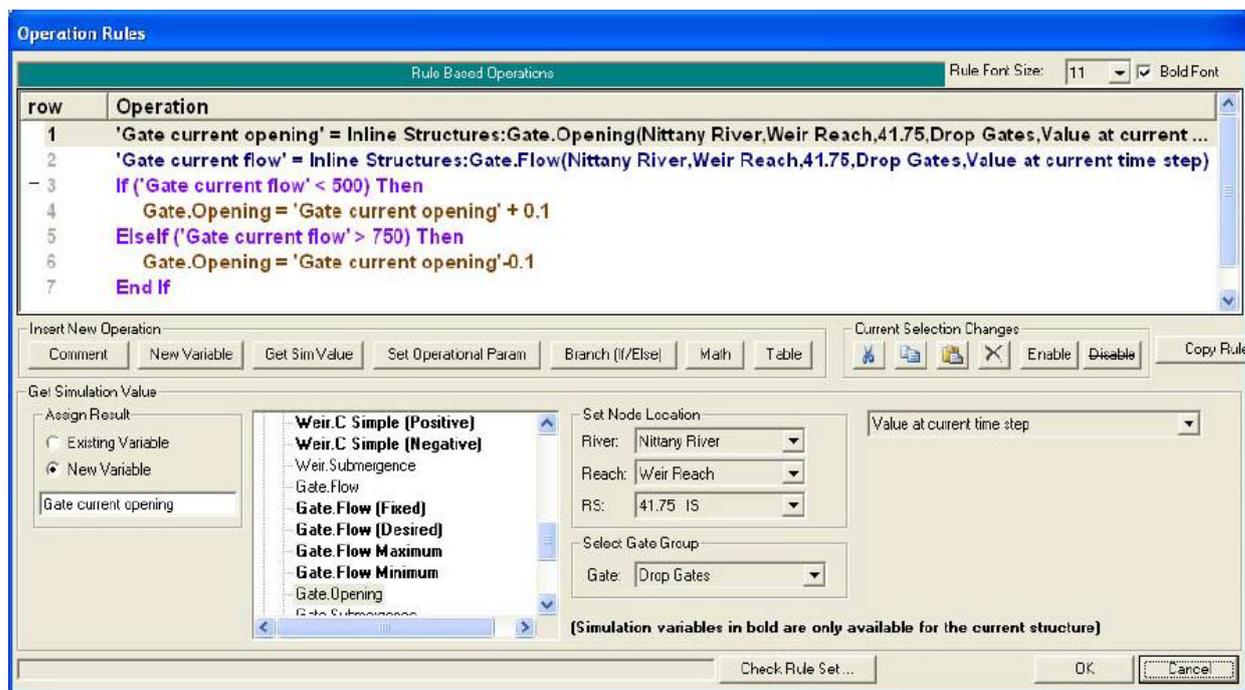


Рисунок 3 - Условные операторы в редакторе описания правил

Список использованных источников

- 1) Щербаков А.О., Талызов А.А. Численное моделирование гидромелиоративных систем на примере лиманской оросительно-обводнительной системы // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2017. № 1 (25). С. 190-206.
- 2) Талызов А.А., Щербаков А.О. Моделирование регулирования стока водопроводящей сети гидромелиоративных систем на основе компьютерных технологий // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2018. № 2 (70). С. 208-212.
- 3) Коваленко, П.И. Автоматизация мелиоративных систем. // -М.: Колос, 1983. - 304с.
- 4) Иваненко Ю.Г., Ткачев А.А. Теоретические и прикладные проблемы гидравлики рек и каналов: Монография. – Новочеркасск, 2007.