

среднемноголетние значения элементов годового водного баланса территории для федеральных округов и России в целом (расчетные периоды первой половины XXI века), полученные исходя из принятых сценариев возможного изменения климата.

Анализ таблиц 4 и 5 позволяет сделать вывод о том, что в первой половине XXI века нет оснований ожидать каких-либо значительных изменений ресурсов местного речного стока в результате принятия гипотезы антропогенного изменения (потепления) климата как России, так и по ее федеральным округам, поскольку крайние оценки изменений стока находятся в пределах от +1,2 до +10,5 %, т. е. в диапазоне естественной изменчивости годового стока рек России. В ближайшей перспективе (в случае сохранения тенденции изменения климата) наиболее вероятно незначительное (в пределах 1...5 %) увеличение естественных ресурсов местного стока во всех федеральных округах России.

#### Выводы

Оценки стока, полученные в соответствии с принятыми сценариями изменения климата в XXI веке в результате антропогенного увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере, позволяют говорить о повышении степени водообеспеченности всех федеральных округов, хотя и в этом случае даже крайние оценки не превышают 10...15 %.

В реальных условиях антропогенного воздействия полученные оценки естественных ресурсов стока будут определяться степенью использования водных ресурсов в том или ином федеральном округе России.

1. Исмайылов Г. Х., Федоров В. М. Межгодовая изменчивость и взаимосвязь элементов водного баланса бассейна реки Волги // Водные ресурсы. – Т. 35. – 2008. – № 3. – С. 1–18.

2. Исмайылов Г. Х., Федоров В. М. Оценка и прогноз элементов водного баланса бассейна реки Волги: сб. докладов Международной научно-практической конференции (7–11 декабря 2010 года). – М.: Изд-во РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2011. – С. 170–176.

3. Водные ресурсы России и их использование; под ред. проф. И. А. Шикломова. – СПб.: ГГИ, 2008. – 600 с.

Материал поступил в редакцию 21.04.11.

*Исмайылов Габил Худуш оглы, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Гидрология, метеорология и регулирование стока»*

*Тел. 8 (499) 976-23-68*

*E-mail: Ism37@mail.ru*

**Федоров Владимир Михайлович**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник

УДК 502/504:628.171:556.3.01

**С. Н. КАРАМБИРОВ, Л. Б. БЕКИШЕВА, С. А. ТРИКОЗЮК**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ С УЧЕТОМ РИСКА

*Рассмотрены вопросы проектирования систем водоснабжения с учетом рисков на основе имитационного моделирования.*

*Риск, водоснабжение, имитационное моделирование.*

*Questions of water supply systems designing are considered taking into consideration risks on the basis of simulation.*

*Risk, water supply, simulation.*

Понятие риска обычно интерпретируется как возможность получения неже-

лательного результата. Это связано с отсутствием полной информации, наличием

противоположных тенденций, элементам случайности и т. д. Проблема оценки и учета риска приобретает самостоятельное значение как часть теории и практики управления.

Под риском понимаются все внутренние и внешние предпосылки, которые могут негативно повлиять на достижение стратегической цели – бесперебойного снабжения потребителей водой нужного качества и под необходимым напором в течение определенного отрезка времени. Можно выделить основные черты риска: противоречивость, альтернативность, неопределенность [1].

Функционированию и развитию систем подачи и распределения воды присущи элементы неопределенности. Это приводит к появлению ситуаций, не имеющих однозначного решения. Риск представляет собой событие, которое может произойти в условиях неопределенности информации с некоторой вероятностью. Неопределенность достижения результата предопределена наличием экзогенных (внешних) и эндогенных (внутренних) факторов.

К экзогенным факторам относятся обеспеченность подачи воды водоисточником, погодные условия, режимы работы предприятий, коммунальные условия и т. д. Эндогенные факторы неопределенности зависят от деятельности водоканала и обусловлены невозможностью точного прогнозирования его основных показателей.

Способы оценки рисков могут быть экспертные, статистические, расчетно-аналитические, аналоговые.

Выбор конкретного метода определяется наличием необходимой информационной базы и уровнем квалификации персонала. Управление риском можно охарактеризовать как совокупность методов, приемов и мероприятий, позволяющих в определенной степени прогнозировать наступление рискованных событий и принимать меры к исключению или снижению отрицательных последствий наступления таких событий [2]. Под снижением степени риска понимают снижение вероятности и объема потерь, в частности из-за неподачи воды потребителям. Риск – категория вероятностная, поэтому его количественная оценка базируется на теории вероятностей и математической статистике.

Ситуация риска в системе подачи и распределения воды связана с происходящими в ней стохастическими процессами – вероятностным водопотреблением, отказами отдельных элементов системы, отключениями электроэнергии и т. д. Для этой ситуации характерно: наличие неопределенности, необходимость выбора альтернатив, оценка вероятности осуществления выбираемых решений.

Вероятностная оценка – наиболее очевидный способ оценки риска. В системе подачи и распределения воды это может быть вероятность снижения напора в узлах ниже требуемого.

При проектировании системы водоснабжения не удастся полностью учесть всю совокупность исходной информации, а также влияние последствий их отклонений от ожидаемых значений на результаты функционирования системы. Оба эти обстоятельства называются эффектом неопределенности. Поэтому необходимо стремиться к оптимальному использованию имеющейся информации, чтобы, взвесив возможные варианты, постараться найти наилучшее решение. Принятие решения представляет собой выбор одного из некоторого множества рассматриваемых вариантов:  $E_i \in E$ . Каждым вариантом  $E_i$  однозначно определяется некоторый результат  $e_i$ . В водоснабжении им может быть вероятность безотказной работы системы. Целью нашего выбора является  $\max e_i$ .

Рассмотренный детерминированный случай, когда каждому варианту решения соответствует единственный результат, является простейшим и весьма частым. В более сложных случаях каждому допустимому варианту решения  $E_i$ , вследствие различных внешних условий  $F_j$  (например, водопотребления, пожарных расходов и мест их локализации, гидравлических сопротивлений с учетом зарастаний труб и т. д.), могут соответствовать разные результаты решений  $e_{ij}$ . Однако для сравнения вариантов необходимо свернуть все множество результатов в одно число, т. е. получить соответствие  $E_i > e_{ir}$ , где  $e_{ir}$  – результат, характеризующий в целом все последствия решения  $E_i$ .

Проектировщик и в этом случае старается выбрать решение с наилучшим результатом, но поскольку неизвестно, с какими условиями придется столкнуться, он вынужден принимать во внимание

все оценки  $e_{ij}$ , соответствующие варианту  $E_i$  [2]. В большинстве случаев ориентируются на наименее благоприятный случай, и каждому из альтернативных вариантов приписывают наихудший из возможных результатов. Таким образом, получают таблицу вариантов и соответствующих им худших результатов. Окончательный выбор соответствует варианту, для которого этот худший вариант является наилучшим, т. е.

$$\max_i e_{ir} = \max_i (\min_j e_{ij}).$$

Проектировщик исходит из необходимости ориентироваться на наиболее неблагоприятный случай и приписывает каждому из возможных вариантов  $E_i$  наихудший из возможных результатов  $e_{ir}$ . После этого из массива  $e_{ir}$  выбирается самый выгодный вариант, т. е. ожидается наилучший результат в наихудшем случае. Для любого внешнего состояния результат может быть только равным полученному или лучшим.

В рассматриваемой ситуации принятия решений будем считать риском реализацию случая, когда вариант решения  $E_i$  при внешнем состоянии  $F_j$  дает результат меньше ожидаемого [2]. В системах водоснабжения это может означать недоподачу воды потребителям. Риск включает неуверенность в том, произойдет ли нежелательное событие и возникнет ли неблагоприятное состояние. Такой недостаток информации приближает риск к принятию решений в условиях неопределенности. Полностью свободной от риска системы, несмотря на самые большие затраты, не существует. Любой вариант решения в той или иной степени связан с риском. Ущерб от решения, принятого с учетом риска, может оказаться величиной малой по сравнению с затратами на то, чтобы избежать такого ущерба.

Последствия в принципе нежелательного события или состояния  $A$  могут описываться своими специфическими параметрами от экономических до этических ценностей. Тогда величина риска  $R$  определяется как произведение величины события  $A$  на вероятность  $q$  его наступления:  $R = Aq$ . При угрозе возникновения одновременно нескольких потерь последнее равенство понимается как скалярное произведение. Если различные последствия нежелательных событий одинаковы

или их нельзя выразить в денежном выражении, то для их сравнения достаточно рассматривать только соответствующие вероятности. Решения, связанные с риском, всегда остаются для инженера сомнительными, так как разделить риск на оправданный и неоправданный в общем случае можно только после наступления нежелательных последствий. Поэтому инженерно-техническая деятельность в принципе не может быть свободна от всякого риска, а на оправданный риск нужно сознательно идти [2].

Для оценки риска необходимо использовать вероятностные методы расчета системы подачи и распределения воды, использующие не детерминированные отборы воды той или иной обеспеченности, а расходы с заданными законами распределения случайных величин. В настоящее время разработаны методы стохастической увязки и оптимизации систем подачи и распределения воды, основанные на линеаризации системы уравнений гидравлического расчета в районе решения (математического ожидания) [3, 4].

Альтернатива этому методу – имитационное моделирование системы подачи и распределения воды в условиях стохастического процесса водопотребления. Для каждого узла этот процесс рассмотрен как 24-мерная случайная величина. Чтобы идентифицировать параметры этой величины, используют данные по фактическому водопотреблению объектов водоснабжения.

Рассмотрим этапы моделирования режимов работы системы подачи и распределения воды. По результатам предыдущих расчетов задаем состояние системы на день и час начала имитации. После розыгрыша водопотребления производим гидравлический расчет системы подачи и распределения воды. При этом в силе остаются заявленные для него варианты управления насосными станциями. Считается, что параметры системы не претерпевают значительных изменений в течение шага квантования по времени  $\Delta t$ , который принимается, как правило, равным одному часу.

В результате имитации определяем:

- изменение во времени расходов и напоров для выбранных узлов;
- изменение во времени расходов для контролируемых участков;
- количество часов отказа каждого

узла;

количество часов выхода характеристик насосов за пределы рабочей зоны.

Результаты обрабатываем с помощью статистических методов.

Рассмотрим пример расчета кольцевой сети с контррезервуаром, состоящей из 25 участков, 17 узлов и 2 водопитателей. Требуемый свободный напор для всех узлов составляет 14 м.

В час максимального водопотребления (21–22) (наихудший случай) напор в диктующей точке (узел 16), полученный в результате детерминированного расчета для средних значений узловых расходов, составил 17,2 м. В дальнейшем был проведен имитационный расчет для каждого часа в течение 120 сут. При этом узловые расходы разыгрывались по нормальному закону распределения. На рис. 1 приведены гистограмма и эмпирическая функция распределения напора в диктующей точке в час максимального водопотребления.

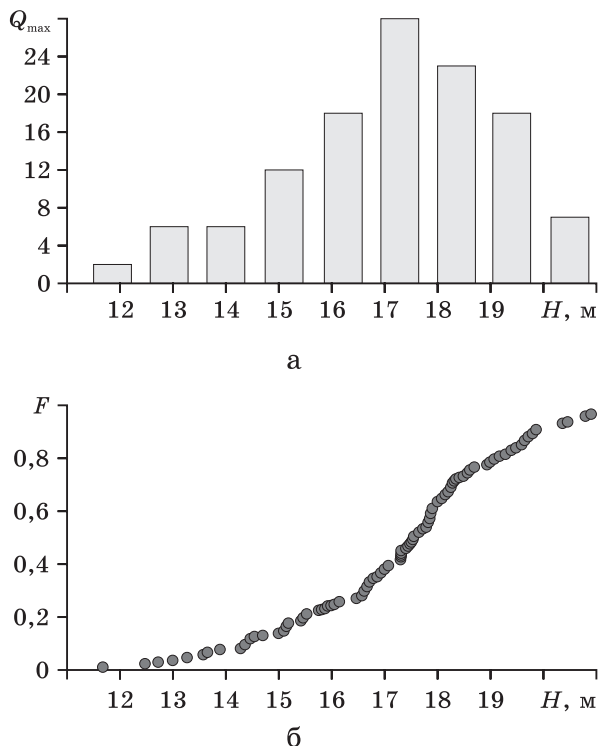


Рис. 1. Параметры распределения в час  $Q_{max}$ : а – гистограмма; б – эмпирическая функция распределения

Из рисунка 1 видно, что с вероятностью 0,1 напор в узле может быть меньше требуемого, что ведет к отказу системы. Вместе с тем, напор не может оказаться ниже 12 м, а вероятность, что он будет меньше 13 м, крайне мала. Для других

часов суток свободный напор не опускается ниже требуемого.

На рис. 2 приведены те же показатели для следующего в сторону уменьшения водопотребления часа (22–23).

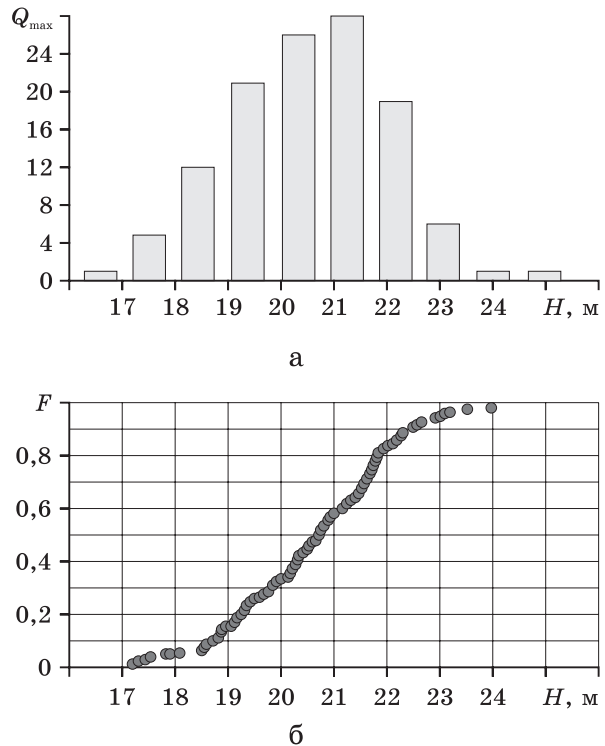


Рис. 2. Параметры распределения для часа (22–23): а – гистограмма; б – эмпирическая функция распределения

Из рисунка 2 видно, что напор в диктующей точке для всех реализаций имитации превышает 17 м.

#### Выводы

Задачу с параметрами системы приходится решать в условиях риска, который заключается в том, что с вероятностью 0,1 напор в диктующей точке в течение не более одного часа может снизиться по сравнению с требуемым примерно на 1 м.

Если для потребителей указанного узла такое снижение не является критичным, риск можно считать оправданным. В противном случае необходимо увеличивать диаметры труб или напоры водопитателей, что неизбежно приведет к удорожанию системы. Возможно рассмотрение варианта установки у отдельных потребителей запасных резервуаров.

При проектировании и реконструкции системы подачи и распределения воды необходимо учитывать фактор риска, что может существенно снизить

стоимость системы.

1. Коршунова Л. Н., Проданова Н. А. Оценка и анализ рисков. – Ростов на Дону: Феникс, 2007. – 96 с.

2. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений (пер. с нем.) – М.: Мир, 1990. – 208 с.

3. Карамбиров С. Н. Математическое моделирование систем подачи и распределения воды в условиях многорежимности и неопределенности: монография. – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2004. – 197 с.

4. Вантеева О. В. Вероятностные

модели и методы анализа режимов функционирования трубопроводных систем: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Иркутск, 2011.

Материал поступил в редакцию 15.04.11.

*Карамбиров Сергей Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Вычислительная техника и математическое программирование»*  
Тел. 8(499)153-97-66

*Бекишева Лаура Борисовна, аспирантка*  
Тел. 8-909-948-51-73

*Трикозюк Сергей Алексеевич, аспирант*  
Тел. 8 (495) 798-63-38, 8 (495) 485-77-32

УДК 502/504:532.5:627.13

**А. П. ГУРЬЕВ, Р. А. ХАЙРУЛЛИН**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕЗНАПОРНОГО ПОТОКА В ВЕРТИКАЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫХ СОПРЯГАЮЩИХ КОЛЕНАХ**

*Статья посвящена вопросу определения усредненного гидродинамического давления потока на сопрягающих круглоцилиндрических поверхностях колен шахтных водосбросов и водосливных плотин для безнапорных потоков. Сделаны теоретические выводы определения гидродинамического давления с использованием результатов экспериментов.*

*Сопрягающее колено шахтного водосброса, сопрягающий криволинейный участок водосливной плотины, центробежное давление, усредненное гидродинамическое давление.*

*The article deals with the question of determination of the flow average hydrodynamic pressure on conjugating circular cylindrical surfaces of bends of shaft spillways and spillway dams for water free flows. There are drawn theoretical conclusions of determination of the hydrodynamic pressure using the results of experiments.*

*Conjugating bend of shaft spillway, conjugating curvilinear part of spillway dam, centrifugal pressure, average hydrodynamic pressure.*

Вертикально расположенные сопрягающие колена имеют достаточно широкое распространение в гидротехнических сооружениях. К ним относятся безнапорные колена шахтных водосбросов, участки сопряжения наклонной грани водосливной плотины с рисбермой, цилиндрические носки-трамплины. Как правило, на этих участках потоки имеют

большие скорости, которые могут формировать зоны с кавитационным разрушением бетона. Наличие центробежных сил, направленных внутрь потока, снижает опасность возникновения кавитации, не исключая совсем возможности ее появления. В [1] отмечено, что из-за неудовлетворительного производства работ на вогнутой поверхности сопрягающего