

УДК 631.67:626.8

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ ОБЪЕМА ВОДОХРАНИЛИЩА СЕЗОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА

¹Сафронова Т.И., ¹Дегтярева О.Г., ²Степанов В.И.

¹ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет»,
Краснодар, e-mail: mail@kubsau.ru;

²Алтайский экономико-юридический институт, Барнаул, e-mail: institut@aeli.altai.ru

В связи с растущим потреблением пресной воды и значительным ее дефицитом на Черноморском побережье Краснодарского края и Крымском полуострове встает вопрос о разработке современных конструктивно-технологических решений, направленных на решение данного вопроса. Для бесперебойного водообеспечения бассейна рек Черноморского побережья необходимо создание запаса воды. Эта проблема выявляется особенно остро во время летней межени. В работе рассматривается подход к выбору управленческих решений при строительстве регулирующих емкостей (водохранилищ) для системы регулирования стока атмосферных осадков. Система основана на технологии использования надземного и подземного объемов горной реки, что позволяет обеспечить надежный водоотбор на протяжении всего периода эксплуатации системы регулирования стока. Задача состоит в том, чтобы определить полезный объем водохранилища при минимальных затратах средств на создание плотины и других сооружений. Эксплуатация системы обусловлена большим количеством случайных факторов, в связи с чем необходим вероятностный подход к выбору управленческих решений режима эксплуатации водохранилища сезонного регулирования стока. Необходимо тщательно планировать эксплуатационные мероприятия, в том числе возможное обновление элементов системы, регулярное управление функционированием системы при минимальных затратах. Предлагается вероятностная модель процесса снижения цены намечаемых эксплуатационных мероприятий, где оцениваемые параметры трактуются случайными величинами. Это позволяет рассмотреть неопределенность в терминах вероятностных распределений. В статье вычислена длительность наступления определенного состояния системы. Результат может быть использован при разработке мероприятий по снижению неопределенностей управленческих решений, при разработке альтернатив управленческих решений и обоснованному выбору наиболее подходящих.

Ключевые слова: поверхностные и грунтовые воды, водозабор, система регулирования, вероятностные характеристики

PROBABILISTIC APPROACH TOWARDS CHOICE OF STORAGE POOL VOLUME FOR SEASONAL REGULATION OF DRAIN

¹Safronova T.I., ¹Degtyareva O.G., ²Stepanov V.I.

¹Kuban State Agrarian University, Krasnodar, e-mail: mail@kubsau.ru;

²Altai Economic and Law Institute, Barnaul, e-mail: institut@aeli.altai.ru

In regard to increasing consumption of fresh water and its considerable deficit along Black Sea coast of Krasnodar region and peninsula of Crimea a question arises regarding development of modern structural-technological solutions, aimed to solve this problem. The problem is urgent during summer waterless period. The method of making management decisions in constructing storage pools is currently researched for adjusting drainage of atmospheric fallouts. The system is based upon the use of surface and underground flow of the mountain river. It provides the selection of water in the period of exploiting the system of drain adjustment. A task consists in determination of storage pool volume at minimum expenses of facilities in creation of weir and other buildings. Exploitation of the system is exposed to a number of different factors, thus, probabilistic approach is required in choice of management decision on regime of exploiting storage pool in seasonal drain adjustment. It is necessary to plan measures for exploitation, including possible updates of system elements, regular management functioning of the system at minimum expenses. The model of probability of process of diminishing costs of the set measures during exploitation is under development. In it parameters for estimation are casual sizes. It allows considering vagueness in terms of the probabilistic distributing. Duration of a certain system condition effect is studied in the article. The result can be used in developing measures on decreasing uncertainty in management decisions as well as developing alternative management decisions and justified selection of the most suitable ones.

Keywords: superficial and subterranean waters, water intake, adjusting system, probabilistic descriptions

Насущной проблемой Черноморского побережья Кавказа является отсутствие должного количества пресной воды. Особенно остро стоит вопрос водообеспечения в меженный маловодный период. Дефицит охватывает не только производственные сферы, промышленное и сельскохозяйственное производство, но и требует режим-

ной подачи воды населению, что особенно неприемлемо в индустрии туризма.

Наименьший сток на всех реках побережья наблюдается в летне-осенний период, когда осадков выпадает мало и реки переходят на подземное питание [1]. Минимальные расходы воды меженного периода не обеспечивают пополнение запасов под-

земных вод, так как при существующей гидравлической связи поверхностных и грунтовых вод лимитирующие периоды запасов подземных вод совпадают с лимитирующими периодами поверхностного стока.

Для увеличения эксплуатационных запасов на действующих водозаборах применяют искусственное пополнение запасов, разрабатывают мероприятия по строительству регулирующих емкостей (водохранилищ).

Для решения проблемы дефицита воды в Кубанском государственном аграрном университете разработаны следующие технологии ее накопления [2–4]:

1. В подземных водохранилищах, при их расположении последовательно друг за другом в горном ущелье, с обязательной гидравлической связью друг с другом.

2. В отдельно последовательно стоящих подземных и надземных водохранилищах, при различных комбинациях, также имеющих обязательную гидравлическую связь друг с другом.

3. В конструктивно совмещенных и расположенных друг над другом подземных и надземных водохранилищах, также могущих образовывать различные комбинационные схемы по относительному расположению.

Предложенные технологии позволяют эффективно использовать подземный и надземный сток атмосферных осадков, выпадающих в горном ущелье, рационально использовать в целом объем ущелья.

Так как состояние системы обусловлено большим количеством случайных факторов, необходим вероятностный подход к выбору управленческих решений.

Цель исследования: рассмотреть случайную величину – длительность наступления определенного состояния системы. Для этой случайной величины подготовить выражение ее характеристики – математического ожидания. Составленное выражение в дальнейшем будет использовано при определении объема водохранилища для обеспечения пресной водой в засушливый период года при минимальных затратах средств на создание плотины и других сооружений.

Материалы и методы исследования

Для регулирования накоплений подземных вод разработано устройство, которое включает водонепроницаемый барраж в поперечном створе долины реки, полностью по ширине и мощности перекрывающий водоносный горизонт и образующий подземное водохранилище. Над подземным водохранилищем расположено надземное, образованное надземной контрфорсной плотиной. Плотина перекрывает поперечный створ реки. При этом водонепроницаемый барраж расположен ниже надземной плотины на расстоянии, достаточном для устройства подземных водоприемных скважин или колодцев. Оба водохранилища сообщены между собой и с потребителем запорно-регулирующими трубопроводами.

Регулирование накоплений стока атмосферных осадков по данной технологии описано в работах [3, 4]. В многоводный период года в результате накопления пресных вод в подземном и надземном водохранилищах уровень их повышается и соответствует максимальным значениям.

В рассматриваемой системе регулирования стока подача воды из подземного источника ориентирована на цели питьевого и сельскохозяйственного водоснабжения, а надземное водохранилище, с техническими характеристиками, приведенными в таблице, выполняет роль резервного объема, предназначенного для пополнения подземных вод.

При ориентировании системы водопотребления на орошение [5], когда нужна более теплая вода, ее рациональнее подавать из надземного водохранилища через трубопровод. Чтобы не допустить падение уровня воды в надземном водохранилище до «мертвого объема», когда уровень надземных вод падает до минимальных отметок, в надземное водохранилище осуществляется попуск воды из подземного водохранилища посредством трубопроводной системы через колодец или скважину [6].

Технико-экономические показатели системы регулирования стока

Показатель	Количество	Единица измерения
Аккумулируемый объем воды	34 000,0	м ³
Площадь зеркала бассейна	8650,0	м ²
Периметр бассейна	505,0	м
Протяженность водоема	205	м

Инновация решения указанной проблемы заключается в интенсивном использовании атмосферных осадков в горных ущельях. При этом само ущелье предполагается использовать многократно путем накопления подземного стока в подземных водохранилищах. На поверхности также устраиваются водохранилища поверхностного стока, что в комплексе представляет систему регулирования стоков атмосферных осадков (СРС АО). В одном ущелье может быть несколько надземных и подземных водохранилищ в зависимости от площади водосбора.

Объём водохранилищ сезонного регулирования стока, обеспечивающих решение выше поставленных задач, рассчитывался с учетом аккумуляции воды многоводного периода для водоснабжения в меженный период и срезки максимальных расходов воды. Основными факторами, определяющими характер поведения речного стока и меженного, в частности, являются климат, рельеф водосбора, структура, механический состав почвенного покрова и другие.

Условия эксплуатации зависят от изменения следующих характеристик: 1 – снижение стока рек в меженный период в результате забора воды на питьевое и хозяйственно-бытовое водоснабжение; 2 – зарегулированность стока в результате создания водохранилищ; 3 – уменьшение стока влекомых наносов.

Результатом регулирования является реакция водного объекта на водохозяйственную деятельность [7]. Количественное выражение результата отражается в наборе показателей, характеризующих определённые изменения, произошедшие в системе. Количество показателей представляет собой тем больший объём информации, чем сложнее объект управления. Но натуральные значения показателей лишь фиксируют факт изменений, но не дают качественную оценку ситуации, что вносит в процесс управления долю неопределённости и требует дальнейшего сравнительного анализа рядов данных, территориальных сопоставлений и поиск параметров режима эксплуатации вновь созданных конструктивно-технологических систем, например таких, как СРС АО [2–4].

Разработка количественных методов обоснования выбора наиболее целесообразных вариантов и принятия управленческих решений актуальны в настоящее время [3]. Рассмотрим одну из возможных математических моделей процесса снижения цены намечаемого мероприятия. В нашей статье [8] представлена модель непрерывного изменения цены мероприятия, что абсолют-

но реально как в процессе проектирования и поиска набора сооружений на данной стадии для СРС АО, так и в процессе эксплуатации системы путем эффективного управления объемами водохранилищ.

Результаты исследования и их обсуждение

Будем предполагать, что цена намечаемого мероприятия $S(t)$ строго монотонно убывает со временем от некоторой цены $S_0 = S(0)$, так что уравнение $S(t) = S$ можно однозначно разрешить относительно аргумента t , то есть получить соотношение $t = t(S)$.

Считаем, что затрачиваемые мероприятия образуют пуассоновский поток постоянной интенсивности λ [8]. Выполненное мероприятие доводит систему до определенного состояния с вероятностью $R(S)$, разумеется, зависящей от цены $S(t)$. Будем считать далее, что $R(S)$ есть монотонно убывающая функция, так что с уменьшением цены мероприятий вероятность недостижения запланированного режима возрастает. Кроме этого, будем считать, что существует некоторая минимальная цена S_m , так что $R(S_m) = 1$. Соответственно этому будем считать, что $\lim_{t \rightarrow \infty} S(t) = S_m$. В работе [8] получены основные вероятностные характеристики цены S_e состояния объекта – математическое ожидание и второй начальный момент цены.

Теперь вычислим характеристики другой случайной величины – длительности наступления определенного состояния системы.

Пусть τ есть случайное время, прошедшее между моментом времени t и моментом наступления запланированного состояния. Обозначим через $m_t(S)$ условное математическое ожидание величины τ при условии, что в момент времени t запланированное состояние не наступило и предполагаемая цена была равна S , то есть $m_t(S) = M\{\tau | S(t) = S\}$ [9]. Выведем уравнение для $m_t(S)$.

Рассмотрим момент времени $t + \Delta t$. Тогда в любом случае за время, равное Δt , с вероятностью $\lambda R(S)\Delta t + o(\Delta t)$ запланированное состояние будет достигнуто и время, оставшееся до этого момента, станет равным 0. С вероятностью $1 - \lambda R(S)\Delta t + o(\Delta t)$ состояние не будет достигнуто и время, оставшееся до его наступления, станет равным $m_t(S + \Delta S)$. Это приводит к следующему соотношению:

$$m_t(S) = \Delta t + \lambda R(S)\Delta t \cdot 0 + (1 - \lambda R(S)\Delta t)m_t(S + \Delta S) + o(\Delta t). \quad (1)$$

Разложим $m_t(S + \Delta S)$ в ряд Тейлора

$$m_t(S) = \Delta t + (1 - \lambda R(S)\Delta t)[m_t(S) + m'_t(S) \cdot \Delta S] + o(\Delta t),$$

раскроем скобки, сократим $m_t(S)$, поделим на Δt и перейдем к пределу при $\Delta t \rightarrow 0$. Тогда получим

$$0 = 1 - \lambda R(S)m_t(S) + m'_t(S) \frac{dS}{dt}.$$

Считая, что $S(t)$ является дифференцируемой функцией и строго монотонно убывает, найдем зависимость $t = t(S)$ и введем

$$\text{функцию } a(S) = - \left. \frac{dS}{dt} \right|_{t=t(S)}.$$

В силу сделанных предположений $a(S) > 0$.

С учетом определения функции $a(S)$, получим уравнение

$$m'_t(S)a(S) + \lambda p(S)m_t(S) = 1,$$

или после деления на $a(S)$ получаем окончательно уравнение для $m_t(S)$:

$$m'_t(S) + g(S)m_t(S) = \frac{1}{a(S)}. \quad (2)$$

Запишем общее решение уравнения

$$m_t(S) = C_0 \cdot \exp\left(-\int_{S_m}^S g(x)dx\right) + \int_{S_m}^S \frac{1}{a(y)} \exp\left(-\int_y^S g(x)dx\right) dy. \quad (3)$$

Осталось определить константу C_0 . Она находится из следующих соображений. Пусть в момент времени t имеет место условие $S(t) = S_m$. Тогда $R(S_m) = 1$, и выполненное мероприятие доводит систему до намеченного состояния. Так как рассматриваемый поток является пуассоновским потоком интенсивности λ , то среднее время равно $1/\lambda$. Подставляя в (3) S_m вместо S , получим, что $C_0 = 1/\lambda$, так что окончательно

$$m_t(S) = \frac{1}{\lambda} \cdot \exp\left(-\int_{S_m}^S g(x)dx\right) + \int_{S_m}^S \frac{1}{a(y)} \exp\left(-\int_y^S g(x)dx\right) dy. \quad (4)$$

Выводы

Предлагается вероятностная модель процесса снижения цены намечаемых проектных и эксплуатационных мероприятий по выбору управленческих решений на основе вероятностного подхода в системах

регулирования стока атмосферных осадков, где оцениваемые параметры трактуются случайными величинами.

Запасы подземных вод истощаются в летне-осенний период и пополняются в зимне-весенний. В период маловодности при пересыхании поверхностного водотока расходуется вода из надземного водохранилища. Чтобы не допустить падения уровня кривой депрессии до минимальных значений в подземном водохранилище, осуществляется слежение за уровнем воды в нем, а при необходимости и пополнение запасов из надземного водохранилища. Водозабор должен рассчитываться на определенный срок непрерывной работы и на определенный режим эксплуатации [10, 11].

Все мероприятия по эксплуатации водохранилища производятся в расчете на их эффективное влияние в течение длительного времени [12]. Поэтому за системой регулирования стока атмосферных осадков необходим регулярный контроль, наблюдение, сбор и анализ достоверной информации, установление допустимых пределов изменения параметров режима эксплуатации, превышение которых может привести к необратимым последствиям. Необходимо тщательно планировать эксплуатационные мероприятия, в том числе возможное обновление элементов системы, таких как скважины, трубопроводы, механическое оборудование.

Модель может быть использована при разработке мероприятий по снижению неопределенностей управленческих решений, при разработке альтернативных управленческих решений, например капитальных затрат на тот или иной набор сооружений при создании СРС АО, а также при разработке режимов эксплуатации, включая анализ паводкового и меженижного периодов водотоков.

Список литературы / References

1. Дегтярёв Г.В., Коженко Н.В. Теоретические основы характеристик системы автоматического регулирования рисового чека и регулятора уровня // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 44. С. 252–255.
2. Degtyaryov G.V., Kozhenko N.V. Theoretical bases of characteristics of system of automatic control of the rice check and regulator of level // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013. № 44. P. 252–255 (in Russian).
3. Соколова И.В. Метод линейного программирования при решении землеустроительных задач // Качество современных образовательных услуг – основа конкурентоспособ-

ности вуза: сборник статей по материалам межфакультетской учебно-методической конференции. Краснодар, 2016. С. 90–93.

Sokolova I.V. A method of linear programming at the solution of land management tasks // Quality of modern educational services – a basis of competitiveness of higher education institution. The collection of articles on materials of an interfaculty educational and methodical conference. Krasnodar, 2016. P. 90–93 (in Russian).

3. Дегтярёва О.Г., Дегтярёв Г.В. Устройство для регулирования запасов пресных вод // Патент России № 2621268. 2017. Бюл. № 16.

4. Дегтярёв В.Г., Дегтярёв Г.В. Стабилизатор расхода воды // Патент № 2520068. 2014. Бюл. № 17.

5. Рекс Л.М., Умывакин В.М., Сафронова Т.И., Приходко И.А. Математическая модель экологической ситуации на рисовой оросительной системе // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2008. № 10 [Электронный ресурс]. URL: <http://ej.kubagro.ru/2008/10/pdf/03.pdf> (дата обращения: 06.07.2018).

Rex L.M., Umivakin V.M., Safronova T.I., Prichodko I.A. The mathematical model of ecological situation on the rice irrigation system // Politematicheskij setevoy e'lektronny'j nauchny'j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2008. № 10 [E'lektronny'j resurs]. URL: <http://ej.kubagro.ru/2008/10/pdf/03.pdf> (data obrashheniya: 06.07.2018) (in Russian).

6. Карпенко Н.П., Манукян Д.А. Управление геоэкологическими рисками – основа экологической безопасности функционирования мелиоративных систем // Вестник РАСХН. 2010. № 6. С. 63–65.

Karpenko N.P., Manukyan D.A. Management of geoecological risks – as a basis for ecological security of functioning ameliorative systems // Vestnik RASXN. 2010. № 6. P. 63–65 (in Russian).

7. Дегтярёв В.Г., Дегтярёв Г.В. Теоретический анализ и экспериментальные исследования адаптивного датчика регулятора расхода воды // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 36. С. 300–303.

Degtyaryov V.G., Degtyaryov G.V. Theoretical analysis and pilot studies of the adaptive sensor of the regulator of a consumption of water // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2012. № 36. P. 300–303 (in Russian).

8. Сафронова Т.И., Полторак Я.А. Вероятностная модель снижения цены мелиоративного мероприятия // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 132 [Электронный ресурс]. URL: <http://ej.kubagro.ru/2016/07/pdf/110.pdf> (дата обращения: 06.07.2018).

Safronova T.I., Poltorak Y.A. Probability of estimation of ameliorative condition of irrigated field when using biotechnology // Politematicheskij setevoy e'lektronny'j nauchny'j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. № 132 [E'lektronny'j resurs]. URL: <http://ej.kubagro.ru/2016/07/pdf/110.pdf> (data obrashheniya: 06.07.2018) (in Russian).

9. Соколова И.В. Математическая модель принятия управленческих решений на сельскохозяйственном предприятии в условиях риска и неопределенности // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 120 [Электронный ресурс]. URL: <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/107.pdf> (дата обращения: 06.07.2018).

Sokolova I.V. Mathematical model of acceptance administrative decisions on an agricultural company in the conditions of risk and uncertainty // Politematicheskij setevoy e'lektronny'j nauchny'j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016. № 120 [E'lektronny'j resurs]. URL: <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/107.pdf> (data obrashheniya: 06.07.2018) (in Russian).

10. Лисуненко К.Э., Соколова И.В. Оценка состояния почв сельскохозяйственных районов Краснодарского края // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сборник статей по материалам 72-й науч.-прак. конф. студентов по итогам НИР за 2016 год. Краснодар, 2017. С. 231–234.

Lisunencko K.E., Sokolova I.V. Assessment of a condition of soils of agricultural areas of Krasnodar Krai // Scientific providing agro-industrial complex: sbornik statej po materialam 72-j nauch.-prak. konf. studentov po itogam NIR za 2016 god. Krasnodar, 2017. P. 231–234 (in Russian).

11. Сафронова Т.И., Хаджиди А.Е., Холод Е.В. Обоснование метода управления агроресурсным потенциалом агроландшафтов // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2–2. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=22376> (дата обращения: 04.09.2018).

Safronova T.I., Hadzhidi A.E., Kholod E.V. Justification of a method of management in agroresource potential of agrolandscapes // Modern problems of science and education. 2015. № 2–2. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=22376> (data obrashheniya: 04.09.2018) (in Russian).

12. Подколзин О.А., Соколова И.В., Осипов А.В., Слюсарев В.Н. Мониторинг плодородия почв земель Краснодарского края // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 68. С. 117–124.

Podkolzin O.A., Sokolova I.V., Osipov A.V., Slyusarev V.N. Monitoring of fertility of soils of lands of Krasnodar Krai // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. № 68. P. 117–124 (in Russian).