

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО БАЛАНСА БАСЕЙНА РЕКИ ДОН

Косолапова Наталья Алексеевна
К.т.н., доцент,
Южный федеральный университет,
г. Ростов-на-Дону

SIMULATION MODELING OF THE WATER BALANCE OF THE BASIN OF THE DON RIVER

N. Kosolapova

Annotation

The article is devoted to the calculation of the water balance of automation for a particular water management area. The authors propose an approach for the implementation of water management calculations based on randomly varying amounts of available water resources and water consumption for a particular water management area, may influence the formulation of the problem under stochastic uncertainty. To build a complex of economic and mathematical models to simulate the incoming and outgoing parts of the water balance and predict the magnitude of the resulting components of the water balance in water use areas. Construction of simulation models are implemented in software and allow them to experiment by varying the incoming and outgoing parts of the water balance.

Keywords: water management system, water balance, simulation model, stochastic uncertainty, probability distribution.

Аннотация

Статья посвящена автоматизации расчёта водохозяйственного баланса для конкретного водохозяйственного участка. Автором предложен подход к выполнению водохозяйственных расчётов с учётом случайно изменяющихся объёмов располагаемых водных ресурсов и водопотребления для конкретного водохозяйственного участка, обуславливающий постановку задачи в условиях стохастической неопределённости. Построен комплекс экономико-математических моделей, позволяющих имитировать приходную и расходную части водохозяйственного баланса и прогнозировать величину его результирующей компоненты на водохозяйственном участке. Построенные имитационные модели программно реализованы и позволяют проводить на них эксперименты при варьировании приходной и расходной частей водохозяйственного баланса.

Ключевые слова:

Водохозяйственная система, водохозяйственный баланс, имитационная модель, стохастическая неопределённость, закон распределения вероятностей.

Вода является важнейшим стратегическим ресурсом, необходимым для развития экономики любой страны, и нехватка пресной воды выступает фактором, существенно замедляющим экономический рост. В настоящее время наблюдается значительное увеличение объёма потребления пресной воды, связанное с ростом народонаселения, а также растущими потребностями в водных ресурсах всех без исключения отраслей экономики. Это объясняет высокую теоретико-методологическую и практическую значимость исследований, посвящённых разработке инструментария рационального водопользования, оптимального распределения водных ресурсов между субъектами конкретного региона, а также достижения водохозяйственного баланса. Модификация традиционных приемов системного подхода и системного анализа к управлению такого рода мезоэкономическими системами, каковой является водохозяйственный комплекс региона, выражается в последовательном сочетании учета внутренних факторов количественного и качественного роста последних с двумя группами внеш-

них факторов: макроэкономическими и собственно региональными, аккумулирующими специфику территориальных условий их функционирования [1].

Водные ресурсы – поверхностные и подземные воды, которые находятся в водных объектах и используются или могут быть использованы [2]. Связанное с ростом численности населения увеличение объёма потребления воды порождается необходимостью решения проблемы повышения качества жизни граждан, требующей определённого уровня коммунально-бытового водоснабжения.

Удовлетворение потребности в продовольствии обуславливает необходимость применения технологии орошаемого земледелия. Подавляющая часть забора пресной воды из поверхностных водных объектов приходится на промышленное водоснабжение. К числу водоемких отраслей относятся текстильная промышленность (например, производство хлопчатобумажных и шелковых тканей), теплоэлектроэнергетика, отрасли цветной и чер-

ной металлургии. Результаты научно-технического прогресса, обуславливающие появление и развитие водоёмких отраслей экономики, среди которых особую роль следует отнести атомной энергетике, отраслям химической промышленности, ведущих к интенсивному использованию водных ресурсов, усугубили проблему дефицитности водных ресурсов на водохозяйственных участках.

В условиях отсутствия свободных водных ресурсов и одновременно планируемого увеличения водопотребления в соответствии со Стратегией социально-экономического развития до 2020 года, особенно остро стоит проблема гарантированного обеспечения потребностей населения и экономики водными ресурсами наряду с повышением рациональности их использования, снижением водоёмкости производства и непроизводительных потерь. Это требует поиска новых путей решения данной проблемы при рациональном распределении водных ресурсов между потребителями посредством установления лимитов забора из водного объекта, определяемых в соответствии с водохозяйственными балансами по водохозяйственным участкам в различных условиях водности. Водохозяйственные балансы – расчеты потребностей водопользователей в водных ресурсах по сравнению с доступными для использования в границах речных бассейнов, подбассейнов, водохозяйственных участков при различных условиях водности [2].

Таким образом, водохозяйственная система нуждается в создании и использовании систем управления, включающих в свой состав экономико-математические модели поддержки принятия управленческих решений, позволяющие дать количественную оценку их послед-

ствий в условиях всевозможных изменений, происходящих во внешней среде.

Анализ изменения объёмов водных ресурсов на любом водохозяйственном участке бассейна реки Дон показал, что водные ресурсы наиболее чувствительны к изменениям человеческой деятельности, связанным с ростом народонаселения, использованием земель, развитием новых технологий и др., а также к изменениям природных условий. В этой связи все решения по управлению водными ресурсами принимаются руководителями водных хозяйств в условиях неопределённости. Эти обстоятельства диктуют необходимость создания и использования для принятия эффективных управленческих решений экономико-математических моделей, позволяющих реагировать на случайно изменяющиеся условия водного режима.

Автором предложен отличный от существующих подход к выполнению водохозяйственных расчётов, определяющих соотношение располагаемых водных ресурсов (объёмов поверхностных и подземных вод, доступных для использования) и расчетного водопотребления для конкретного водохозяйственного участка. В рамках этого подхода расчёт объёмов располагаемых водных ресурсов для конкретного водохозяйственного участка рассматривается в классе задач в условиях со случайно изменяющимися входными параметрами, составляющими приходную и расходную части уравнения водохозяйственного баланса. Концептуальная схема движения водных ресурсов через водный объект, в роли которого выступает водохозяйственный участок, представлена на рис. 1.



Рисунок 1. Концептуальная схема движения водных ресурсов через водохозяйственный участок.

Схема, представленная на рис.1, отражает структуру водопользования на конкретных водохозяйственных участках. Согласно [3,4], водохозяйственный баланс определяется в соответствии с уравнением:

$$B = W_{\text{вх}} + W_{\text{бок}} + W_{\text{пзв}} + W_{\text{вв}} + W_{\text{дот}} \pm \Delta V \pm \\ \pm W_{\text{л}} + W_{\text{исп}} + W_{\text{ф}} + W_{\text{у}} + W_{\text{пер}} + W_{\text{впд}} + W_{\text{кп}} .$$

Компонентами уравнения водохозяйственного баланса являются:

$W_{\text{вх}}$ – объем стока, поступающий за расчетный период с вышележащих участков рассматриваемого водного объекта;

$W_{\text{бок}}$ – объем стока, формирующийся за расчетный период на расчетном водохозяйственном участке (боковая приточность);

$W_{\text{пзв}}$ – объем водозабора из подземных водных объектов, осуществляемый в порядке, установленном законодательством;

$W_{\text{вв}}$ – возвратные воды на водохозяйственном участке;

$W_{\text{дот}}$ – объем воды, поступающий на водохозяйственный участок из систем территориального перераспределения стока;

$\pm \Delta V$ – сработка или наполнение прудов и водохранилищ на расчетном водохозяйственном участке;

$\pm W_{\text{л}}$ – потери воды при оседании льда на берега при зимней сработке водохранилища и/или возврат воды в результате таяния льда весной;

$W_{\text{исп}}$ – потери на дополнительное испарение с акватории водоемов;

$W_{\text{ф}}$ – фильтрационные потери из прудов, водохранилищ, каналов в пределах расчетного водохозяйственного участка;

$W_{\text{у}}$ – уменьшение речного стока, вызванное водозабором из подземных водных объектов, имеющих гидравлическую связь с рекой;

$W_{\text{пер}}$ – переброска части стока (объема воды) за пределы расчетного водохозяйственного участка;

$W_{\text{впд}}$ – суммарные требования всех водопользователей данного расчетного водохозяйственного участка;

$W_{\text{кп}}$ – комплексный попуск, в котором суммированы санитарно-экологические и хозяйственные попуски);

B – результирующая составляющая водохозяйственного баланса, определяющая объём располагаемых водных ресурсов для конкретного водного объекта, т.е. избыток или дефицит водных ресурсов водохозяйственного участка.

Результаты анализа компонент приходной $PRIH = (W_{\text{вх}}, W_{\text{бок}}, W_{\text{пзв}}, W_{\text{вв}}, W_{\text{дот}})$ и расходной

$RASH = (W_{\text{исп}}, W_{\text{ф}}, W_{\text{у}}, W_{\text{пер}}, W_{\text{впд}}, W_{\text{кп}})$

частей водохозяйственного баланса позволили сделать вывод о случайном характере их изменения в течение определённого промежутка времени.

В связи с этим, задача определения величины результирующей составляющей B водохозяйственного баланса поставлена в условиях стохастической неопределённости, для которой автором предложена имитационная система *Balans*. Она построена с учётом специфики функционирования водохозяйственных участков и позволяет строить законы распределения компонент случайных величин $PRIH$ и $RASH$, в соответствии с которыми по методу статистических испытаний осуществляется генерация возможных значений случайных величин $W_{\text{вх}}, W_{\text{бок}}, W_{\text{пзв}}, W_{\text{вв}}, W_{\text{дот}}$ и $W_{\text{исп}}, W_{\text{ф}}, W_{\text{у}}, W_{\text{пер}}, W_{\text{впд}}, W_{\text{кп}}$.

Имитационная система представляет собой семейство экономико-математических моделей

$Balans = \langle INT, GEN, REZULT \rangle$.

Модель *INT* формально описывает водные потоки через водные объекты (водохозяйственные участки) посредством построения законов распределения случайных величин, составляющих приходную

$PRIH = (W_{\text{вх}}, W_{\text{бок}}, W_{\text{пзв}}, W_{\text{вв}}, W_{\text{дот}})$

и расходную

$RASH = (W_{\text{исп}}, W_{\text{ф}}, W_{\text{у}}, W_{\text{пер}}, W_{\text{впд}}, W_{\text{кп}})$

части в уравнении водохозяйственного баланса.

Предложенный автором подход расчёта водохозяйственного баланса позволяет определять лимиты изъятия водных ресурсов для конкретного водохозяйственного участка.

В статье изложены результаты построения экономико-математических моделей, составляющих имитационную систему *Balans = \langle INT, GEN, REZULT \rangle*.

В связи с тем, что законы распределения случайных величин $W_{\text{вх}}, W_{\text{бок}}, W_{\text{пзв}}, W_{\text{вв}}, W_{\text{дот}}$ и $W_{\text{исп}}, W_{\text{ф}}, W_{\text{у}}, W_{\text{пер}}, W_{\text{впд}}, W_{\text{кп}}$ не подчиняются теоретическим законам (нормальному, экспоненциальному и др), случайные величины, составляющие приходную и расходную части водохозяйственного баланса, формально описываются

интервальными рядами распределения. Алгоритм построения таких законов распределения положен в основу экономико-математической модели *INT*.

В роли исходных данных модели *INT* выступают выборочные данные $STAT = \{Stat_1, Stat_2, \dots, Stat_n\}$, элементы $Stat_i \in STAT$ которой представляют собой текущие значения водных потоков $W_{вх}$, $W_{бок}$, $W_{пзв}$, $W_{вв}$, $W_{дот}$ и $W_{исп}$, $W_{ф}$, $W_{у}$, $W_{пер}$, $W_{впд}$, $W_{кп}$ полученные в результате замеров на водохозяйственных участках.

Эти замеры, обычно, производятся в дискретные моменты времени $t_i \in T$ временного интервала T .

В качестве временного интервала T может быть выбран квартал, месяц, и др. Степень дискретизации измерения зависит от условий водности на водохозяйственном участке. Результатом функционирования экономико-математической модели *INT* является закон распределения вероятностей $P : \{Stat_i\}_{i=1}^n \rightarrow \{p_i\}_{i=1}^n$.

Модель *INT* представляет собой алгоритм, включающий следующий порядок действий.

ШАГ 1.

Ввод статистических данных $STAT = \{Stat_1, Stat_2, \dots, Stat_n\}$, отражающих результаты текущих значений водных потоков $W_{вх}$, $W_{бок}$, $W_{пзв}$, $W_{вв}$, $W_{дот}$ и $W_{исп}$, $W_{ф}$, $W_{у}$, $W_{пер}$, $W_{впд}$, $W_{кп}$, полученных в ходе измерений на водохозяйственных участках.

ШАГ 2.

Определение минимального и максимального значений среди данных $STAT = \{Stat_1, Stat_2, \dots, Stat_n\}$.

ШАГ 3.

Выбор интервала группирования статистических данных по формуле:

$$d = \frac{\max - \min}{k}$$

где

k – количество интервалов, вычисляемое по формуле:

$$k = 1 + 3,21 \lg n.$$

ШАГ 4.

Разбивка размаха варьирования на интервалы по формуле:

$$\text{int } 1[i] = \min + d \cdot (i - 1), \text{ int } 2[i] = \min + d \cdot (i)$$

ШАГ 5.

Определение количества попаданий значений выборки $STAT = \{Stat_1, Stat_2, \dots, Stat_n\}$ в каждый интервал: $(\text{int } 1[i] - \text{int } 2[i])$, $i = 1, k$.

При этом информация о количестве попаданий хранится в массиве: $s[j]$, $j = \overline{1, k}$.

ШАГ 6.

Определение относительной частоты попадания статистических данных в интервалы $P[i] = s[i] / n$

ШАГ 7.

Определение координат середин интервалов

$$Ser[i] = \text{int}[i] + d / 2$$

При этом элементы функционального отображения

$$P : \{Stat_i\}_{i=1}^n \rightarrow \{p_i\}_{i=1}^n$$

как упорядоченные пары:

$$(Stat_i, p_i) \in P, p_i = P(Stat_i)$$

представлены в виде табл. 1

Таблица 1.

Закон распределения случайной величины:

$$STAT = \{Stat_1, Stat_2, \dots, Stat_n\}$$

Средины интервалов Ser_i	Ser_1	Ser_2	Ser_3		Ser_k
Относительная частота $P_i = S_i/n$	P_1	P_2	P_3		P_k

В таблице 1. в первой строке находятся величины Ser_i , расположенные в порядке возрастания их значений ($Ser_1 < Ser_j$), а во второй строке – оценки вероятности

$$P_i, \sum_{i=1}^n p_i = 1$$

принятия случайной величиной этих значений. Построенный ряд распределения является моделью, позволяющей изучить изменяемость водных потоков, представленных случайными величинами: $W_{вх}$, $W_{бок}$, $W_{пзв}$, $W_{вв}$, $W_{дот}$ и $W_{исп}$, $W_{ф}$, $W_{у}$, $W_{пер}$, $W_{впд}$, $W_{кп}$, на основе конкретных результатов проведенных наблюдений с целью последующего моделирования их значений.

Для имитации изменения этих случайных величин автором построена экономико-математическая модель *GEN*, функционирующая на основе метода статистических испытаний.

Закон распределения вероятностей

$$P : \{Stat_i\}_{i=1}^n \rightarrow \{p_i\}_{i=1}^n$$

рассматривается в качестве исходных данных, используемых моделью *GEN*.

Необходимое количество ω генерируемых моделью *GEN* по закону

$$P : \{Stat_i\}_{i=1}^n \rightarrow \{p_i\}_{i=1}^n$$

случайных величин, имитирующих водные потоки $W_{ВХ}$, $W_{БОК}$, $W_{ПЗВ}$, $W_{ВВ}$, $W_{ДОТ}$ и $W_{ИСП}$, $W_{Ф}$, $W_{У}$, $W_{ПЕР}$, $W_{ВПД}$, $W_{КП}$, задаётся исследователем в интерактивном режиме.

Модель *GEN* формально представляет собой алгоритм, использующий равномерно распределённые на интервале $[0,1]$ случайные числа. Последовательность действий алгоритма представлена упорядоченным множеством следующих шагов.

ШАГ 1.

Ввод закона распределения

$$P : \{Stat_i\}_{i=1}^n \rightarrow \{p_i\}_{i=1}^n$$

ШАГ 2.

Декомпозиция отрезка $[0,1]$ на интервалы

$$\{int1_j\}_{j=0}^{k+1}$$

в соответствии с набором относительных частот

$$\{p_i\}_{i=1}^n$$

из закона распределения $P : \{Stat_i\}_{i=1}^n \rightarrow \{p_i\}_{i=1}^n$

При этом величина интервала $int_\epsilon \in \{int1_j\}_{j=0}^{k+1}$ принимается равной относительной частоте

$$p_\alpha \in \{p_i\}_{i=1}^n$$

ШАГ 3.

Генерируется последовательность возможных значений случайной величины по заданному закону распределения

следующим образом. $P : \{Stat_i\}_{i=1}^n \rightarrow \{p_i\}_{i=1}^n$

Разыгрывается случайное число U , равномерно распределённое на интервале $[0,1]$.

Если число U удовлетворяет неравенствам $(int1[j] < U)$ и $(U < int1[j+1])$, то в качестве случайного числа, соответствующего заданному закону распределения, принимается Ser_j .

В соответствии с алгоритмом, реализуемым моделью *GEN*, осуществляется генерация возможных значений случайных величин $W_{ВХ}$, $W_{БОК}$, $W_{ПЗВ}$, $W_{ВВ}$, $W_{ДОТ}$ и $W_{ИСП}$, $W_{Ф}$, $W_{У}$, $W_{ПЕР}$, $W_{ВПД}$, $W_{КП}$, описываемых водные потоки, проходящие через водохозяйственный участок.

Алгоритм модели *GEN* оформлен в виде процедуры, в состав локальных параметров которой включено описание закона распределения составляющих приходной *PRIH* или расходной *RASH* частей водного потока. Сге-

нерированные возможные значения случайных величин применяются в качестве исходных данных, используемых моделью *RESULT*, позволяющей прогнозировать величину водохозяйственного баланса на водохозяйственном участке бассейна реки Дон.

Модель функционирует на базе имитации приходной *PRIH* = ($W_{ВХ}$, $W_{БОК}$, $W_{ПЗВ}$, $W_{ВВ}$, $W_{ДОТ}$) и расходной *RASH* = ($W_{ИСП}$, $W_{Ф}$, $W_{У}$, $W_{ПЕР}$, $W_{ВПД}$, $W_{КП}$) частей водных потоков в каждый текущий момент времени

$t \in T$, значения которых используются при вычислении величины водохозяйственного

баланса:

$$B(t) = W_{2E}(t) + W_{1>}(t) + W_{22}(t) + W_{22}(t) + W_{4>B}(t) \pm \Delta V \pm W_{;}(t) + W_{8A^2}(t) + W_D(t) + W_C(t) + W_{25@}(t) + W_{224}(t) + W_{.2}(t).$$

Степень дискретизации периода наблюдения T зависит от условий водности водохозяйственного участка. Выходными сигналами модели *RESULT* являются оценки математических ожиданий дефицита *DEF* и профицита *PROF*, а также оценки вероятностей возникновения дефицита P_{DEF} и профицита P_{PROF} :

$$DEF = \frac{\sum_{t=1}^T B(t)}{T} \quad ? \otimes \quad B(t) < 0;$$

$$PROF = \frac{\sum_{t=1}^T B(t)}{T} \quad ? \otimes \quad B(t) > 0;$$

$$P_{DEF} = \frac{\sum_{t \in T} t_{DEF}}{T}; \quad P_{PROF} = \frac{\sum_{t \in T} t_{PROF}}{T}$$

где

t_{DEF} - момент времени, в течение которого $B(t) < 0$,

t_{PROF} - момент времени, в течение которого $B(t) > 0$.

Разработанная имитационная система *Balans* = $\langle INT, GEN, RESULT \rangle$ представляет собой совокупность экономико-математических моделей, которые имитируют процессы пополнения и потребления водных ресурсов на водохозяйственном участке бассейна реки Дон.

Система моделей взаимодействует с информационной базой данных, накапливающей статистические данные о пополнении *PRIH* = ($W_{ВХ}$, $W_{БОК}$, $W_{ПЗВ}$, $W_{ВВ}$, $W_{ДОТ}$) и потреблении *RASH* = ($W_{ИСП}$, $W_{Ф}$, $W_{У}$, $W_{ПЕР}$, $W_{ВПД}$, $W_{КП}$) водных ресурсов в каждый текущий момент времени $t_i \in T$, и тем самым способна приспособляться к изменениям, происходящим в водных потоках.

Адаптация происходит посредством трансформации законов распределения случайных величин $W_{вх}$, $W_{бок}$, $W_{пзв}$, $W_{вв}$, $W_{дот}$ и $W_{исп}$, $W_{ф}$, $W_{у}$, $W_{пер}$, $W_{впд}$, $W_{кп}$ в соответствии с вновь поступившей в базу данных статистической информацией.

Имитационная система

Balans = $\langle INT, GEN, REZULT \rangle$ реализована в программном продукте BALANS, представляющем собой комплекс взаимосвязанных компьютерных программ, позволяющих в интерактивном режиме взаимодействовать с лицом, принимающим решение (ЛПР), и управлять процессом проведения машинных экспериментов с целью исследования поведения водного объекта при изменении тех или иных его характеристик. При запуске программного продукта BALANS, на экране появляется окно, содержащее следующие пункты меню: приходная часть, расходная часть, прогноз водного баланса, история. Активизация пункта меню "Приходная часть" приводит к появлению выпадающего меню, содержащего следующие пункты (рис. 2): объём стока с вышестоящего участка; боковая приточность; водозабор из подземных вод; возвратные воды; поступление из систем территориального перераспределения.

Все пункты выпадающего меню предназначены для ввода статистических данных компонент приходной части $PRIH = (W_{вх}, W_{бок}, W_{пзв}, W_{вв}, W_{дот})$ водохозяйственного баланса и построения по введённым выборкам законов распределения вероятностей. После выбора одного из пунктов, например, "Объём стока с вышестоящих участков", пункта необходимо ввести длину выборки и статистические данные, по которым строится за-

кон распределения вероятностей в виде ряда распределения. Пункт главного меню, позволяющий обрабатывать статистические данные расходной части водохозяйственного баланса, функционирует аналогично.

Построенные законы распределения случайных величин $W_{вх}$, $W_{бок}$, $W_{пзв}$, $W_{вв}$, $W_{дот}$ и $W_{исп}$, $W_{ф}$, $W_{у}$, $W_{пер}$, $W_{впд}$, $W_{кп}$ являются исходными данными для программы "Прогноз водного баланса", активизация которого вызывает появление окна, изображённого на рис. 3.

Для работы программы ЛПР необходимо сообщить начальные условия, т.е. период исследования в днях и уровень запаса водных ресурсов в начале водохозяйственного участка. После нажатия кнопки "Рассчитать" программа вычисляет оценку математического ожидания дефицита, профицита и оценку их вероятностей.

Пункт меню "История" активизирует программу, позволяющую проводить прогноз изменений характеристик водного объекта в дискретные моменты времени (рис. 4).

Предложенная имитационная система предназначена для проведения на ней экспериментов с целью получения ответов на вопросы: "Что будет, если входные параметры $W_{вх}$, $W_{бок}$, $W_{пзв}$, $W_{вв}$, $W_{дот}$ и $W_{исп}$, $W_{ф}$, $W_{у}$, $W_{пер}$, $W_{впд}$, $W_{кп}$ примут те или иные значения?".

Данные ответы – результаты работы системы – являются важной информационной базой для поддержки принятия действенных управленческих решений по формированию и выполнению эффективного водохозяйственного баланса на конкретном водохозяйственном участке.

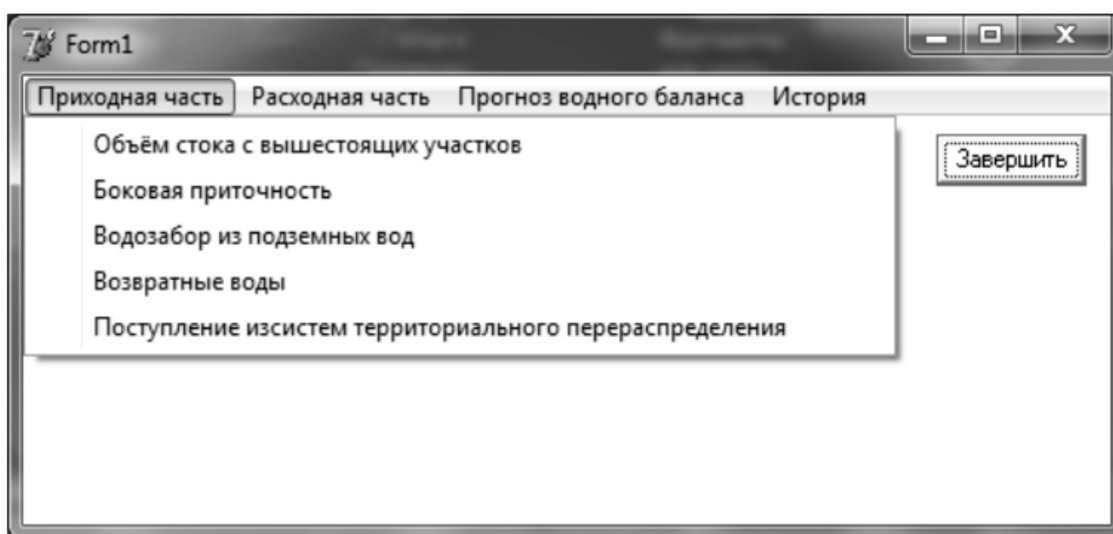


Рисунок 2. Главное окно программного продукта BALANS.

Form1

Введите период исследования

Введите начальный уровень запаса

Уровень запаса **-139,656903368593**

Ожидаемая величина дефицита

Вероятность дефицита

Средний уровень запаса

Рисунок 3. Окно пункта меню "Прогноз водного баланса".

Form1

ИСТОРИЯ

День 1

ПРИХОД

текущий объём стока, поступающий за расчётный период с вышестоящих участков
3,3123558815506

текущая боковая прирочность
1,17342669111629

текущий водозабор из подземных вод
2,11561779407753

текущие возвратные воды
2,27179573485283

текущее поступление из системы территориального перераспределения
5,00606264601578

ПОТЕРИ

текущее потери на испарение
4,08112029339554

текущие фильтрационные потери
2,90769360227924

текущее уменьшение речного стока

Рисунок 4. История изменения резерва воды.

Выводы

1. Поставлена задача определения объёмов располагаемых водных ресурсов для конкретного водохозяйственного участка в условиях стохастической неопределённости, обусловленной случайным характером изменения приходной и расходной частей водохозяйственного баланса.

2. Построена имитационная модель движения водных

ресурсов через водохозяйственный участок, позволяющая в условиях стохастической неопределённости прогнозировать величину водохозяйственного баланса.

3. Осуществлена программная реализация имитационной модели в виде программного продукта BALANS, позволяющего проводить компьютерные эксперименты с имитационной моделью при варьировании приходной и расходной частей и определять прогнозные значения величины водохозяйственного баланса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матвеева Л.Г., Никитаева А.Ю. Стимулирование регионального развития: инструментальный системный подход// Terra Economicus. 2007. Т. 5. № 4.
2. Водный кодекс Российской Федерации №74-ФЗ. Принят Государственной Думой 12.04.2006 г. Одобрен Советом Федерации 26.05.2006 г. (в ред. федеральных законов от 04.12.2006 № 201-ФЗ, от 19.06.2007 № 102-ФЗ, от 14.07.2008 № 118-ФЗ, от 23.07.2008 № 160-ФЗ, с изм., внесенными федеральным законом от 24.07.2009 № 209-ФЗ).
3. Методика расчета водохозяйственных балансов водных объектов. Утверждена Приказом МПР России от 30.11.2007 г. №314.
4. Методические указания по разработке Схем комплексного использования и охраны водных объектов. Утверждены приказом МПР России от 4 июля 2007 г. № 169.

© Н.А. Косолапова, (nakosolapova@sfnedu.ru), Журнал «Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики»,

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

