*УДК 556.048* *https://doi.org/10.35567/1999-4508-2026-1-5-15*

*Оригинальная статья/Original paper*

# К оценке расчетных значений максимального стока в нижних бьефах гидроузлов

**М. В. Болгов**

bolgovmv@mail.ru

*Институт водных проблем Российской академии наук, Москва, Россия*
*Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов, г. Ростов-на-Дону, Россия.*

## АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** Одной из важных задач инженерной гидрологии, решение которой не в полной мере регламентировано действующими нормативно-методическими документами, является определение расчетных максимальных расходов воды в нижних бьефах гидроузлов при регулировании стока. Такого рода характеристики обычно рассчитываются при разработке Правил использования водных ресурсов и приобретают легитимный характер на период действия этого документа. В связи с тем, что на большинстве водохозяйственных объектов срок действия существующих Правил давно истек, а гидрологоклиматические характеристики и требования к отдаче водохозяйственных систем заметно изменились, возникает необходимость совершенствования методов водохозяйственного и гидрологического расчета, актуализации существующих оценок. Произошедшее в 2024 г. наводнение на р. Урал в районе городов Орска и Оренбурга выявило ряд проблем, касающихся как общего состояния дел в области инженерной защиты городов, так и нормативной практики инженерной гидрологии. **Методы.** Одной из основных проблем инженерной гидрологии является оценка экстремальных величин стока в условиях хозяйственной деятельности. В этих случаях стандартные методы статистической обработки рядов наблюденных значений гидрологических характеристик становятся неэффективными и необходимо развивать подходы, основанные на комбинации представлений о естественной изменчивости стока и об изменении гидрологических параметров в процессе эксплуатации водохозяйственной установки. **Результаты.** На примере Ириклинского гидроузла на р. Урал предложены подходы к определению характеристик максимального стока в нижнем бьефе, учитывающие особенности регулирования стока.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** максимальный сток, функция распределения вероятностей, регулирование, предполоводная сработка, нижний бьеф, затопление, расчетный расход воды

**Финансирование:** Исследование выполнено в рамках темы № FMWZ-2025-0001 государственного задания Института водных проблем РАН.

**Для цитирования:** Болгов М. В. К оценке расчетных значений максимального стока в нижних бьефах гидроузлов // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2026. № 1. С. 5–15. https://doi.org/10.35567/1999-4508-2026-1-5-15; EDN: QRJIYQ

© Болгов М. В., 2026

# Assessing the design maximum discharges values in the lower pool of hydroelectric power plants

**Mikhail V. Bolgov**

bolgovmv@mail.ru

*Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*
*Russian Research Institute for Integrated Use and Protection of Water Resources, Rostov-on-Don, Russia*

## ABSTRACT

**Relevance.** One of the important tasks of engineering hydrology and river runoff regulation, the solution of which is not fully regulated by current regulatory and methodological documents, is the determination of the design maximum discharges in the lower pools of hydraulic structures during flow regulation. These characteristics are calculated during the development of Water Resources Use Regulations and are valid for the duration of this document's validity. **Methods.** However, since the validity of the existing Regulations has long since expired for most water management facilities, the hydrological and climatic characteristics and performance requirements of water management systems have changed significantly, necessitating the improvement of water management and hydrological calculation methods and updating existing assessments. **Results.** The 2024 flood on the Ural River near the cities of Orsk and Orenburg revealed a number of issues related to both the general state of urban engineering protection and regulatory practices in engineering hydrology. One of the key challenges is assessing extreme runoff values under economic conditions. Using the Iriklinsky Hydroelectric Complex on the Ural River as an example, approaches to determining the characteristics of maximum runoff in the downstream basin are discussed.

**KEYWORDS:** maximum flow, probability distribution function, regulation, pre-flood drawdown, tailwater, flooding, design water flow

**Financing**: The study was carried out within the framework of topic No. FMWZ-2025-0001 of the state assignment of the Institute of Problems of Problems of the Russian Academy of Sciences

**For citation:** Bolgov M. V. Assessing the design maximum discharges values in the lower pool of hydroelectric power plants. Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management. 2026. No. 1. P.… https://doi.org/10.35567/1999-4508-2026-1-5-15; EDN: QRJIYQ

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из недостаточно изученных задач в инженерной гидрологии является определение расчетных значений максимальных расходов воды (величин заданной вероятности превышения) в нижних бьефах гидроузлов. Параметры и режим речного стока в целом под действием регулирования существенно изменяются по сравнению с естественным режимом, и в значительной мере это относится к таким гидрологическим характеристикам, как максимальный расход воды и объем стока половодья или паводка.

Первая проблема заключается в том, что водохозяйственные (водно-энергетические) расчеты, как правило, выполняются по интервалам, величины которых изменяются от декады до месяца, в то время как для определения расчетных расходов и уровней воды в строительном проектировании при расче-

те нагрузок и зон затопления используются в основном среднесуточные или мгновенные (срочные) максимальные величины стока.

Вторая проблема возникает по причине неопределенности, связанной с вероятностным характером начальных условий при выполнении расчетов трансформации гидрографа притока (паводка или половодья) в процессе регулирования стока. По причине климатической изменчивости стока и в силу различного рода ошибок гидрологического прогноза при управлении водохранилищем на момент начала паводка формируется запас воды, определяемый правилами предполоводной сработки, который описывается законом распределения вероятностей. Этот закон определяется не только «стохастичностью» притока, но и принятыми правилами управления водными ресурсами. Получить оценку этого распределения можно на основе результатов водохозяйственных расчетов.

Во многих случаях инженерно-гидрологических расчетов, выполняемых при обосновании защитных мероприятий в нижних бьефах гидротехнических сооружений, эксплуатация которых насчитывает не одно десятилетие, возникает задача оценки расходов и уровней воды, требующая, с одной стороны, учета естественной изменчивости притока, а с другой – согласования с проектными характеристиками регулирующих сооружений, в частности сбросных расходов. В статье рассматривается подход, позволяющий формализовать решение этой задачи.

## ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате водохозяйственных расчетов может быть получено распределение вероятностей среднедекадных или среднемесячных наполнений и сбросных расходов. Для получения этих распределений вероятностей в теории регулирования стока существуют как аналитические методы, так и имитационные подходы [1–3]. Теоретически это наиболее правильный путь, но очевидна необходимость введения корректировки для учета разницы между среднеинтервальным и максимальным значениями сбросного гидрографа, что является достаточно сложной задачей, поскольку сброс в нижний бьеф может осуществляться в любую фазу гидрографа притока и при различных наполнениях регулирующей емкости.

В большинстве практических случаев водохозяйственного расчета задача определения максимальных расходов и уровней в нижнем бьефе решается путем пропуска расчетного паводка или половодья различной обеспеченности (имеется в виду гидрограф притока к водохранилищу) в совокупности с определением уровней форсировки водохранилища. Методика построения расчетного гидрографа общеизвестна[1] [4–6], хотя и несовершенна. С учетом особенностей работы водосбросных устройств (водосбросов, отводных каналов,

1 Руководство по гидрологической практике. Том II. Управление водными ресурсами и практика применения гидрологических методов. 6-е издание, 2012. ВМО № 168.

водоводов, шлюзов) и прочих условий и ограничений, на основе расчетного гидрографа притока к водохранилищу половодья или паводка заданной обеспеченности рассчитывается максимальный сбросной расход в нижний бьеф, которому приписывается та же обеспеченность. Основной сложностью или неопределенностью при реализации такого подхода является задание параметра наполнения водохранилища на момент начала пропуска половодья.

Правилами использования водных ресурсов водохранилищ[2] предусматривается предполоводная сработка, обеспечивающая и безопасность гидроузла, и более эффективное использование водных ресурсов. В зависимости от складывающейся водохозяйственной обстановки (водности) за предшествующий паводку период и при наличии или отсутствии гидрологического прогноза допускаются различные уровни предполоводной сработки. Это обстоятельство означает, что расчетное половодье может пропускаться при разных уровнях наполнения водохранилища (при различной свободной емкости), и эти наполнения необходимо далее рассматривать как случайные величины с известными распределениями вероятностей.

В результате расчетов пропуска половодья получается сбросной гидрограф, которому, как уже отмечалось выше, приписывается та же обеспеченность, что и у гидрографа притока. В некоторых случаях это допустимо, например для весьма редких событий и при небольшом объеме водохранилища. При выполнении таких расчетов существенное значение имеет форма гидрографа притока, принимаемого в качестве модели: из нескольких наблюденных высоких половодий выбирают модель, наихудшую по результатам, например ту, которая при заданной емкости форсировки приводит к наибольшему расходу в нижнем бьефе, и этому расходу декларативно приписывается та же (заданная) расчетная обеспеченность.

При паводках большей повторяемости, при многолетнем регулировании стока такая упрощенная схема уже не срабатывает: паводочный сток может полностью аккумулироваться в водохранилище, и в нижний бьеф в этом случае будет сбрасываться искусственный санитарный (или экологический) гидрограф. Так что применение этого подхода к построению всей кривой обеспеченности сбросов в нижний бьеф встречает ряд сложностей. Закон распределения сбросных расходов не описывается стандартными функциями распределения вероятностей. В качестве примера на рис. 1 приведена кривая обеспеченности сбросного расхода воды в нижний бьеф Цимлянского гидроузла, полученная методом стохастического динамического программирования [3].

Рассмотрим далее возможные подходы к решению проблемы оценки максимального стока в нижнем бьефе на примере Ириклинского гидроузла на р. Урал.

2 СП 529.1325800.2023. Свод правил. Определение основных расчетных гидрологических характеристик (утв. и введен в действие Приказом Минстроя России от 11.09.2023 № 654/пр.).

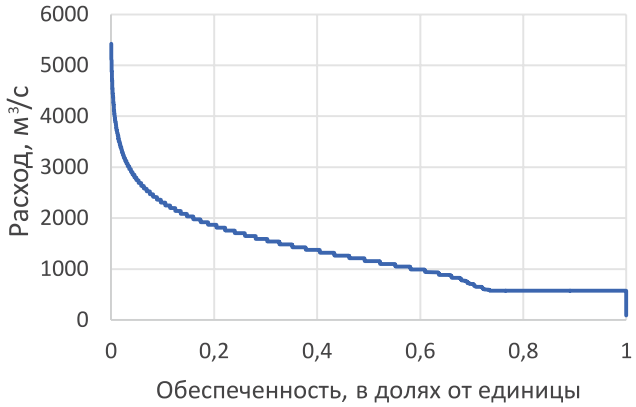



Рис. 1. Функция распределения сбросного расхода за третью декаду мая в нижний бьеф Цимлянского гидроузла

Fig. 1. Distribution function of the discharge over the third ten-day period of May in to the downstream reach of the Tsimlyansk hydro plant

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Первую рабочую гипотезу сформулируем следующим образом: расчетное значение стока (максимальный расход воды в нижнем бьефе вероятностью превышения 1 %) может быть получено как математическое ожидание максимальных значений сбросного расхода этой обеспеченности при различных уровнях предполоводной сработки. Для вычисления математического ожидания необходимо располагать результатами пропуска расчетного половодья заданной обеспеченности и распределением вероятностей наполнений водохранилища, предшествующих началу половодья (паводка).

Рассмотрим расчет максимального расхода воды в нижнем бьефе Ириклинского гидроузла, осуществляющего многолетнее регулирование стока, на примере определения расхода 1 %-й обеспеченности. Результаты пропуска паводка в этом случае существенно зависят от уровня предполоводной сработки.

В проекте ПИВР Верхне-Уральского, Магнитогорского и Ириклинского водохранилищ 2012 г.[3] приведены результаты расчета пропуска гидрографа 1 %-й обеспеченности через гидроузел для двух случаев – с прогнозом и без прогноза. Рассмотрим далее вариант без прогноза. Результаты расчетов для шести вариантов предполоводной сработки из упомянутого проекта представлены в табл. 1. Там же указаны объемы Ириклинского водохранилища, соответствующие уровням предполоводной сработки (колонка 4). В колонке 5 приведено число лет, в которые каждый интервал уровней (или объем) предполоводной сработки был достигнут. В качестве такового взят объем воды на начало водохозяйственного года, полученный в результате водохозяйственного расчета (табл. 4.14 из проекта ПИВР, стр. 132). В колонке 5 приведено число лет, когда

3 Правила использования водных ресурсов Верхне-Уральского, Магнитогорского и Ириклинского водохранилищ. Екатеринбург: РосНИИВХ, 2013. 460 с. (Проект).

**Таблица 1.** Расчет максимального расхода обеспеченностью 1 % при заданных диспетчерских правилах (без учета прогноза, на основе Проекта ПИВР 2012 г.)

| № | Диапазон уровней предполоводной сработки, Н, м | Расход Q в нижнем бьефе при пропуске 1 % гидрографа, м³/с при заданной сработке | Объем воды в вдхр, км³ | Вероятность Р (число лет / в долях от 1,0) наполнения вдхр в начале в/х года в диапазоне | Р × Q, м³с |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 245,0 | 5700 | 3,25 | 0 / 0 | 0,0 |
| 2 | 243,1–245,0 | 4900 | 2,77 | 56 / 0,737 | 3611 |
| 3 | 241,0–243,1 | 4400 | 2,32 | 13 / 0,171 | 752 |
| 4 | 239,0–241,0 | 4000 | 1,92 | 2 / 0,027 | 108 |
| 5 | 237,0–239,0 | 3500 | 1,57 | 4 / 0,053 | 185 |
| 6 | 235,0–237,0 | 3100 | 1,28 | 1 / 0,014 | 44 |
| | | | | **Сумма, Q 1 % =** | **4689** |

объем воды попадал в диапазон, соответствующий заданному уровню сработки, и рассчитана соответствующая вероятность в долях от единицы исходя из общего числа расчетных лет – 76.

В качестве расчетного значения максимального расхода $Q_{1\%}$ предлагается рассматривать его математическое ожидание при различных величинах сработки (сумма произведений расходов на их вероятности). В этом случае для Ириклинского гидроузла предлагается максимальный сбросной расход в нижний бьеф 1 %-й обеспеченности принять равным 4689 м³/с.

Для иллюстрации использованных данных на рис. 2 приведены значения наполнения водохранилища по годам водохозяйственного расчета. Для бассейна Урала характерны длительные маловодные периоды, поэтому периоды низкого наполнения соответствуют периодам низкого притока (рис. 2).

Вторая рабочая гипотеза относительно методики расчета максимального расхода заданной обеспеченности заключается в следующем. По-прежнему рассматривается задача получения распределения вероятностей максимально-

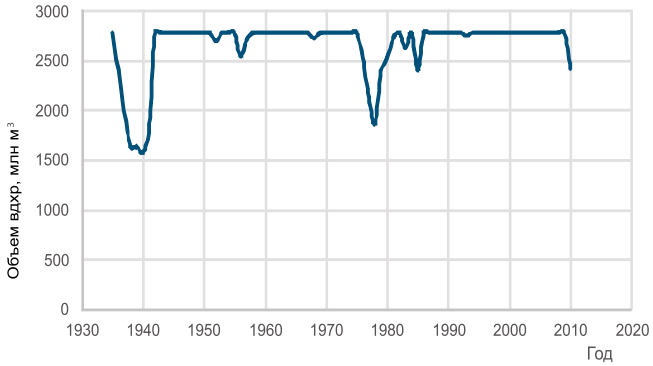



**Рис. 2.** Наполнение Ириклинского водохранилища на начало водохозяйственного года по данным водохозяйственного расчета ПИВР
Fig. 2. Filling of the Iriklinsk Reservoir by the beginning of water/economic year according the data of the PIVR water/economic calculations

го расхода воды в нижнем бьефе. Вероятность превышения (обеспеченность) максимального расхода воды в нижнем бьефе рассчитана исходя из предположения о том, что этот расход превышен в результате пропуска паводков разной обеспеченности и при разных наполнениях водохранилища на момент начала расчета.

Подходы к решению такого рода вероятностных задач могут основываться на различных принципах [8–10]. Далее рассмотрим построение расчетной кривой обеспеченности на основе байесовского подхода, который состоит в вычислении прогнозной плотности по формуле полной вероятности. В этом случае плотность распределения вероятностей максимального расхода воды $\varphi(x)$ вычисляется как интеграл от произведения плотности распределения максимального расхода в нижнем бьефе $f(x,\theta)$, умноженной на вероятность предполоводной сработки:

$$\varphi(x) = \int_{\theta} f(x,\theta) \cdot \alpha(\theta) d\theta. \quad (1)$$

Если интеграл в (1) заменить суммой по всем рассмотренным вариантам предполоводной сработки и перейти от плотностей распределения вероятностей к обеспеченностям, то получим ординаты кривой обеспеченности максимального расхода в нижнем бьефе $P(x)$, учитывающей различные вероятности предполоводной сработки водохранилища в следующем виде:

$$P(x) = \sum_{i=1}^{N} \alpha_i \, P_i \, (x) \, , \quad (2)$$

где $\alpha_i$ – вероятность $i$-того значения предполоводной сработки.

$P_i(x)$ – обеспеченность максимального сбросного расхода $x$ при принятой $i$-той величине предполоводной сработки;

$N$ – число вариантов (диапазонов) расчета предполоводной сработки.

Расчет обеспеченности заданного расхода воды осуществляется с учетом вероятности превышения разных наполнений следующим образом:

1. Для каждого предпаводочного наполнения водохранилища рассчитывается кривая обеспеченности максимальных расходов воды стандартным способом (пропуска расчетного гидрографа различных обеспеченностей). На рис. 3 для Ириклинского гидроузла приведены результаты расчета для шести вариантов из ПИВР 2012 г.

2. Задается набор значений расходов воды в нижний бьеф и по байесовской формуле (2) рассчитывается его вероятность (обеспеченность) графическим путем: с помощью семейства кривых (рис. 3) для заданного расхода снимаются показатели обеспеченности с кривых обеспеченности, соответствующих всему набору предполоводных сработок.

3. Суммируя полученные значения обеспеченностей $P_i(x)$ с весами, равными $\alpha_i$ (колонка 5 в табл. 1), получаем обеспеченность заданного значения максимального расхода в нижнем бьефе (табл. 2).

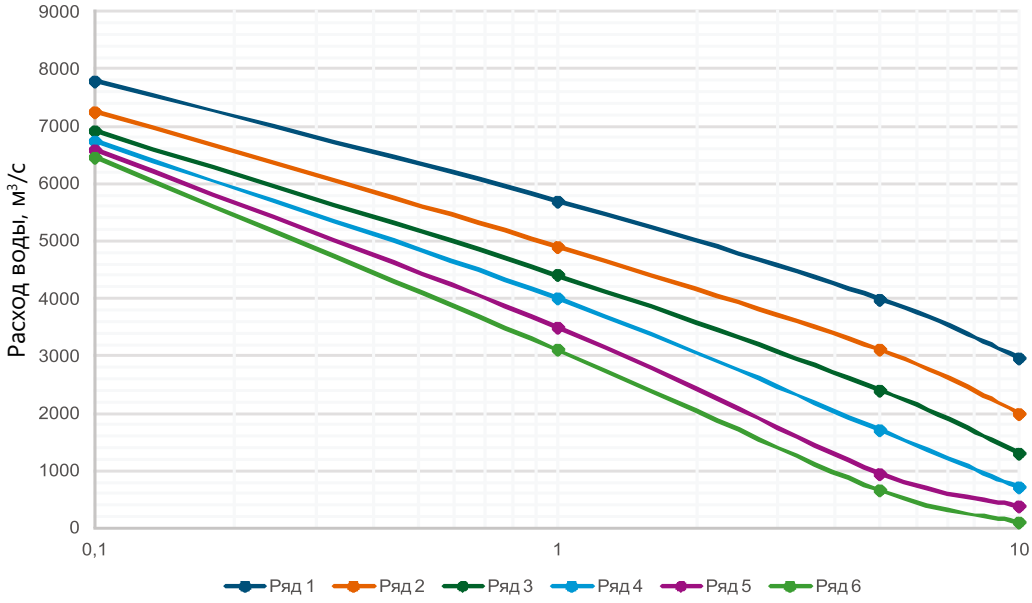



**Рис. 3.** Кривые обеспеченности максимальных расходов воды в нижнем бьефе Ириклинской ГЭС в зависимости от предполоводной сработки (нумерация в соответствии с табл.1)
Fig. 3. Probability curves of the water maximal discharge in the Iriklinsk Hydro Power Plant downstream range depending on pre-high-water drawdown (numeration is according to Table 1)

4. Выполнив расчеты согласно п. 2 для нескольких значений расхода воды, получим кривую обеспеченности максимального расхода воды в нижнем бьефе Ириклинского гидроузла с учетом естественной изменчивости стока и различных возможностей предполоводной сработки (рис. 4).

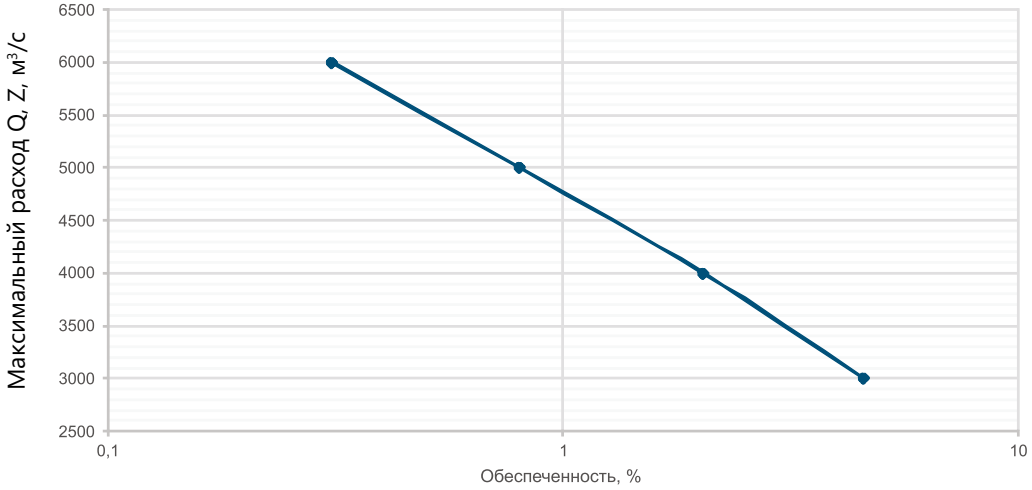



**Рис. 4.** Кривая обеспеченности максимальных расходов в нижнем бьефе Ириклинского гидроузла
Fig. 4. Probability curve of maximal discharges in the Irklinsk hydro plant downstream range

5. С кривой обеспеченности на рис. 4 снимаем значение вероятности превышения для заданной расчетной обеспеченности.

Применение предложенной методики расчета кривой обеспеченности максимального стока позволяет предложить оценку расхода с обеспеченностью P = 1 %, в соответствии с кривой на рис. 4, в размере 4750 м$^3$/сек, что несколько больше, чем результат предыдущего подхода.

**Таблица 2.** Результаты расчета обеспеченности максимального расхода воды в нижнем бьефе по формуле полной вероятности
**Table 2.** Results of the calculation of the maximal discharge probability in the downstream range according the full probability formula

| Расход воды $x$, м$^3$/с | Вероятность предполоводной сработки (в долях от единицы) | | | | | | $P(x)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,014 | 0,053 | 0,027 | 0,171 | 0,737 | 0,0 | |
| $x$ = 3000 | 1,1 | 1,5 | 2,0 | 3,1 | 5,3 | 9,5 | |
| $P_i(x)*\alpha_i$ | 0,016 | 0,080 | 0,054 | 0,513 | 0,907 | 0,0 | 4,57 |
| $x$ = 4000 | 0,53 | 0,70 | 1,00 | 1,5 | 2,3 | 5,0 | |
| $P_i(x)*\alpha_i$ | 0,008 | 0,038 | 0,027 | 0,257 | 1,696 | 0,0 | 2,03 |
| $x$ = 5000 | 0,26 | 0,33 | 0,42 | 0,57 | 0,90 | 2,0 | |
| $P_i(x)*\alpha_i$ | 0,004 | 0,018 | 0,012 | 0,098 | 0,644 | 0,0 | 0,80 |
| $x$ = 6000 | 0,13 | 0,16 | 0,18 | 0,23 | 0,34 | 0,70 | |
| $P_i(x)*\alpha_i$ | 0,002 | 0,009 | 0,005 | 0,004 | 0,251 | 0,0 | 0,31 |

## ВЫВОДЫ

Для определения максимальных расходов воды заданной обеспеченности в нижних бьефах гидроузлов предложены два подхода, учитывающих при выполнении расчетов пропуска половодья (паводка) распределение вероятностей предполоводной сработки емкости водохранилища.

При первом, упрощенном, подходе расход заданной обеспеченности рассматривается как значение, зависящее только от наполнения водохранилища на начало расчета пропуска расчетного половодья той же обеспеченности. Получение расчетного значения максимального стока (квантили распределения) рекомендуется осуществлять путем вычисления математического ожидания этой квантили с приданием расчетным расходам вероятностей, равных вероятностям наполнения (предполоводной сработки).

Более строгий подход основан на том положении, что максимальный расход воды в нижнем бьефе может быть превышен в результате пропуска паводков разной обеспеченности и при разных наполнениях водохранилища на момент начала расчета. Расчетная кривая обеспеченности может быть получена на основе байесовского подхода, который состоит в вычислении прогнозной плотности по формуле полной вероятности.

Для упрощения процедуры расчетов рекомендуется графический метод, хотя сама методика может быть автоматизирована.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ**
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов с кем-либо.
**CONFLICT OF INTEREST**
There is no conflict of interest.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Картвелишвили Н. А. Теория вероятностных процессов в гидрологии и регулировании речного стока. Л.: Гидрометиздат, 1967. 291 с.
2. Loucks D. P., Stedinger J. R., Haith D. A. Water resource systems planning and analysis. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1981. 559 p.
3. Болгов М. В. О функции распределении наполнений и сбросов при расчетах регулирования стока методом стохастического динамического программирования // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2025. № 1. С. 24–39. https://doi.org/10.35567/19994508-2025-1-24-39
4. Соколовский Д. Л. Речной сток (Основы теории и методики расчетов). 3-е изд., исп. и доп. Л.: Гидрометеоиздат, 1968. 539 с.
5. Maidment David R. Handbook of Hydrology. McGraw-Hill Education, 1993. 1424 p.
6. Крицкий С. Н., Менкель М. Ф. Гидрологические основы управления речным стоком. М., 1981. 257 с
7. Болгов М. В, Лобанова А. Г. Инженерно-гидрологические расчеты и климатические изменения: как развивать новые подходы // Метеорология и гидрология. № 4. 2025. С. 25–36. https://doi.org/10.52002/0130-2906-2025-4-25-36
8. Loucks D. P., van Beek E. An Introduction to Probability, Statistics, and Uncertainty. In book: Water Resource Systems Planning and Management. March 2017. P. 213–300. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44234-1_6
9. Simonovic S. P. Floods in a changing climate: risk management. International hydrology series. Cambridge University Press, 2012. 179 p.

## REFERENCES

1. Kartvelishvili N. A. Theory of probabilistic processes in hydrology and regulation of river flow. L.: Hydrometizdat, 1967. 291 p.
2. Loucks D. P., Stedinger J. R., Haith D. A. Water resource systems planning and analysis. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1981. 559 p.
3. Bolgov M. V. On the function of distribution of fillings and discharges in the calculations of regulation of flow by the method of stochastic dynamic programming *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2025. No. 1. P. 24–39. https://doi.org/10.35567/19994508-2025-1-24-39
4. Sokolovsky D. L. River Flow: (Fundamentals of Theory and Calculation Methods). 3rd edition, revised and expanded. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1968. 539 p.
5. Maidment David R. Handbook of Hydrology. McGraw-Hill Education, 1993. 1424 p.
6. Kritsky S. N., Menkel M. F. Hydrological Foundations of River Flow Management. Moscow, 1981. 257 p.
7. Bolgov M. V, Lobanova A. G. Engineering Hydrological Calculations and Climate Change: How to Develop New Approaches. *Meteorology and Hydrology.* No. 4. 2025. P. 25–36. https://doi.org/10.52002/0130-2906-2025-4-25-36

8. Loucks D. P., van Beek E. An Introduction to Probability, Statistics, and Uncertainty. In book: Water Resource Systems Planning and Management. March 2017. P. 213-300. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44234-1_6
9. Simonovic S. P. Floods in a changing climate: risk management. International hydrology series. Cambridge University Press, 2012. 179 p.

**Сведения об авторе:**

**Болгов Михаил Васильевич,** д-р техн. наук, заведующий лабораторией, главный научный сотрудник, лаборатория моделирования поверхностных вод, отдел поверхностных вод, ФГБУН «Институт водных проблем РАН», 119333, Россия, Москва, ул. Губкина, 3; главный научный сотрудник, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Россия, 344037, г. Ростов-на-Дону, ул. Ченцова, 10а; https://orcid.org/0000-0003-3193-6488; e-mail: bolgovmv@mail.ru

**About the author:**

**Mikhail V. Bolgov,** Principal Researcher (PhD, Doctor of Science (habilitation)), Laboratory of Surface Water Modeling, Department of Surface Waters, Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, 119333, Russia, Moscow, ul. Gubkina, 3; Principal researcher, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection (RosNIIVKh), Russia, 344037, Rostov-on-Don, 10a Chentsova Street;
https://orcid.org/0000-0003-3193-6488; e-mail: bolgovmv@mail.ru

**Поступила в редакцию / Received** 25.12.2025.
**Поступила после рецензирования / Revised** 27.01.2026.
**Принята к публикации / Accepted** 27.01.2026.