

УДК 556.048

О НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ВЕРОЯТНОГО МАКСИМАЛЬНОГО ПАВОДКА (РМФ) ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО- ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ В РОССИИ

© 2012 г. А.Е. Асарин, А.Н. Жиркевич

ОАО «Институт Гидропроект», Москва

Ключевые слова: безопасность гидротехнических сооружений, максимальный расход воды, методика, вероятный максимальный паводок.

Рассмотрены вопросы применимости методики расчета вероятного максимального паводка (РМФ) при решении задач оценки гидрологической безопасности гидротехнических сооружений в различных физико-географических условиях. Дается сопоставление оценок максимальных расходов воды 10 рек,

полученных традиционными вероятностными методами и методом РМФ. Характеризуются возможные последствия обязательного нормирования методики расчета РМФ в России.



А.Е. Асарин



А.Н. Жиркевич

Введение

В отечественной практике строительного проектирования определение параметров расчетного половодья (паводка) основывается на вероятностных методах. Класс ответственности сооружений (задаваемый, в первую очередь, с учетом высоты плотины и объема водохранилища), определяет расчетную вероятность превышения максимального расхода (объема) воды половодья (паводка), что регламентируется нормативными документами, обязательными при проектировании [1, 2].

В ряде стран, прежде всего в США, с начала 1940-х годов при определении параметров расчетного паводка применяется иной, невероятный подход. Ответственные сооружения рассчитываются на условия прохождения, так называемого вероятного (возможного) максимального паводка – probable maximum flood (PMF), который может образоваться при сочетании самых неблагоприятных или предельно возможных факторов: метеорологических (жидкие или твердые осадки, температура и влажность воздуха) и стокоформирующих (состояние поверхности и почво-грунтов водосбора, определяющее наибольший коэффициент стока).

В российских нормативных документах [1] впервые 8 лет назад появилась рекомендация «...при проектировании речных гидротехнических сооружений, особенно размещаемых в районах активной циклонической деятельности, в качестве расхода поверочного расчетного случая принимать расход, определенный по методике вероятного максимального паводка». К сожалению, эта рекомендация норм, практически, не выполняется, т. к. в России не разработаны ни методические указания (пособия) по определению параметров (максимального расхода, объема, гидрографа) PMF, ни условия его применения. Так, в действующем нормативном документе по определению расчетных гидрологических характеристик [2] вообще нет даже упоминания о такой гидрологической характеристике.

СНиП [1] не регламентируют, в каких случаях следует определять PMF; какой методикой расчета PMF пользоваться для рек России; как определять PMF для паводков смешанного происхождения, например, снегово-дождевых, ледниково-снеговых; надо ли вообще определять вероятный максимальный расход воды снегового половодья и т. д.

Очевидно, что применительно к природным условиям значительной части территории России необходимо разработать оригинальные подходы к расчету PMF, который за рубежом многократно применялся преимущественно в проектах гидроузлов на реках, где паводки имеют ливневое происхождение.

В работе обсуждается необходимость разработки методики расчета PMF для условий Российской Федерации, приведены примеры использования различных подходов для оценки PMF при проектировании гидроузлов за рубежом и в России, рекомендуются перспективные методы определения PMF с использованием детерминированного или детерминированно-стохастического гидрологического моделирования.

Общие сведения о методе РМФ

Вероятный максимальный паводок (далее по тексту принято сокращение РМФ) характеризуется максимальным расходом и объемом воды и гидрографом максимального стока, которые можно было бы ожидать на рассматриваемом участке реки при критическом сочетании всех сопутствующих факторов: условий местности, метеорологических, гидрологических и почвенных. Такой паводок имеет исключительно малую, стремящуюся к нулю, вероятность превышения и рекомендуется в качестве максимального расчетного паводка для обеспечения безопасности ответственных гидротехнических сооружений.

Как уже отмечалось, подавляющая часть плотин США рассчитана на пропуск дождевых максимумов, и предельный расход дождевого паводка зависит от предельной интенсивности жидких осадков различной продолжительности. Для целей гидрологических расчетов была разработана методология определения вероятных максимальных осадков (probable maximum precipitation, далее – РМР). Это весьма сложная и громоздкая процедура. Первые публикации по методам расчета РМР применительно к природно-климатическим условиям США принадлежат американскому метеорологу Хершфилду [3]. Позднее в 1973 г. появились методические указания Всемирной метеорологической организации, в последние годы доработанные [4–6]. Новый метод оценки параметров максимального стока и рекомендации по его применению нашли отражение в официальных документах США [7, 8].

Расчет и построение гидрографа вероятного максимального паводка проводится на основании вероятных максимальных (следует понимать, как максимально возможных) осадков (РМР), выпадающих на территорию водосборного бассейна, которые, в свою очередь, основываются на предельной максимизации метеоусловий (влажность, температура воздуха, иногда ветер).

Расчет стока по осадкам является не менее трудной задачей. Однако в практике расчета наибольшего расхода воды и гидрографа РМФ была заложена достаточно простая схема, основанная на принципе «осадки-сток», использующая детальные математические модели, предусматривающие разделение процесса формирования стока на две части:

- моделирование процесса формирования стока на склоне;
- расчеты трансформации стока по русловым системам.

Таким образом, расчет РМФ можно интерпретировать как метод оценки предельного потенциала паводкообразования, представляющий верхний предел максимального расхода воды, который может иметь место на конкретной водосборной площади с изученными метеорологическими и гидрологическими условиями. Поскольку РМФ определяется путем анализа соотношения дождевых, а иногда и снеговых, осадков и стока, результаты его расчета содержат в себе все погрешности, характерные для этих методов [9].

Процедура расчета РМФ состоит в следующем: по возможным максимальным осадкам (РМР), определенным по данным наблюдений для различных территорий с учетом поправок на сезонный ход и высоту местности, находятся возможные максимальные расходы и гидрографы стока с помощью простейших гидрологических моделей (обычно используется линейная модель формирования стока при постоянных потерях стока).

Концепция РМФ предполагает, что существует верхний, физически обусловленный, предел слоя максимальных осадков (РМР) на заданную территорию. Этот предел определяется следующими факторами:

- предельное содержание водяного пара в воздухе, циркулирующем над речным бассейном;
- предельная скорость ветра, переносящего влажный воздух над бассейном;
- предельные условия превращения водяного пара в осадки.

Предполагается, что продолжительные ливни с интенсивностью РМР, формируют объем осадков, способны покрыть значительные площади. В то же время РМР малой продолжительности или некий локальный ливень может иметь крайне высокую интенсивность, но не привести к созданию слоя воды над значительной поверхностью. В некоторых работах к таким РМР относятся ливни продолжительностью до 6 часов, покрывающие территорию до 1300 км².

В основе определения РМР лежат данные наблюдений за высокими и/или выдающимися осадками, зафиксированными на метеостанциях, расположенных в границах рассматриваемого водосбора или соседних регионах. Для получения РМР, способных дать вероятный максимальный паводок на рассматриваемой территории в заданный сезон, выполняются три основные операции:

- максимизация содержания в воздухе водяного пара (влаги);
- транспозиция ливневых осадков на водосбор;
- определение предельного значения.

Не останавливаясь здесь на процедуре в целом, отметим, что максимизация влагонасыщенности воздушных масс ливня может быть выполнена с использованием выражения [3]

$$P_a = P_0 \left(\frac{W_{p(\text{макс})}}{W_{p(\text{шторм})}} \right),$$

где P_a – осадки, приведенные к условиям максимального количества водяных паров;

P_0 – максимальные наблюдаемые осадки;

$W_{p(\text{макс})}$ – максимально возможное количество влаги, которое может выпасть при расчетной максимальной температуре точки росы;

$W_{p(\text{шторм})}$ – количество влаги, которое может выпасть за конкретный ливень при фактической максимальной температуре точки росы.

Определение гидрографа РМФ, т. е. превращение вероятных максимальных осадков в паводок реальной формы и продолжительности может быть рассчитан с использованием стоковой модели или метода единичного гидрографа. Расчетные условия формирования максимального стока РМР не должны быть менее критическими, чем при максимальных наблюдаемых паводках. Процедура расчета по методу единичного гидрографа детально описана в программном комплексе НЕС-1 Корпуса инженеров армии США [10].

Некоторые критические оценки вероятностных методов расчета максимальных расходов воды [11–13] и метода оценки РМФ, известные из литературы, и высказывания оппонентов этих методов приведены в табл. 1.

Несмотря на указанные недостатки и условность расчетов по методике РМФ, значительная часть национальных проектных организаций многих стран при определении расчетных максимальных расходов воды при строительном проектировании особо важных гидротехнических объектов отдает предпочтение РМФ, считая, что ни одно распределение вероятностей превышения максимальных расходов воды паводочий (паводков) не имеет физического обоснования, а экстраполяция любых кривых распределения в зону крайне малых вероятностей превышения (0,1 % и менее) – путь крайне ненадежный.

Таблица 1. Сравнительная характеристика методов оценки максимального стока

| <i>Вероятностные методы расчета</i> | <i>Метод вероятного максимального паводка (РМФ)</i> |
|--|--|
| <p>Экстраполяция любых кривых распределения вероятностей превышения максимальных расходов воды в зону крайне малых вероятностей (0,1 %) и менее – путь крайне ненадежный</p> | <p>Обоснованность понятия, как и достоверность определения значения (слоя) возможных максимальных осадков (РМР), лежащего в основе расчета РМФ, сомнительны. Так, если в районах, расположенных в глубине континентов, можно говорить о предельно мыслимом слое осадков за период, необходимый для формирования паводка, то в зонах циклонической деятельности и на территориях, куда заход циклонического фронта, хотя бы минимально вероятен, понятие РМР становится количественно неопределенным.</p> |
| <p>Параметры кривых распределения вероятностей превышения максимальных расходов воды (а, соответственно, расчетные квантили) претерпевают изменения, подчас существенные, по мере удлинения ряда наблюдений, и особенно при включении в ряд наибольшего, не фиксировавшегося ранее, расхода воды</p> | <p>Практически во всех географических зонах остается неясным вопрос о территории, на которую могут выпасть РМР, т. е. о редукации максимального слоя осадков по площади. В то же время известно, что рассчитанная для одного и же пункта величина РМФ с годами растет по мере увеличения ряда наблюдений за осадками, включающими выдающиеся штормы, учет которых приводит к увеличению РМР.</p> |
| <p>Ни одно распределения вероятностей пиковых расходов воды паводков не имеет физического обоснования</p> | <p>При пересчете РМР с учетом новых данных подчас выясняется, что вероятность превышения расчетного паводка (РМФ), считавшаяся близкой к нулю, составляет 0,1 % и более границы возможных колебаний речного стока и максимальных расходов воды, в частности, физически обосновать и установить не удастся. Нельзя доказать, например, что на некоторой реке возможен расход воды 1000 м³/с и невозможен 1001 м³/с.</p> |
| <p>Результаты тестовых оценок отражают свойства рядов наблюдений, являющихся выборками из генеральной совокупности, закон распределения вероятностей и статистические параметры которой неизвестны</p> | <p>Методы определения РМР, даже по мнению их авторов, имеют ограниченное применение, в некоторых работах называется предельная площадь бассейна 50 тыс. км². Однако имеются примеры расчета РМР с максимизацией осадков на территориях в сотни тысяч квадратных километров.</p> |

Применение методики PMF при строительном проектировании в России

Не очень четкое положение СНиП [1], рекомендуемое при проектировании речных гидротехнических сооружений, особенно размещаемых *в районах активной циклонической деятельности*, в качестве расхода поверочного расчетного случая принимать расход воды, определенный по методике вероятного максимального паводка (PMF), привела в строительном проектировании к многочисленным отмеченным выше вопросам и затруднениям [14].

Инвестиционные процедуры, реализуемые при строительстве гидротехнических объектов в России международными финансовыми организациями, могут включать требования проверки проектируемых сооружений на пропуск PMF. Такие требования также предъявляются к проектам ГЭС за рубежом, составляемым российскими проектными институтами. В России рекомендации проверять сооружения первого класса на пропуск PMF отсутствуют, методика расчета PMF не разработана.

Некоторые замечания по поводу использования метода PMF. Метод исходит из существования верхней границы паводкового расхода воды, которая не может быть превышена в рассматриваемом створе. Обычные вероятностные методы предполагают, что сколь угодно большое значение паводка может быть превышено. Чтобы избежать этого физически неприемлемого вывода, верхняя ветвь кривой распределения вероятностей ограничивается расходами воды с достаточно низкими вероятностями превышения, например, 0,001 или 0,0001 ($P=0,1-0,01\%$).

Анализ зарубежных подходов и нормативов для выбора вероятности превышения (обеспеченности) параметров проектных паводков показывает, что в большинстве стран ориентируются на пропуск PMF только для особо ответственных сооружений, разрушение которых может привести к катастрофическим последствиям (человеческие жертвы или крупный экономический ущерб), т. е. для сооружений, требующих полной безопасности при любом потенциальном паводке.

При отсутствии возможных человеческих жертв (или их небольшом числе) расчетный (и поверочный) паводок в некоторых странах выбирается на основании экономической оценки риска. Так, по данным Международной комиссии по большим плотинам (ICOLD), даже при повышенной категории риска при прорыве плотины, возможных некоторых человеческих жертв и «значительном» социальном и экологическом ущербе расчетный паводок назначается на основании экономической

оценки риска или по максимальному расходу воды 0,2–0,1 % вероятности превышения; поверочный паводок назначается также на основании экономической оценки риска или некоторой доли РМФ (например, 0,7 или 0,5 РМФ), или по максимальному расходу воды 0,1–0,02 % вероятности превышения. В Норвегии, например, принят двойной критерий для расчета проектного паводка: для водосбросных сооружений в качестве такового принимается приточный паводок с вероятностью превышения 0,1 %, а устойчивость плотины рассчитывается для уровня воды в верхнем бьефе при пропуске РМФ.

В [15] справедливо указывается, что достижения гидрологической науки, начиная с конца 80-х и начала 90-х гг. XX в., предоставляют возможности на практике, в какой-то мере, избежать тех недостатков, которые содержат как вероятностные методы расчета максимальных расходов воды паводков, так и описанный метод РМФ. Инструментом совершенствования расчетных методов могут служить детальные физико-математические модели гидрологических систем [16–18].

В настоящее время создано несколько сложных детерминированных математических моделей формирования стока с распределенными входом и параметрами. Наряду с другими моделями [16, 17], наиболее продвинутыми, на наш взгляд, являются, модели, разработанные Ю.Б. Виноградовым в Государственном гидрологическом институте (ГГИ) [18, 19]. Некоторый, ограниченный опыт, применения указанных моделей Ю.Б. Виноградова на базе моделирующей системы «Гидрограф-2001» имеется в проектной практике [20].

Российский опыт применения метода РМФ ограничен из-за отсутствия национальных методических указаний или рекомендаций. В связи требованиями заказчиков проектов определять параметры РМФ, институтом «Гидропроект» в 1997–2002 гг. при проектировании гидроэлектростанций Шонла во Вьетнаме и Капанда в Анголе были сделаны оценки РМФ [20, 21]. В дальнейшем оценочные расчеты РМФ выполнялись в проектах гидроузлов Тери в Индии, Се Конг в Лаосе, Рогунский в Таджикистане, Камбаратинский в Киргизии, Канкунский в Якутии и др. [22]. Следует отметить, что для рек Вьетнама и Анголы применялась методика РМФ, рекомендуемая в оригинале [10, 23], с определением РМР и моделированием гидрографа максимального вероятного максимального паводка с использованием простой модели «осадки-сток». Для горных условий бассейнов рек Таджикистана и Киргизии с преобладающей долей снегового и ледникового талого стока в формировании максимумов РМФ определялся с использованием зависимостей максимальных расходов воды от температуры воздуха в районе ледников, являющейся интегральной

характеристикой неблагоприятных факторов при формировании максимального стока. При определении РМФ для намечаемых сооружений на р. Тимптон в Якутии использовалось детерминированное моделирование, разработанное и усовершенствованное в ГГИ [18, 24]. Оно представляется наиболее перспективным методом для оценки РМФ в подобных физико-географических условиях. Для бассейнов рек с другими физико-географическими условиями, например, для горных рек потребуется дополнительное тестирование и оценка применимости разработанных моделей.

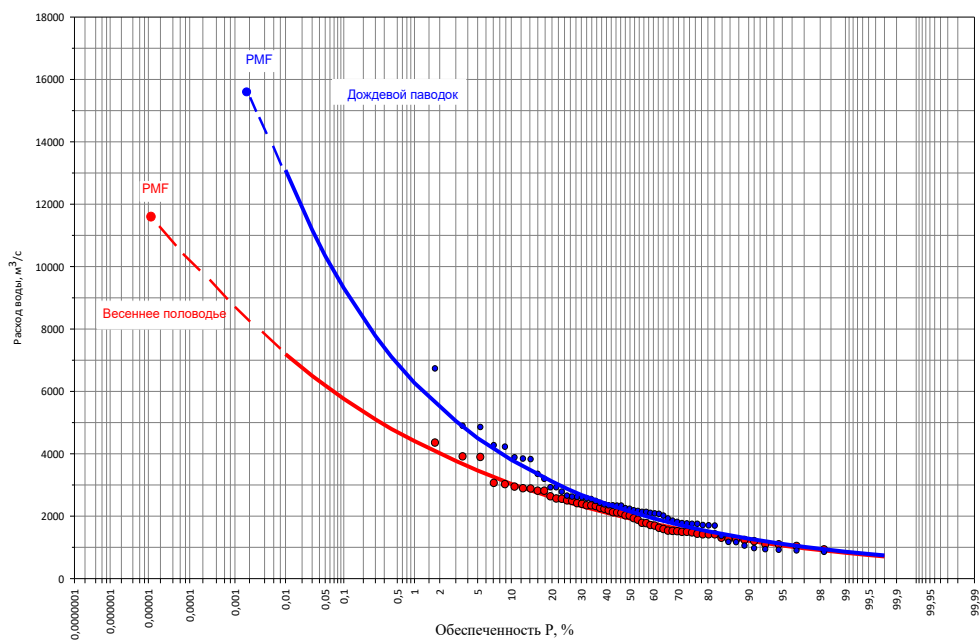
Результаты некоторых расчетов РМФ в сопоставлении с оценками максимумов, полученных вероятностными методами, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Сопоставление максимальных расходов воды, рассчитанных по методике РМФ и вероятностными методами

| Река | Гидроузел | Площадь водосбора, км ² | Максимальные расчетные расходы воды РМФ и вероятностью превышения P, м ³ /с | | | Отношение $\frac{PMF}{Q_{0,01\%}}$ $\frac{PMF}{Q_{0,01\% \text{ г.п.}}}$ |
|-----------|---|------------------------------------|--|--------|-------------|---|
| | | | РМФ | 0,01 % | 0,01 % г.п. | |
| Да | Шонла (Вьетнам) | 43 760 | 60 000 | 39 800 | 477 000 | $\frac{1,51}{1,26}$ |
| Кванза | Капанда (Ангола) | 109 000 | 14 000 | 9160 | 11 000 | $\frac{1,53}{1,27}$ |
| Вахш | Рогун (Таджикистан) | 30 390 | 7000 | 5200 | 5700 | $\frac{1,44}{1,23}$ |
| Нарын | Камбарата (Киргизская республика) | 46 520 | 5500 | 4010 | 4420 | $\frac{1,37}{1,24}$ |
| Тимптон | Усть Баралас (РФ, Республика Саха (Якутия): весеннее половодье | 13 300 | 11 600 | 8290 | 9640 | $\frac{1,40}{1,20}$ |
| | летние паводки | 13 300 | 15 500 | 13 100 | 15 650 | $\frac{1,18}{1,00}$ |
| Тимптон | Усть Тимптон (РФ, Республика Саха (Якутия): весеннее половодье | 43 700 | 33 500 | 27 600 | 31 620 | $\frac{1,21}{1,06}$ |
| | летние паводки | 43 700 | 42 500 | 30 620 | 36 660 | $\frac{1,39}{1,16}$ |
| Инд | Баша (Пакистан) | 152 000 | 18 500 | 18 000 | – | 1,03 |
| Субансири | Нижний Субансири (Индия) | 34 500 | 37 507 | 27 120 | – | 1,38 |
| Барак | Типамук (Индия) | 12 758 | 16 964 | 15 233 | – | 1,11 |
| Алакнанда | Шринагар (Индия) | 11 110 | 26 400 | 19 200 | – | 1,38 |
| Гариганга | Мапанг Богудьяр (Индия) | 829 | 3175 | 4100 | – | 0,78 |

Примечание: г.п. – с гарантийной поправкой.

а



б

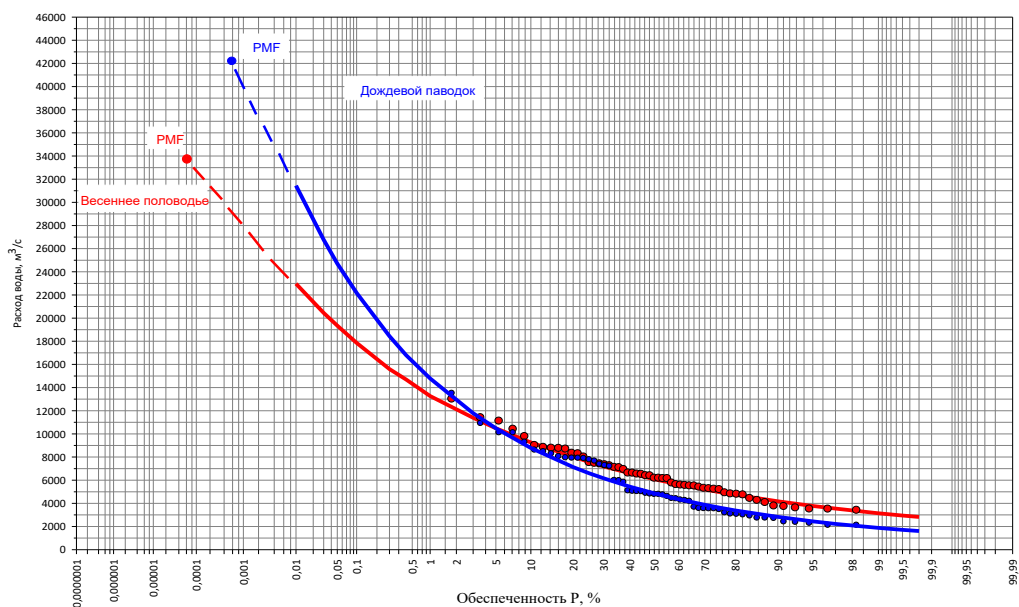


Рисунок. Кривые распределения вероятностей превышения максимальных расходов воды за период весеннего половодья и дождевых паводков и сравнение с величинами РМФ: *а* – р. Тимптон – Усть-Баралас, *б* – р. Тимптон – Усть-Тимптон.

Из представленных в табл. 2 данных видно, что максимальный расход воды РМФ, как правило, существенно (до 50 %) превышает максимум вероятностью превышения 0,01 %. Введение гарантийной поправки, применяемой только в России (СССР), несколько сближает расчетный максимум со значением расхода воды РМФ.

Обычно для РМФ вероятность превышения параметров паводка (максимального расхода и объема воды) специально не определяется. Условное совмещение расхода РМФ с соответствующими экстраполированными теоретическими кривыми распределения вероятностей превышения, полученными по данным фактических многолетних наблюдений за 55 лет для р. Тимптон в створах Усть Баралас и Усть Тимптон (см. рисунок) показывает более низкую вероятность превышения, далеко выходящую за пределы наблюдаемых расходов воды и вероятности превышения 0,01 %.

Выводы

1. В странах, где основным расчетным методом определения параметров максимального стока является технология РМФ, на пропуск РМФ проверяются лишь ответственные сооружения, аналогичные тем, для которых в Российской Федерации применяется вероятность превышения 0,01 % с гарантийной поправкой.

2. Сопоставление полученных методом РМФ максимальных расходов воды с расчетными значениями максимумов вероятностью превышения 0,01 % без гарантийной поправки (повышающей максимальный расход на 10–20 %), определенными вероятностными методами, аналогичными рекомендуемым и применяемым в России, показывает, что максимальный расход воды РМФ может превышать $Q_{0,01}$ % с гарантийной поправкой на 25–40 %. В отдельных случаях эта разность может достигать 100 и более процентов.

3. Применительно к максимумам талого или смешанного (снеготаяние плюс весенние жидкие осадки) происхождения таких сопоставлений нет, за исключением данных по Плявинской ГЭС на р. Даугаве, где максимальный расход воды РМФ равен 12 600 м³/с, что практически совпадает с расчетным максимумом вероятностью превышения 0,01 % с гарантийной поправкой (12 400 м³/с), вычисленным традиционным методом.

4. Насколько максимум РМФ талого или смешанного происхождения будет превышать 0,01 % с гарантийной поправкой в настоящее время (до разработки

методики и выполнения расчетов по конкретным гидроузлам) неизвестно. Если это увеличение не превысит 20 %, то возможно, что такой максимум может быть пропущен через крупные существующие гидроузлы Волжско-Камского и Ангаро-Енисейского каскадов без перелива через гребень плотины, имея в виду запас гребня над НПУ и объем регулирующей призмы, расположенной выше отметки НПУ. На гидроузлах с поверхностными водосбросами будут иметь место увеличение их пропускной способности при повышении уровня воды сверх НПУ и большей (до нескольких метров) глубине на водосливном пороге.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 33-01-2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения. Введ. постановлением Госстроя России № 137 от 30 июня 2003 г.
2. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Введ. постановлением Госстроя России № 218 от 26 декабря 2003 г.
3. *Hershfield D.M.* Estimating the Probable Maximum Precipitation. Proceedings American Society of Civil Engineers, Journal Hydraulics Division, V. 87, 1961. P. 99–106.
4. Manual for estimation of probable maximum precipitation. Operational Hydrology. Report № 1. World Meteorological Organization. № 332. 1986. 269 с.
5. World Meteorological Organization: Estimation of Maximum Floods. Technical Note No. 98. Estimation of Maximum Floods. WMO. Geneva. 1969.
6. World Meteorological Organization: “Operational Hydrology Report No. 1. Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation. Second Edition. WMO N. 332”. 1969.
7. Федеральные указания по безопасности плотин. США. 1972.
8. USA. Federal Energy Regulatory Commission Office of Hydropower Licensing. October 1993.
9. *Кучмент Л.С., Милюкова И.П.* К вычислению максимально возможных расходов дождевых паводков // Водные ресурсы. 1987. № 2. С. 5–9.
10. Hydrologic Engineering Center. Flood Hydrograph Package. User’s Manual. U.S. Army Corps of Engineers. Davis. California. 1988.
11. *Крицкий С.Н., Менкель М.Ф.* Гидрологические основы управления речным стоком. М.: Наука, 1981. 255 с.
12. *Chow Ven Te.* Handbook of Applied Hydrology. New York. 1988. P. 572.

13. Kite G.W. Frequency and Risk Analysis in Hydrology. Water Resources Publications. LLC. Littleton. CO. 1988. P. 264.
14. *Жиркевич А.Н., Асарин А.Е.* Вероятный максимальный паводок (PMF) Основные сведения и проблемы применения методики его расчета в России // Гидротехническое строительство. 2010. № 4. С. 30–36.
15. Природные опасности России. Гидрометеорологические опасности. М.: КРУК, 2001. 296 с.
16. *Кучмент Л.С., Демидов В.Н., Мотовилов Ю.Г.* Формирование речного стока. М.: Наука, 1983. 216 с.
17. *Гельфан А.Н.* Динамико-стохастическое моделирование формирования талого стока. М.: Наука, 2007. 279 с.
18. *Виноградов Ю.Б.* Математическое моделирование процессов формирования стока. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 312 с.
19. *Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А.* Современные проблемы гидрологии. М.: ИЦ «Академия», 2008. 320 с.
20. *Жиркевич А.Н.* Особенности расчета максимальных расходов воды при проектировании гидроузлов на реках Вьетнама и Анголы // Тезисы докладов VI Всеросс. гидролог. съезда. СПб. 2004. С. 205–210.
21. *Жиркевич А.Н.* Современные подходы к определению характеристик максимального стока (на примере проекта гидроузла Шонла на р. Да во Вьетнаме) // Юбилейный сборник научных трудов Гидропроекта (1930–2000). Вып. 159. М.: АО «Институт Гидропроект», 2000. С. 435–460.
22. *Асарин А.Е., Жиркевич А.Н.* Проблемы гидрологической безопасности существующих и проектируемых гидроузлов // Первая научн.-техн. конференция «Новые разработки и технологии». СПб. 2005. С. 20–25.
23. United States Army Corps of Engineers. 1959. Flood Hydrograph analyses and Computations (eng. Manual). U.S. Army. Washington. D.C.
24. *Semenova O.M., Vinogradova T.A.* A universal approach to runoff processes modelling: coping with hydrological predictions in data scarce regions. New Approaches to Hydrological Prediction in Data-sparse Regions // Proc. of Symposium HS. 2 at the Joint IAHS & IAH Convention. Hyderabad. India // IAHS Publ. 333. 2009. P. 11–19.

Сведения об авторах:

Асарин Александр Евгеньевич, д. т. н., заместитель начальника отдела водного хозяйства и охраны окружающей среды, ОАО «Институт Гидропроект», 125993, Москва, Волоколамское шоссе, д. 2; e-mail: asarin@hydroproject.ru

Жиркевич Анатолий Николаевич, заместитель начальника отдела водного хозяйства и охраны окружающей среды, ОАО «Институт Гидропроект», 125993, Москва, Волоколамское шоссе, д. 2; e-mail: anzhir@yandex.ru