

НЕОБХОДИМОСТЬ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ВЕРОЯТНОГО  
МАКСИМАЛЬНОГО ПАВОДКА (PMF) ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЕЁ В ИНЖЕНЕРНО –  
ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТАХ ПРИ СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ В  
РФ

А.Е. Асарин, А.Н. Жиркевич  
ОАО "Институт Гидропроект"

В России (прежде в Советском Союзе) в практике строительного проектирования при определении параметров расчетного паводка предпочтение отдается вероятностным методам. Класс ответственности сооружений (в первую очередь высота плотины и объем водохранилища) определяет расчетную вероятность превышения максимального расхода (объема) воды 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, не вероятностный, 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 (действующих в настоящее время) нормативных документах [1] впервые 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, этой рекомендацией практически невозможно воспользоваться, так как в России не разработаны ни методические указания (пособия) по определению параметров (максимального расхода, объема, гидрографа) PMF, ни нормативы его применения. Так, в основополагающем действующем в России нормативном документе по определению расчетных гидрологических характеристик [2] вообще нет даже упоминания о такой гидрологической характеристике.

Однако в последние годы необходимость определения PMF находит отражение также в проектах документов, предлагаемых к введению взамен СНиП: технических регламентов и отраслевых стандартов. Тем не менее, это не вносит ясности в ответы на вопросы, естественно возникающие у проектировщика: как и в каких случаях, следует определять PMF; какой методикой расчета PMF пользоваться для водотоков России и где её можно получить; как определять PMF для паводков смешанного происхождения, например, снегово-дождевых, ледниково-снеговых; надо ли вообще (и как) определять вероятный максимальный расход воды снегового половодья и т.д.

В то же время, очевидно, что применительно к природным условиям значительной части территории России, необходимо разрабатывать собственные, оригинальные подходы к методу PMF, который был разработан и многократно

применялся за рубежом преимущественно в проектах гидроузлов на реках, где паводки имеют ливневое происхождение.

## 1. Принципиальные основы метода PMF

Вероятный максимальный паводок (PMF) (probable maximum flood - PMF - в английской транскрипции и МВП - максимальный вероятный паводок - в русской, хотя, со всех точек зрения – с грамматической и близости к английскому оригиналу, корректно было бы писать ВМП; далее по тексту принято сокращение PMF) характеризуется максимальным расходом и объемом воды и гидрографом максимального стока, которые можно было бы ожидать на рассматриваемом участке при критическом сочетании всех сопутствующих факторов: условий местности, метеорологических, гидрологических и почвенных. Такой паводок по существу имеет исключительно низкую вероятность превышения, стремящуюся к нулю, и рекомендуется в качестве максимального расчетного паводка для обеспечения высокой степени безопасности сооружения.

Инженеры и ученые, работающие в области безопасности гидротехнических сооружений, издавна стремились к сверхнадежности подпорных сооружений и абсолютной безопасности населения и хозяйства в долинах рек в нижнем бьефе плотин. В начале 1930-х годов гидрологам США была поставлена задача, установить предельно возможные значения максимальных расходов воды конкретных рек в конкретных створах. При попытке решить эту задачу выяснилось, что обоснованных критериев для назначения предельных максимумов нет.

Одновременно в США возникла идея, что предельный расход дождевого паводка, а подавляющая часть плотин США рассчитана на пропуск дождевых максимумов, зависит от предельной интенсивности жидких осадков различной продолжительности. Появилось понятие вероятных максимальных осадков (PMP) и была разработана методология их определения. Первые серьезные публикации по методам расчета максимальных осадков применительно к природно-климатическим условиям США принадлежат известному американскому метеорологу Хершфилду [15].

Позднее в США и в других странах проводились исследования и разработки [16,17] на основании которых в международной практике при строительном проектировании гидротехнических (гидроэнергетических) объектов для особо ответственных сооружений, разрушение которых может привести к катастрофическим последствиям (человеческие жертвы или крупный экономический ущерб), стал выполняться расчет на пропуск вероятного максимального паводка. Появление нового метода оценки параметров максимального стока и рекомендации по его применению нашли отражение в официальных документах США [18, 19].

Расчет и построение гидрографа вероятного максимального паводка проводится на основании вероятных максимальных осадков (PMP-probable maximum precipitation) осадков в водосборном бассейне, которые, в свою очередь, основываются на предельной максимизации метеоусловий (влажность, температура воздуха, иногда ветер).

Принципиальным вопросом при таком подходе является процедура получения вероятных максимальных осадков (PMP). Это весьма сложная и громоздкая процедура. Мировая метеорологическая организация (WMO) в 1973 г. выпустила Пособие по определению PMP. В 1986 г. вышла вторая редакция этого документа [3], сопровождавшегося целым рядом условностей и допущений, что в сочетании с

неопределенностью факторов подстилающей поверхности делает гидрологический расчет недостаточно надежным.

Расчет стока по осадкам является не менее трудной задачей. Однако в практике расчета наибольшего расхода воды и гидрографа РМФ была заложена простая схема и её решение [20,21,22]. Современные и научно обоснованные методики для расчета гидрологического режима по принципу «осадки-сток» используют 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, РМФ можно интерпретировать как метод оценки предельного потенциала паводкообразования, представляющий реальный верхний предел максимального расхода воды, который может иметь место на конкретной водосборной площади с изученными метеорологическими и гидрологическими условиями

Вероятный максимальный паводок определяется путем анализа соотношения дождевых, а иногда и снеговых, осадков и стока, результаты его расчета содержат в себе все погрешности, характерные для этих методов [23]. Однако при конкретном анализе основным является распределение осадков в пространстве и во времени, потерь и затрат воды, а также динамика стока в пределах водосборного бассейна, ориентированное на получение наибольшего пикового расхода паводка.

Процедура расчета РМФ, получившая наибольшее распространение для оценки максимальных расходов **катастрофических дождевых паводков** и применяемая при проектировании ответственных гидротехнических сооружений в США, Западной Европе, Японии и других странах, состоит в следующем [21, 22]. По величинам возможных максимальных осадков, 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).

При определении максимального вероятного (предельного) значения расхода воды в качестве исходной информации принимается предельный слой или интенсивность стокоформирующих осадков.

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

Принимается, что продолжительность РМФ равна продолжительности выпадения РМР.

Можно полагать, что продолжительные ливни с интенсивностью РМР, формируют объем осадков, способных 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. К таким РМР можно отнести ливни продолжительностью до 6 часов, покрывающие территорию до 1300 км<sup>2</sup>.

При исследовании больших водохранилищ, способных существенно срезать пик паводка, необходимо рассматривать РМР, сформированные вероятными максимальными осадками продолжительностью 72 часа и более.

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 параметра осадков РМР, способных дать вероятный максимальный паводок на рассматриваемой территории в заданный сезон, выполняются три основные операции:

- максимизация содержания в воздухе водяного пара;
- транспозиция;
- определение предельного значения.

Максимизация влагонасыщенности воздушных масс искомого ливня может быть выполнена с использованием выражения:

$$P_a = P_o = \frac{W_{p(\text{макс})}}{W_{p(\text{норм})}},$$

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

$P_o$  – максимальные наблюдаемые осадки;

$W_p$  – максимально возможное количество осадков и ливень, соответствующий наблюдаемому значению  $W_p$ .

Транспозиция осадков (ливня) состоит в превращении осадков в точке в равномерные осадки в регионе.

Оценка предельного значения (оггибающей) ливней состоит в выборе наибольшего ливня в расчетном ряду. Этот этап необходим, поскольку далеко не для каждого бассейна имеются сведения о нужных метеорологических данных. При отсутствии таковых следует выполнить специальные исследования для рассматриваемого бассейна.

По определению вероятность превышения РМР стремится к нулю, поскольку вероятные максимальные осадки сформированы в предельно возможных физических условиях образования осадков.

Гидрограф РМР, т.е. превращение вероятных максимальных осадков в паводок реальной формы и продолжительности может быть построен (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 [22].

Дополнительных исследований требуют такие вопросы как изменение слоя твердых (снег) и жидких осадков с высотой местности. Так, в некоторых публикациях

гидрологов США указывается, что при высотах водосбора (или его части) более 1500 м слой осадков уменьшается на 10% при повышении на каждые 300 м.

Как показал ряд сравнений [24], рассчитанные по методу PMF расходы воды могут значительно отличаться от величин, полученных путем экстраполяции статистических распределений.

Приведем (табл.1) некоторые критические оценки вероятностных методов расчета максимальных расходов воды и метода оценки PMF, известные из литературы, и высказывания оппонентов этих методов.

Таблица 1

Вероятностные методы расчета	Метод вероятного максимального паводка (PMF)
<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 (PMP), лежащего в основе расчета PMF 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 PMP 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 PMP, т.е. о редукации максимального слоя осадков по площади. В то же время известно, что рассчитанная для одного и же пункта величина PMF с годами растет по мере увеличения ряда наблюдений за осадками, включающими выдающиеся штормы, учет которых приводит к увеличению PMP.</p>
<p>Ни одно распределения вероятностей пиковых расходов воды паводков не имеет физического обоснования.</p>	<p>При пересчете PMP с учетом новых данных, подчас выясняется, что вероятность превышения расчётного паводка (PMF), считавшаяся близкой к нулю, составляет 0,1% и более.</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 PMP, даже по мнению их авторов, имеют ограниченное применение, в некоторых работах называется предельная площадь бассейна 50 тыс.км<sup>2</sup>. Однако имеются примеры расчета PMP с максимизацией осадков на территориях в сотни тысяч квадратных километров.</p>

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

Так анализ, приведенный в [27], данных о 90 плотинах - гравитационных, арочных, каменно-набросных, насыпных, каменно-набросных с бетонным экраном и плотин из укатанного бетона – имеющих высоту от 50 м до 300 м, построенных с середины 1960-х годов до середины 1990-х гг., показал, что 70 % водосбросов земляных насыпных плотин и даже 50% водосбросов бетонных плотин запроектированы с учётом Вероятного максимального паводка (PMF).

## 2. Применение методики PMF при строительном проектировании в РФ.

Появившаяся в СНиП 33-01-2003 [1] не очень четкая запись, рекомендующая, в качестве расхода поверочного расчетного случая принимать, **для районов активной циклонической деятельности**, расход воды, определенный по методике вероятного максимального паводка (PMF), привела в строительном проектировании к многочисленным проблемам [25]. Когда и как следует определять PMF? Как определять PMF для рек со снеговым питанием, со смешанным ливнево-снеговым или ледниково-снеговым питанием? И многие другие.

Возможные инвесторы объектов гидротехнического строительства в России (международные банки, девелоперские компании и др.)могут предъявлять требования проверки проектируемых сооружений на пропуск PMF. Такие требования также предъявляются к проектам ГЭС за рубежом, составляемым российскими проектными институтами.

В России, несмотря на наличие в СНиП и проектах технических регламентов рекомендации проверять сооружения первого класса на пропуск PMF, методика расчета не разработана [25].

Разработанная в начале двухтысячных годов Программа развития гидроэнергетики до 2020 г. и наметки планов на перспективу 2030 г. предполагают строительство крупных и весьма капиталоемких объектов. Возможные иностранные инвесторы будут настаивать на применении расчета PMF. В этих условиях разработка методики расчета PMF для условий России является актуальной и настоятельно необходимой.

Авторы методики расчета PMF – Корпус инженеров армии США - разработали процедуру определения этого паводка для рек с преимущественно дождевым питанием. Именно применительно к такому типу питания разработана и методика определения PMF – вероятных максимальных осадков [16,17].

Некоторые важные замечания по поводу использования метода вероятного максимального паводка (PMF).

Многочисленные неопределенности и необходимость прибегать к некоторым гипотезам делают метод PMF несколько субъективным. Так считается, что два самых опытных синоптика на основании одних и тех же данных метеорологических наблюдений

дадут два существенно различающихся варианта вероятного максимального ливня, на основе которого определяется и сам РМФ. Несмотря на это, в некоторых ситуациях и регионах мира этот метод может быть признан эффективным. Например, когда отсутствует достаточно продолжительный ряд измеренных максимальных расходов воды. Предпочтение этому методу отдается еще и потому, что доступные плювиометрические ряды иногда длиннее, чем гидрометрические.

Метод РМФ предполагает существование 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 ( $P=0,1-0,01\%$ ).

В российской гидрологической науке и практике традиционно сохраняется негативное отношение к возможности определения РМФ как предельного значения максимального расхода воды и объема паводка и применению его в практике строительного проектирования.

Принято считать, что 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  $1000 \text{ м}^3/\text{с}$  и невозможен  $1001 \text{ м}^3/\text{с}$ . Во всяком случае, физически верхний предел расхода много выше сколь угодно больших практически мыслимых величин. Необходимо оговориться, что имеется в виду **именно физический предел расхода воды**, превышение которого невозможно потому, что земной шар и тем более речной бассейн имеют конечные размеры, ограничивающие размах любых геофизических процессов. Максимум стока, который соответствовал бы, например, совпадению наибольших зарегистрированных наблюдениями осадков с наибольшей интенсивностью их стекания, есть величина статистическая и не может рассматриваться как физический предел. В будущем могут выпасть еще большие осадки, и интенсивность стекания может превзойти ранее наблюдаемую.

Анализ зарубежных подходов и нормативов для выбора вероятности превышения (обеспеченности) параметров проектных паводков показывает, что в большинстве стран ориентируются на пропуск вероятного максимального паводка (РМФ) **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 ICOLD, известные подходы к выбору расчетных паводков или вероятности превышения 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 0,2-0,1% вероятности превышения, поверочный паводок назначается также на основании экономической оценки риска или некоторой доли РМФ или 0,1-0,02%.

В ряде стран в последние десятилетия предпочитают определение значения вероятного максимального паводка (РМФ) по метеорологическим данным с переходом от

него к так называемому стандартному паводку (40-60% от РМФ). Гидроузлы, для которых в нижнем бьефе можно ожидать незначительные ущербы при прорыве, рассчитываются на пропуск максимального расхода воды, равного 0,8, 0,7, 0,5 и менее от  $Q_{\text{РМФ}}$ .

По мнению южноафриканских гидрологов и гидротехников, **РМФ – метод для богатых стран**. Тем не менее, этот метод, с некоторыми отступлениями, применяется в десятках стран.

В Норвегии, например, принят двойной критерий для расчета проектного паводка: для водосбросных сооружений плотины в качестве такого принимается приточный паводок с вероятностью превышения 0,1%, кроме того, устойчивость плотины рассчитывается для уровня воды в верхнем бьефе при пропуске РМФ.

По имеющимся у авторов сведениям, по нормам, принятым в Китае, гидроузлы с **бетонными** или из каменной кладки плотинами могут проверяться на пропуск паводка несколько ниже РМФ (например, 0,8РМФ).

Расчет и применение РМФ для водосбросов гидроузлов с бетонной плотиной, способной противостоять переливу через гребень, представляется чрезмерно консервативным проектным решением.

В [26] справедливо указывается, что достижения гидрологической науки, начиная с конца 80-х и начала 90-х гг. прошлого столетия, представляют 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, и делают доступным переход к оценке величины максимальных расходов воды и опасности возникновения катастрофических наводнений с позиций общего исследования поведения динамических систем в критических ситуациях. Инструментом такого исследования могут служить детальные физико-математические модели гидрологических систем. В настоящее время накоплен опыт по разработке таких моделей. К числу физико-математических моделей, опробованных на многих реальных водосборах и применявшихся для решения практических задач, в частности, относится система моделей формирования стока, разработанная в лаборатории гидрологического цикла Института водных проблем РАН (ИВП РАН) [9,10]. На основе этой системы моделей в лаборатории в течение ряда лет проводились исследования, имеющие целью совершенствование методики оценки опасности формирования и размеров катастрофических наводнений [26]. Основные трудности, возникающие при математическом моделировании, связаны с неадекватностью использования некоторых общепринятых возможностей математического аппарата [11].

В настоящее время создано несколько более сложных детерминированных математических моделей формирования стока с распределенными входом и параметрами.

Наиболее продвинутыми математическими моделями, на наш взгляд, являются модели, разработанные Ю.Б. Виноградовым в Государственном Гидрологическом Институте [11]. Однако методы физико-математического и математического моделирования, сущность и разнообразие приемов которого подробно описано в [11,12], пока не нашли практического применения при проектировании гидротехнических сооружений, особенно, на больших водосборах. Некоторый ограниченный опыт применения моделей Ю.Б. Виноградова на базе моделирующей системы «Гидрограф-2001» имеется для оценки РМФ р.Кванза в Анголе при разработке проекта гидроузла Капанда [5].



Российский опыт применения метода PMF весьма невелик. В связи с отсутствием национальных методических указаний или рекомендаций и требованиями заказчиков проектов определять параметры PMF, Гидропроектом в 1997 – 2002 гг. при проектировании ГЭС Шонла во Вьетнаме ГЭС и Капанда в Анголе была предпринята попытка применения оценки PMF [4,5]. В дальнейшем такие попытки были сделаны в проектах гидроузлов Тери в Индии, Се Конг – в Лаосе, Рогун в Таджикистане, Камбарата в Киргизии, Канкунская ГЭС в Якутии и др.[6]. Следует отметить, что для рек Вьетнама и Анголы применялась методика PMF в чистом виде с определением PMP и моделированием гидрографа максимального вероятного максимального паводка с использованием модели осадки-сток. Для горных рек Таджикистана и Киргизии PMF определялся с использованием зависимостей максимальных расходов воды от температуры воздуха в районе ледников, являющейся интегральной характеристикой неблагоприятных факторов при формировании максимального стока. Для р.Тимптон в Якутии при определении PMF использовалось детерминированное моделирование, разработанное в Государственном Гидрологическом институте [11,12,28,29]. Использование детерминированного моделирования или детерминировано-стохастического моделирования представляется наиболее перспективным методом для оценки PMF.

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

Таблица 2

Река	Гидроузел	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Максимальные расчетные расходы воды, м <sup>3</sup> /с			Отношение $\frac{PMF}{Q_{0.01\%}}$ , $\frac{PMF}{Q_{0.01\%}}$
			PMF	0,01%	0,01%*)	
Да	Шонла (Вьетнам)	43760	60000	39800	477000	$\frac{1,51}{1,26}$
Кванза	Капанда (Ангола)	109000	14000	9160	11000	$\frac{1,53}{1,27}$
Вахш	Рогун (Таджикистан)	30390	7000	5200	5700	$\frac{1,44}{1,23}$
Нарын	Камбарата (Киргизская республика)	46520	5500	4010	4420	$\frac{1,37}{1,24}$
Тимптон	Усть Баралас (РФ, Республика Саха (Якутия)-весеннее половодье	13300	11600	8290	9640	$\frac{1,40}{1,20}$
	То же: летние паводки	13300	15500	13100	15650	$\frac{1,18}{1,00}$
Тимптон	Усть Тимптон (РФ, Республика Саха (Якутия)-весеннее половодье	43700	33500	27600	31620	$\frac{1,21}{1,06}$
	То же: летние паводки	43700	42500	30620	36660	$\frac{1,39}{1,16}$
Инд	Баша (Пакистан)	152000	18500	18000	-	1,03
Субансири	Нижний Субансири (Индия)	34500	37507	27120	-	1,38
Барак	Типамук (Индия)	12758	16964	15233	-	1,11
Алакнанда	Шринагар (Индия)	11110	26400	19200	-	1,38
Гариганга	Мапанг Богудьяр (Индия)	829	3175	4100	-	0,78

\* - с гарантийной поправкой

Как видно из данных табл.2, 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 вычисленных 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.Тимтон в створах Усть Баралас и Усть Тимптон (рис.1, 2), показывает более низкую вероятность превышения, далеко выходящую за пределы наблюдаемых расходов воды и вероятности превышения 0,01%.

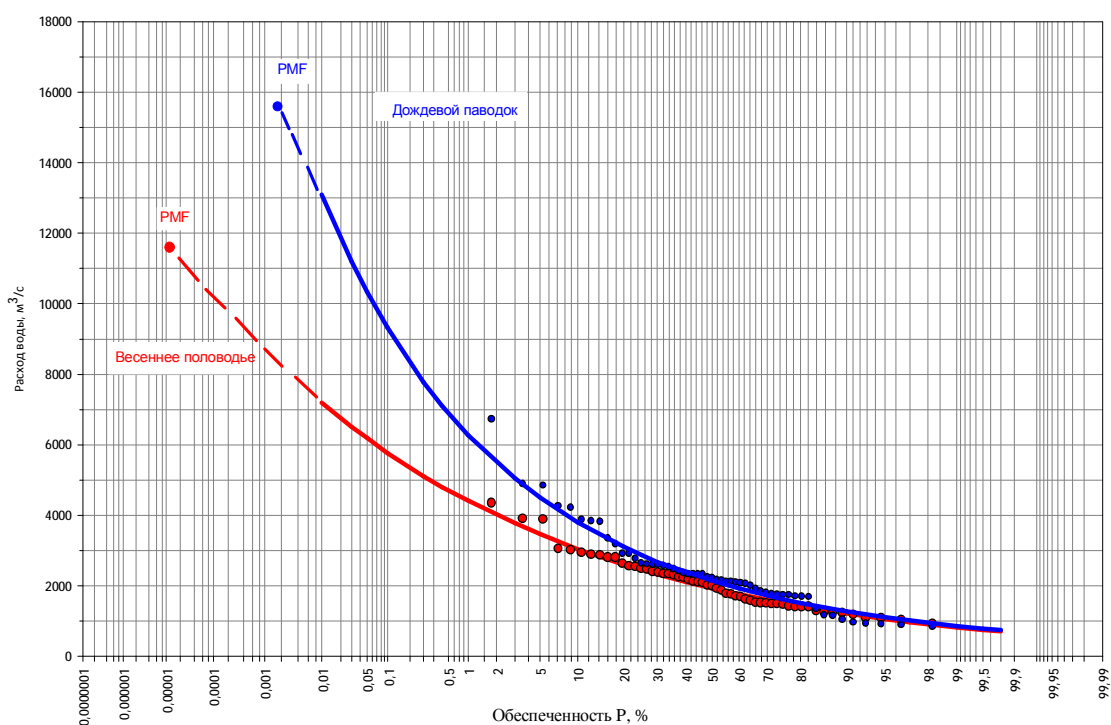


Рисунок 1. Кривые распределения вероятностей превышения максимальных расходов воды р. Тимптон - Усть-Баралас за период весеннего половодья и дождевых паводков и сравнение с величинами РМФ

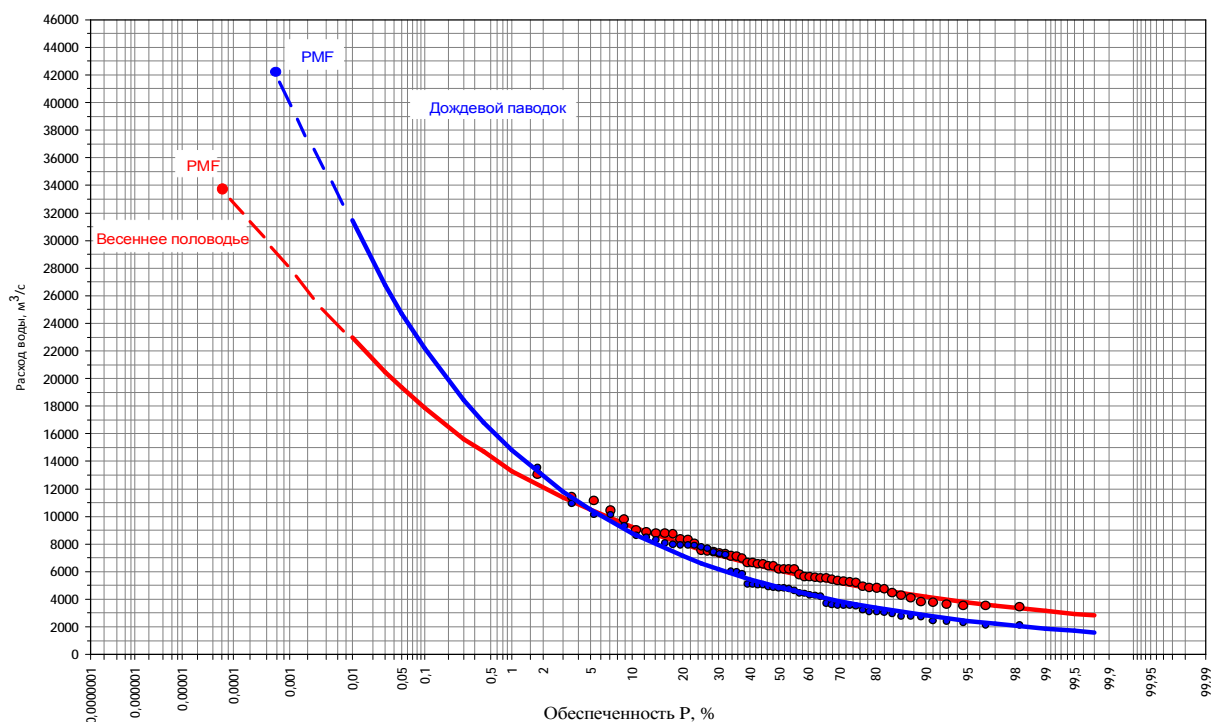


Рисунок 2. Кривые распределения вероятностей превышения максимальных расходов воды р. Тимптон - Усть-Тимптон за период весеннего половодья и дождевых паводков и сравнение с величинами PMF

## 2.1. Возможные последствия перехода к нормированию (обязательному применению) метода PMF.

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

Гидроузлы с незначительными ущербами в нижнем бьефе при прорыве рассчитываются на пропуск максимального расхода воды, равного 0,8, 0,7, 0,5 и менее от  $Q_{PMF}$ .

2. В Российской Федерации, как указывалось ранее, в настоящее время проверка сооружений на пропуск PMF рекомендована (а не жестко нормирована) для гидроузлов первого класса, расположенных в районах активной циклонической деятельности. Поскольку методика расчёта PMF в России не разработана, предполагается возможность использования расчётных приёмов, принятых в США и там обеспеченных данными о максимальных возможных осадках (PMP)-карты с изолиниями максимальных вероятных осадков (PMP) имеются в большей части штатов.

3. Сопоставление максимальных расходов воды, полученных методом PMF, с расчётными значениями максимумов вероятностью превышения 0,01% без гарантийной поправки, повышающей максимальный расход на 10-20% (в зависимости от коэффициента вариации и длины ряда наблюдений), определёнными вероятностными методами, аналогичными рекомендуемым и применяемым в Российской Федерации, показывает, что максимальный расход воды PMF может превышать  $Q_{0,01\%}$  с гарантийной поправкой на 25%-40%. В отдельных случаях эта разность может достигать 100 и более процентов.

4. Применительно к максимумам талого или смешанного (снеготаяние плюс весенние жидкие осадки) происхождения таких сопоставлений нет за исключением данных по Плявиньской ГЭС на р.Даугаве, где латышские гидрологи определили максимальный расход воды РМФ равным 12600 м<sup>3</sup>/с, что практически совпадает с расчётным максимумом вероятностью превышения 0,01% с гарантийной поправкой (12400 м<sup>3</sup>/с), вычисленным традиционным методом.

5. Насколько максимум РМФ талого или смешанного происхождения будет превышать 0,01% с гарантийной поправкой в настоящее время (до разработки методики и выполнения расчётов 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 объём призмы, расположенной выше отметки НПУ, вплоть до отметки гребня. На гидроузлах с поверхностными водосбросами будут иметь место увеличение их пропускной способности при повышении уровня воды сверх НПУ и большей (до несколько метров) глубине на водосливном пороге.

Такие контрольные расчёты, применительно к гидрографам половодного притока вероятностью превышения 0,01% с гарантийной поправкой, увеличенным в 1,25 или 1,4 раза, могут быть выполнены в ближайшее время.

6. При выполнении любых поверочных расчётов по оценке соответствия пропускной способности существующих гидроузлов современным параметрам максимального стока, будь то  $Q_{0,01\%}$  или  $Q_{PMF}$ , результаты будут существенно зависеть от учёта или не учёта пропускной способности турбин ГЭС. При предположении, что в пропуске экстремально высокого паводка или половодья все турбины ГЭС по каким-то причинам не могут участвовать (что по нашему мнению неправомерно), пропускная способность существующих водосбросов значительной части гидроузлов с ГЭС окажется недостаточной.

7. Стоимость строительных работ по созданию дополнительных водосбросов, заменяющих не учитываемые в расчётах турбины, должна быть определена при их проектировании. По ориентировочной оценке она может составить сотни миллионов или миллиарды рублей. Это затраты окажутся ещё выше при переходе к расчётам на пропуск РМФ.

### 2.3. Программа разработки методики расчета РМФ для России

Первым этапом разработки национальной методики расчета вероятного максимального паводка (РМФ) должно быть специальное исследование [25], включающее:

- исторический обзор выдающихся максимальных расходов воды и связанных с ними речных наводнений за последние 100 лет в СССР и России;
- побассейновый анализ катастрофических паводков и вызванных ими наводнений и их причин в последние десятилетия;
- выявления наиболее опасных регионов, речных бассейнов и участков рек, подверженных угрозе формирования выдающихся паводков и возникновения наводнений.
- подготовка карты зон с активной циклонической деятельностью на территории РФ.

После выполнения первого этапа должны быть выполнены следующие работы и исследования:

1. Аналитический обзор и анализ подходов и расчетных приемов определения параметров РМФ, применяющихся в странах с природными условиями, аналогичными российским.

1.1. Поиск и получение (приобретение) публикаций и проектных и научных проработок по расчету параметров РМФ в Латвии, Норвегии, Швеции и Канаде.

1.2. Перевод материалов на русский язык.

1.3. Оценка корректности расчетных приемов и возможности их применения в российских регионах (речных бассейнах).

1.4. Включение обоснованных и эффективных расчетных приемов в проект Методических указаний.

2. Выделение регионов и речных бассейнов, требующих специальной версии Методических указаний. Разработка методики и подготовка первой редакции этой версии.

2.1. Классификация признаков гидрометеорологической однородности регионов России. Группирование речных бассейнов, относящихся к гидрометеорологически однородным регионам.

2.2. Составление методики расчета параметров РМФ для регионов (речных бассейнов) с чисто снеговым происхождением речных половодий.

2.3. Составление методики расчета параметров РМФ для регионов с преимущественно дождевым происхождением паводков.

2.4. Составление методики расчета параметров РМФ для регионов со смешанным происхождением высокого стока.

3. Подготовка первой редакции методических указаний и передача её на рассмотрение независимых экспертов.

Одновременно с разработкой национальной методики расчета вероятного максимального паводка представляется необходимым приступить к разработке программы проверки гидрологической безопасности плотин в РФ с высотой более 15 м (известно, что аналогичная работа выполнена корпусом инженеров армии США и также проводится в Норвегии, Швеции, Франции, Австралии и ряде других стран).

Для России в настоящее время в общей программе безопасности гидротехнических сооружений к числу важнейших задач относятся: выявление недостаточности водопропускных сооружений действующих (особенно построенных 30 и более лет назад) гидроузлов и выработка соответствующих мероприятий.

#### Литература

- [1]. Гидротехнические сооружения. Основные положения. СНиП 33-01-2003. Издание официальное. Государственный комитет Российской Федерации по жилищной и строительной политике (ГОССТРОЙ России). Москва, 2004.
- [2]. Определение основных расчётных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. М., 2004.
- [3]. Manual for estimation of probable maximum precipitation. Operational Hydrology. Report № 1. World Meteorological Organization. 1986. № 332.

- [4]. 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. Выпуск 159. АО «Институт Гидропроект». М.,2000
- [5]. Жиркевич А.Н. Особенности расчета максимальных расходов воды при проектировании гидроузлов на реках Вьетнама и Анголы VI Всероссийский гидрологический съезд. Тезисы докладов Санкт-Петербург. Гидрометеиздат.2004
- [6]. Асарин А.Е., Жиркевич А.Н. Проблемы гидрологической безопасности существующих и проектируемых гидроузлов. Первая научно-техническая конференция. Новые разработки и технологии. Санкт-Петербург .2005
- [7]. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Об основных положениях методики расчета максимального стока. Труды ГГИ, вып.162. Л., 1969.
- [8]. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком. Изд-во «Наука» М.1981
- [9]. Кучмент Л.С., Демидов В.Н., Мотовилов Ю.Г. Формирование речного стока.-М.:Наука, 1983.
- [10]. Кучмент Л.С.,Гельфан А.Н. Динамико-стохастические модели речного стока.М.Наука. 1993
- [11]. Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока.- Л.:Гидрометеиздат, 1988.
- [12]. Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Современные проблемы гидрологии Издательский центр «Академия» М.2008
- [13]. Abbot M.B., Bathurst J.C., Cunge J.A., O'Connel P.E., Rasmussen J. An introduction to the European hydrological system – *Système Hydrologique Europeen*, "SHE", 1: History and philosophy of a physically-based, distributed modelling system. *Journal of Hydrology*, 1986, 87, №1-2, 45-49
- [14]. Abbot M.B., Bathurst J.C., Cunge J.A., O'Connel P.E., Rasmussen J. An introduction to the European hydrological system – *Système Hydrologique Europeen*, "SHE", 1: Structure of a physically-based, distributed modelling system. *Journal of Hydrology*, 1986, 87, №1-2, 61-77
- [15]. Hershfield.D.M. Estimating the Probable Maximum Precipitation. *Proceedings American Society of Civil Engineers, Journal Hydraulics Division*, Vol.87, 1961, pp.99-106
- [16]. World Meteorological Organization:, *Estimation of Maximum Floods, Technical Note No.98, Estimation of Maximum Floods* , WMO, Geneva (1969)
- [17]. World Meteorological Organization: "*Operational Hydrology Report No.1, Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation, Second Edition, WMO No.332*" (1969).
- [18]. Федеральные указания по безопасности плотин, США, 1972.
- [19]. [USA, Federal Energy Regulatory Commission Office of Hydropower Licensing, October 1993].
- [20]. United States Army Corps of Engineers,1959. *Flood Hydrograph analyses and Computations (eng. Manual)*, U.S.Army, Washington,D.C.
- [21]. *Hydrologic Engineering Methods for Water Resources development*, Volume 3, Hydrologic Frequency analysis. The hydrological engineering center Corps of engineers US Army (1975).
- [22]. Hydrologic Engineering Center. *Flood Hydrograph Package, User's Manual*, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, California (1988).
- [23]. Кучмент Л.С., Милюкова И.П. К вычислению максимально возможных расходов дождевых паводков. Ж."Водные ресурсы", № 2, 1987.
- [24]. Международный симпозиум по паводкам и их расчетам. Л.: Гидрометеиздат, 1969.
- [25] Жиркевич А.Н., Асарин А.Е. Вероятный максимальный паводок (PMF) Основные сведения и проблемы применения методики его расчета в России. Ж.»Гидротехническое строительство» № 2010 г.
- [26]. Природные опасности России. РАН, МЧС. Изд.фирма «Круг». М.2011
- [27] Fahlbusch, F., Сброс проектных паводков и прочность плотин, Издание 4, 1999
- [28]Lebedeva L.S., Semenova O.M. (2012) Permafrost active layer depth as the main factor controlling runoff generation within the upper Kolyma river basin: process analysis and modelling. *Polar science*.
- [29]Semenova O.M., Vinogradova T.A. (2009) 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,September 2009). IAHS Publ. 333, 2009, 11-19. [http://iahs.info/redbooks/a333/iahs\\_333\\_0011.pdf](http://iahs.info/redbooks/a333/iahs_333_0011.pdf)