

Г.Х. ИСМАЙЛОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация»

З.К. ИОФИН

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Вологодский государственный технический университет, г. Вологда, Российская Федерация»

В.Е. ПУТЫРСКИЙ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация»

НЕСОГЛАСОВАННОСТЬ ЗНАЧЕНИЙ НОРМАТИВНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ РАСХОДОВ И УРОВНЕЙ ВОДЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Рассмотрен метод оценки влекомых наносов в руслах рек. Для этой цели использована теория линейно-корреляционной модели, впервые примененная для оценки составляющих уравнения водного баланса. В настоящей работе модель используется применительно к вопросам баланса наносов. Выполнена попытка исследования объективности принятия одинаковой обеспеченности расчетных расходов и уровней воды при проектировании гидротехнических сооружений на реках. В статье выполнена лишь попытка заострить внимание специалистов на эту проблему. В результате выполненного исследования показано, что обеспеченности расходов и уровней воды, как правило, не совпадают, что может приводить к нарушению безопасности работы сооружения, или завышению капиталовложений при строительстве..

Сток наносов, взвешенные наносы, влекомые наносы, количественная оценка влекомых наносов, баланс наносов, линейно-корреляционная модель, кривая зависимости $Q = f(H)$, обеспеченность гидрологической величины, несоответствие обеспеченностей расходов и уровней воды.

Введение. Проектирование сооружений на реках опирается на выбор расчетной обеспеченности расходов воды. Этот выбор призван обеспечивать безаварийную работу гидротехнического сооружения на реках при эксплуатации плотин, мостов, ГЭС и других сооружений. Согласно нормативным документам по проектированию гидротехнических сооружений [1] ежегодная вероятность превышения расчетных расходов воды принимается во внимание в зависимости от класса и рода сооружения, от класса их капитальности и условий эксплуатации. Что же касается значений обеспеченности расчетных уровней воды, то ни в одном нормативном документе не указывается эта величина. Если следовать рекомендациям СП 33-101-2003 [2], то расчетные уровни воды при отсутствии наблюдений определяются по кривой $Q = f(H)$ по расходу воды определенной обеспеченности $Q_{p\%}$. Вероятно, поэтому обеспеченность расчетного уровня воды принимается такой же, как и обеспеченность расчетного расхода воды. Других вариантов принятия расчетной обеспечен-

ности расчетных уровней воды не встречается.

Постулат о правильности допущения одинаковой обеспеченности для значений расходов и уровней воды принят на практике априори и подлежит проверке. Исследований такого рода авторами статьи не обнаружено в гидрологической и гидротехнической литературе. Как представляется, упомянутая проверка требует изучения указанного постулата и его доказательства при назначении нормативной обеспеченности значений расходов и уровней воды в реках при проектировании гидротехнических сооружений.

Материалы и методы исследования. Экспериментальная оценка совпадения или несовпадения обеспеченностей расходов и уровней воды выполнена по 32 водомерным постам, расположенным на Северо-Западе России, на территории Вологодской области. Кривые зависимости $Q = f(H)$ по возможности подобраны для лет различной водности по каждому из принятых водомерных постов.

Предварительно выполнены расчеты по статистической обработке временных рядов уровней и расходов воды. Статистическая обработка выполнена по методу наибольшего правдоподобия. В качестве кривой распределения использовано трехпараметрическое гамма-распределение [3]. По кривым обеспеченности получены значения расходов воды различной обеспеченности $Q_{p\%}$. Используя $Q_{p\%}$, по кривым зависимости $Q = f(H)$, установлены уровни воды $H_{p\%}$ на исследуемых водомерных постах, соответствующие $Q_{p\%}$, как это рекомендуют нормативные документы. И, наконец, по кривым обеспеченности уровней воды установлена обеспеченность максимальных уровней воды $H_{p\%}$, полученных по кривой $Q = f(H)$ и максимальным расходам воды различной обеспеченности $Q_{p\%}$.

Не вникая в детали последовательности установления обеспеченности уровней воды, обратимся к подробностям формирования обеспеченностей расходов и уровней воды. В данном разборе речь будет идти о максимальных значениях расходов и уровней воды. Что касается минимальных, или среднегодовых значений, то обсуждение этого вопроса будет иметь аналогичный характер.

Благодаря расширению русла с увеличением глубины увеличивается расход воды за счет увеличения площади поперечного сечения, вызывая уменьшение амплитуды изменения уровней воды. Отсюда диспропорция в изменении величин расходов и уровней воды и статистические параметры временных рядов расходов и уровней воды будут иметь разные амплитуды. Это означает, что статистические параметры временных рядов, включая обеспеченность величин расходов и уровней воды, также будут различными.

Как представляется, равенство обеспеченностей расходов воды и уровней возможно при прямолинейной зависимости между ними, а не криволинейной. Причем прямолинейная зависимость $Q = f(H)$ должна располагаться под углом 45° к оси абсцисс. Тогда скорость приращения уровней воды будет соответствовать скорости приращения расходов воды и будет постоянной по всей амплитуде. Постоянство приращения расходов и уровней воды по всей амплитуде является залогом равенства вероятностей превышения рассматриваемых характеристик. Прямолинейная зависимость $Q = f(H)$ редко

встречается в естественных руслах. Поэтому обратим внимание на преобладающую в гидрометрической практике криволинейную зависимость $Q = f(H)$ и рассмотрим, какова обеспеченность расходов и уровней воды, составляющих эту кривую.

В таблице выполнено сравнение обеспеченностей расходов и уровней воды для некоторых водомерных постов.

Результаты исследований. Как следует из результатов сравнения обеспеченностей расходов воды и уровней, помещенных в таблице, действительно имеет место несоответствие обеспеченностей в максимальных расходах и уровнях воды. При анализе данных таблицы выявилось два случая:

1. обеспеченность расходов воды меньше обеспеченности уровней воды: $P_Q < P_H$;

2. обеспеченности расходов воды больше обеспеченностей уровней воды: $P_Q > P_H$;

Рассмотрим первый случай. Предположим, что нормативная обеспеченность расчетного расхода воды равна $P_Q = 1\%$. Тогда обеспеченность расчетного уровня воды априори будет $P_H > 1\%$, (например, $5\%, 7\%$ и более). Это означает, что по сравнению с нормативной обеспеченностью $P_H = 1\%$ естественные уровни воды будут ниже нормативных, установленных по расходу. Отсюда следует, что в этом случае будет создан запас прочности сооружения, т.к. для проектирования сооружения будет принята нормативная, т.е. меньшая, обеспеченность по расходу воды. Однако в этом случае будут иметь место завышенные объемы работ в строительстве и, соответственно, в капиталовложениях.

Рассмотрим второй случай, когда $P_Q > P_H$, или $P_H < P_Q$. Если нормативная обеспеченность расхода воды $P_Q = 1\%$, то в этом случае $P_H < 1\%$, (например, $0,5\%$). Такое положение будет означать, во-первых, что по сравнению с нормативной обеспеченностью, например, $P_H = 1\%$, уровни воды должны быть выше. При данных обстоятельствах гидротехническое сооружение будет подвергнуто риску аварийной ситуации, особенно при быстро изменяющихся условиях прохождения половодий и паводков, поскольку нормативная обеспеченность уровней воды будет меньше обеспеченности при естественных условиях. В этом случае уровни воды будут выше уровня, например, $P_H = 1\%$, и сооружение может находиться в состоянии существенного напряжения, а возможно и разрушения.

В связи с изложенным встает вопрос о том, почему до сих пор, если опираться на публикации, не происходят разрушения, или происходит минимум разрушений сооружений, или нарушений в режиме работы, если уровни воды не соответствуют нормативной и естественной обеспеченности.

Вполне возможно, что вариантов с превышением обеспеченности естественных уровней воды над нормативными (такими же, как обеспеченность расходов воды) $P_H < P_Q$ немного.

При растянутых, не очень интенсивных половодьях и паводках часто режим работы сооружения может быть предварительно отрегулирован для пропуска больших объемов воды за счет, например, опорожнения водохранилища. Эти и другие ме-

роприятия позволяют избежать нарушения режима эксплуатации сооружения. Однако бывают случаи, когда скорость наступления наводнения повышается так быстро, что сделать что-либо для пропуска объемов воды не представляется возможным. Так произошло на р. Каква в Серовском районе Свердловской области в июне 1993 года, где произошел прорыв плотины длиной 2 км и высотой 17 м при быстром наступлении дождевого паводка. Не исключено, что в этом случае неверно была установлена нормативная обеспеченность уровня воды, принятая такой же, как и нормативная обеспеченность расхода воды, т.е. естественный уровень воды оказался в данном случае выше нормативного из-за ошибочно принятой нормативной обеспеченности уровня воды.

Таблица

Сравнение обеспеченностей расходов и уровней воды на водомерных постах

№	Река-пункт	Характеристика исследуемой величины	Обеспеченность исследуемых величин							Cv	Cs	Cs/Cv	
			1%	5%	10%	25%	50%	75%	95%				99%
1	р. Вожега-д, Назаровская, 1956-1990	Значения Q по кривой обеспеченности	513	415	369	301	238	186	127	96	0,35	0,99	2,8
		Значения H по кривой обеспеченности	581	546	501	465	414	329	285	254	0,18	0,97	5,4
		Значения H по Q = f(H)					365	324	268	234			
		Обеспеченность H по кривой обеспеченности, H получен по Q = f(H)	Недостаточно кривой Q = f(H)				68%	78%	97%	100%			
2	р. Кодина-д, Кодино 1957-1988	Q по кривой обесп,	367	291	257	207	162	125	85,3	64,5	0,38	1	2,6
		H по кривой обесп,	650	600	570	518	454	384	276	201	0,22	-0,3	-1,4
		Значения H по Q = f(H)				588	490	410	323	278			
		Обеспеченность H по кривой обеспеченности, H получен по Q = f(H)	Недостаточно кривой Q = f(H)				7%	38%	62%	88%	95%		
3	р. Тихманьга-д, Прокино 1951-1988	Q по кривой обесп,	221	161	137	108	83,8	66,7	49,7	41,2	0,41	2,07	5,0
		H по кривой обесп,	248	238	215	201	182	154	141		0,14	0,45	3,2
		Значения H по Q = f(H)				172	161	151	138				
		Обеспеченность H по кривой обеспеченности, H получен по Q = f(H)	Недостаточно кривой Q = f(H)				58%	69%	78%	97%			
4	р. Лекшма-д, Лядины, 1961-1988	Q по кривой обесп,	29,2	23,3	20,8	17,3	14,2	11,8	9,11	7,69	0,30	1,23	4,1
		H по кривой обесп,	205	193	187	176	165	155	140	130	0,10	0,18	1,8
		Значения H по Q = f(H)			173	163	152	142	127				
		Обеспеченность H по кривой обеспеченности, H получен по Q = f(H)	Недостаточно кривой Q = f(H)				32%	40%	77%	96%	100%		

№	Река-пункт	Характеристика исследуемой величины	Обеспеченность исследуемых величин							Cv	Cs	Cs/ Cv	
			1%	5%	10%	25%	50%	75%	95%				99%
5	р. Ковжа-д. Шулепово, 1953-1986	Q по кривой обесп,	227	176	154	125	100	81,1	61,1	50,6	0,34	1,43	4,2
		H по кривой обесп,	349	335	326	308	283	250	190	145	0,16	-0,86	-5,4
		Значения H по Q = f(H)			336	312	287	262	230	208			
		Обеспеченность H по кривой обеспеченности, H получен по Q = f(H)	Недостаточно кривой Q = f(H)							5%	20%	42%	68%
6	р. Сухо-на-г. Тотьма, 1933-1990	Q по кривой обесп,	3117	2620	2393	2064	1759	1506	1214	1049	0,21	0,18	0,9
		H по кривой обесп,	788	762	726	693	639	522	440		0,19	0,09	0,6
		Значения H по Q = f(H)		729	681	609	540	481	409				
		Обеспеченность H по кривой обеспеченности, H получен по Q = f(H)		6%	30%	54%	72%	79%	96%				
7	р. Ема-д. Новое, 1946-1990	Q по кривой обесп,	64,6	57,2	53,2	46,1	38	29,8	18,6	11,9	0,33	0,02	0,06
		H по кривой обесп,	299	295	289	282	270	233	208	196	0,12	0,25	2,1
		Значения H по Q = f(H)				256	248	229	186				
		Обеспеченность H по кривой обеспеченности, H получен по Q = f(H)	Недостаточно кривой Q = f(H)			62%	72%	88%	100%				
12	р.Юг-с. Кич Городок, 1957-1983	Q по кривой обесп,	2463	1744	1466	1114	838	643	452	360	0,39	1,57	4,0
		H по кривой обесп,	833	800	751	708	637	484	382	326	0,2	0,14	0,7
		H по Q = f(H)					750	630	515	400			
		Обеспеченность H по кривой обеспеченности, H получен по Q = f(H)	Недостаточно кривой Q = f(H)				10%	50%	65%	90%			

Примечание: Расходы воды выражены в м³/с, уровни воды – в см над нулем графика.

Вполне возможно, что пока еще не наступила нормативная обеспеченность на сооружениях, запроектированных и построенных в советское и постсоветское время, имея в виду случай, когда $P_Q > P_H$. Хотя наводнения на Кубани в июле 2013 году и в июле-августе 2013 года на Амуре проявились в полной мере. В любом случае принятие обеспеченности уровней воды такой же, как и расходов воды, может в отдельных случаях ($P_Q > P_H$) привести заведомо к нарушению режима работы гидросооружений и безопасности сооружений на реках.

Обсуждение исследования. Таким образом, необходимо принять к сведению, что при проектировании гидротехнических сооружений и конструкций в руслах рек, обеспеченность уровней воды не всегда совпадает с обеспеченностью расходов воды. Исследование в этой области предстоит вы-

полнить в последующем. Здесь отметим следующие совпадения.

Чем меньше угол наклона кривой $Q = f(H)$ к оси абсцисс, тем быстрее происходит выполаживание верхней части кривой, тем большее различие создается в значениях обеспеченности расходов и уровней воды. Как представляется, в этом случае следует ожидать соотношения $P_Q < P_H$. Ведь большой участок выполаживающей части кривой $Q = f(H)$ приводит к заметному изменению расходов воды, но очень незначительному изменению уровней. В этом случае будем иметь завышенные объемы капиталовложений из-за превышения естественных уровней воды над нормативными.

При $P_Q > P_H$ незначительному изменению на кривой $Q = f(H)$ расходов воды (ось абсцисс) будет соответствовать существенное изменение уровней воды. Кри-

вая $Q = f(H)$ будет иметь большой угол между кривой и осью абсцисс. При таких условиях необходимо иметь в виду, что гидротехническое сооружение будет подвержено риску аварийной ситуации. Этот риск связан с превышением естественного уровня над нормативным.

Различие в кривых $Q = f(H)$ при различной водности рек как раз и состоит в том, что либо сокращается, либо увеличивается диапазон выполаживающей части. Отсюда будут различия в обеспеченности расходов и уровней воды.

При большом угле наклона кривой $Q = f(H)$ как раз и происходит сокращение выполаживающей части и, соответственно, значимое различие между обеспеченностями расходов и уровней воды может охватывать весь участок кривой $Q = f(H)$.

Но сказанное не означает, что до выполаживания кривой $Q = f(H)$ нет различия в значениях обеспеченности расходов и уровней воды. Здесь также имеет значение наклон $Q = f(H)$ к оси абсцисс.

Выводы

В данной работе выполнен только первый, пробный шаг в исследовании значений обеспеченностей расходов и уровней воды при работе гидротехнических сооружений на реках. Полученные результаты показывают, что может иметь место существенное различие в значениях обеспеченностей расходов и уровней воды. Это обстоятельство необходимо учитывать при проектировании гидротехнических сооружений. Между тем, при определенных характеристиках формы русла, возможно как превышение обеспеченности расходов воды над уровнями, так и наоборот.

Представленное замечание по поводу обеспеченностей расходов воды и уровней воды рек желательно исследовать на более обширном материале как по количеству привлекаемых пунктов наблюдений, так и привлекаемых регионов. Кроме этого, требуется разработка нормативов для принятия обеспеченностей расходов и уровней воды, такой важной характеристики долговременного существования гидротехнических сооружений.

Заключение

Итак, в пределах всей амплитуды изменения расходов и уровней воды,

в форме и амплитуде изменения кривой $Q = f(H)$ априори заложено несоответствие значений обеспеченностей. Это несоответствие в одном случае ведет к завышению капиталовложений, в другом – к риску аварийных ситуаций на гидротехническом сооружении.

Представляется, что существует настоятельная необходимость в исследовании и разработке методических положений по назначению обеспеченностей расходов и уровней воды при проектировании гидротехнических сооружений.

Библиографический список

1. СП 33-01-2003 Гидротехнические сооружения. Основные положения. <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293793/4293793668.htm>
2. СП 33-101-2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик. <http://docs.cntd.ru/document/1200035578>
3. Вязалов Л.Х., Иофин З.К., Сотникова Л.Ф. Исследование трехпараметрического гамма-распределения и метода наибольшего правдоподобия оценки параметров данного распределения. / Труды международной научной конференции “Экстремальные гидрологические события: теория, моделирование и прогноз” РАН, 3-6 ноября. – М.: Институт водных проблем, 2003. – С. 16-18.

Материал поступил в редакцию 27.02.2018 г.

Сведения об авторах

Исмайылов Габил Худуш оглы, доктор технических наук, профессор кафедры гидрологии, гидрогеологии и регулирования стока; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, Москва, ул. Прянишникова, д. 19. тел.: +7(963)6332329. e-mail: gabil-1937@mail.ru

Иофин Зиновий Константинович, доктор технических наук, доцент; ВоГУ; 160000, Вологодская область, г. Вологда, ул. Ленина, 15; тел.: +7(8172)725093, доб. 110, e-mail: pirit35@yandex.ru

Путырский Владимир Евгеньевич, доктор географических наук, профессор кафедры «Метеорология и климатология»; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 12, уч. корп. 18., тел.: +7(499)9777355, e-mail: meteo@rgau-msha.ru

G.H. ISMAIYLOV

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MSHA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

Z.K. IOFIN

Federal state budgetary educational institution of higher vocational education «Vologda state technical university», Vologda, Russian Federation

V.E. PUTYRSKY

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MSHA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

MISMATCH OF VALUES OF THE NORMATIVE PROBABILITY OF DISCHARGE AND LEVELS OF WATER WHEN DESIGNING HYDRO TECHNICAL STRUCTURES

There is considered a poorly studied problem – assessment method of tractional sediment in riverbeds. For this purpose there was used a theory of linear-correlation mode applied for the first time for assessing components of the equation of water balance. In this work the model is used with regard to the problem of sediment balance. There was made an attempt to investigate the objectiveness of adoption of equal probability of rated discharges and water levels when designing hydrological structures on rivers. This paper tries to concentrate the attention of specialists to the described problem. As a result of the fulfilled investigation it is shown that probabilities of discharges and levels of water do not coincide as a rule. It may cause security incidents while using the structures or overestimation of investment costs while constructing them.

Sediment flow, suspended sediment, tractional sediment, quantitative assessment of tractional sediment, sediment balance, linear-correlation model, dependence curve $Q=f(H)$, probability of hydrological value, disagreement between probabilities of discharges and water levels, hydraulic structures design.

References

1. SP 33-01-2003 Gidrotehnicheskie sooruzheniya. Osnovnye polozeniya. <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293793/4293793668.htm>
2. SP 33-101-2003 Opređenje osnovnyh raschetnyh gidrologicheskikh harakteristik. <http://docs.cntd.ru/document/1200035578>
3. Vyazalov L.H., Iofin Z.K., Sotnikova L.F. Issledovanie trehparametricheskogo gamma-raspredeleniya i metoda naiboljšhego pravdopodobiya otsenki parametrov dannogo raspredeleniya. / Trudy mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii «Ekstremal'nyye gidrologicheskie sobytiya: teoriya, modelirovanie i prognoz» RAN, 3-6 noyabrya. – M.: Institut vodnyh problem, 2003. – S. 16-18.

The material was received at the editorial office
27.02.2018 g.

Information about the authors

Ismailylov Gabil Hudush ogly, doctor of technical sciences, professor of the chair «Hydrology, hydrogeology and flow regulation»; FSBEI HE RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, ul. Pranishnikova, d.19. tel.: +7(963)6332329. e-mail: gabil-1937@mail.ru.

Iofin Zinovij Konstantinovich, doctor of technical sciences, associate professor; VoGU, 160000, Vologodskaya area, Vologda, ul. Lenina, 15; tel.: +7(8172)725093, ext. 110, e-mail: pirit35@yandex.ru.

Putyrsky Vladimir Yevgenjevich, doctor of geographic sciences, professor of the chair «Meteorology and climatology»; FSBEI HE RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, ul. Pranishnikova, d. 12, cor. 12, uch. cor. 18. tel.: +7(499)9777355 E-mail: meteo@rgau-msha.ru.