

## **Когда приоритетна безопасность нижних бьефов ГЭС**

### **1. Если не нарушается очерёдность возведения гидроузлов в каскаде**

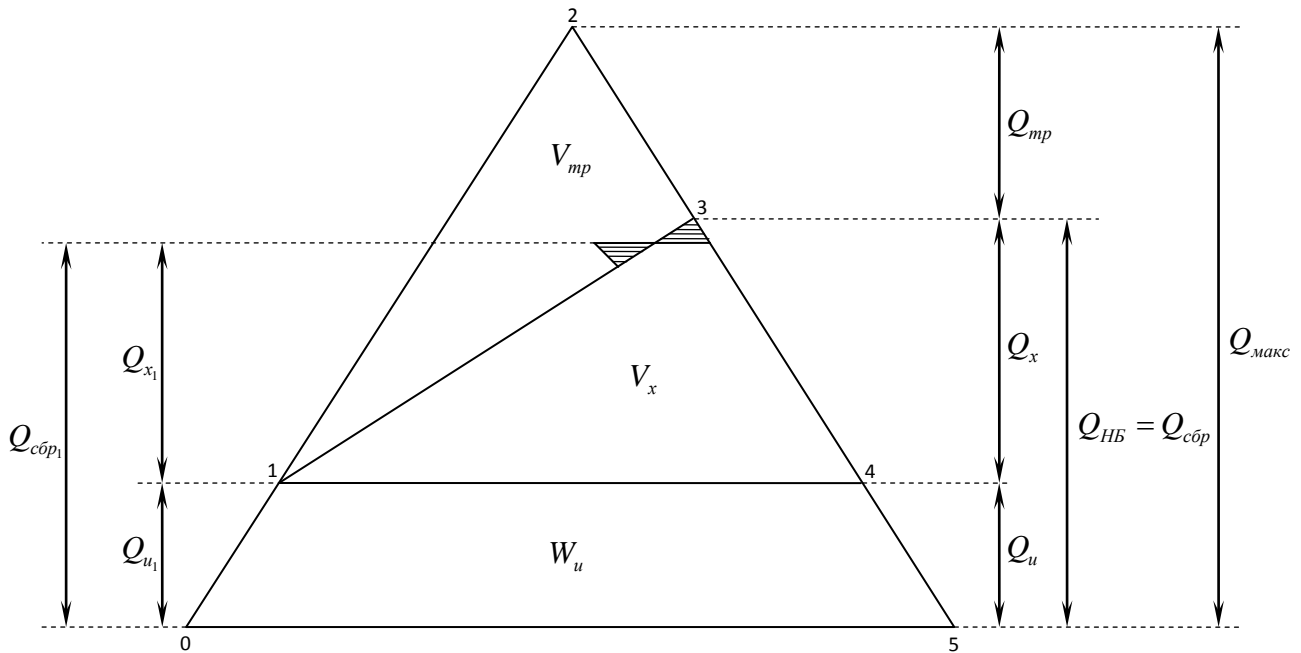
Когда разрабатывались схемы использования водных ресурсов речных бассейнов, то определялись наиболее удобные створы и нормальные подпорные уровни (НПУ).

Полезные ёмкости между уровнем мертвого объёма (УМО) и НПУ, максимальный расчётный сбросной расход воды в нижний бьеф (максимальный расход воды через водосбросы + средний надёжно гарантированный расход воды через турбины ГЭС), резервные ёмкости между НПУ и форсированным подпорным уровнем (ФПУ), рассчитывались позже при технико-экономическом обосновании (ТЭО) проектов.

Предварительные расчёты выполнялись с использованием схемы треугольника Д.И.Кочерина (рисунок 1, [1], стр.97) строго последовательно от верхнего водохранилища к расположенному ниже по течению водохранилищу по максимальным величинам объёма и расхода притока воды с площади водосбора каждого водохранилища в отдельности.

Максимальный расчётный сбросной расход воды в нижний бьеф каждого в каскаде гидроузла обязан был определяться **после** заполнения всех вышерасположенных полезных ёмкостей водохранилищ до НПУ.

Такой подход каждому гидроузлу гарантировал создание ёмкости водохранилища, которая заполнялась без выполнения холостого сброса воды при расходе воды через турбины, равном среднему годовому расходу притока воды обеспеченностью до 1%, а сбросной расход каждого гидроузла снижался до величины, допустимой для нижнего бьефа в его естественном состоянии.



Где:  $Q_{\max}$  - максимальный расход притока воды;  $W$  - объём притока воды, приравненный к площади треугольника  $025$  - параметры, определяемые на основе данных гидрологических расчётов как вероятные 1 раз за 1000 лет.

$V_{\text{тр}}$  - полезная ёмкость водохранилища, приравненная к площади треугольника  $123$ ;  $Q_{\text{тр}}$  - максимальная величина расхода, на которую трансформируется (снижается) максимальный расход притока воды;  $W_{\text{и}}$  - объём воды через турбины (площадь трапеции  $0145$ );  $Q_{\text{и}}$  - средний гарантированный расход воды через турбины - параметры заранее известные, либо рассчитанные на основе заранее известных.

$V_{\text{x}}$  - максимальный расчётный объём холостого сброса воды вероятностью превышения  $0,1\%$ , приравненный к площади треугольника  $134$ ;  $Q_{\text{x}}$  - максимальная величина расхода воды через водосброс при вероятности превышения  $0,1\%$  - максимальные расчётные параметры, полученные в результате трансформации (снижения) в ёмкости водохранилища.

Для данной расчётной схемы справедливы следующие уравнения:

$$Q_{\text{x}} = (Q_{\max} - Q_{\text{и}}) \cdot (1 - (V_{\text{тр}} : (W - W_{\text{и}}))) \quad (1) \quad V_{\text{тр}} = (W - W_{\text{и}}) \cdot (1 - (Q_{\text{x}} : (Q_{\max} - Q_{\text{и}}))) \quad (2)$$

$$Q_{\text{НБ}} = Q_{\text{сбр}} = Q_{\text{и}} + Q_{\text{x}} \quad (3).$$

## 2. Когда нарушается очередность возведения гидроузлов в каскаде

Расчётная схема в виде треугольника позволяла определять допустимые максимальные параметры водосброса, ГЭС и нижнего бьефа, но не могла дать однозначный ответ учёту объёма холостого сброса воды при определении размера полезной ёмкости водохранилища, если очередность возведения гидроузлов в каскаде нарушалась.

По первому варианту полезную ёмкость водохранилища при пропуске притока ежегодной вероятностью превышения 0,1% (основной расчётный случай) можно было принять приравненной к площади треугольника 123 и её заполнять при среднем надёжно гарантированном расходе воды через турбины (площадь трапеции 0145) параллельно с холостым сбросом воды в объёме, приравненном к площади треугольника 134.

В этом варианте расчёта однозначного результата получить нельзя, поскольку объём холостого сброса воды и максимальный сбросной расход воды в нижний бьеф гидроузла определяются по прогнозу притока воды, достоверность которого в половодье не превышает 70%, а дождевые паводки прогнозировать не научились.

Особенно опасен заниженный прогноз притока воды, при котором фактический расход воды через турбины для обеспечения большей гарантии заполнения полезной ёмкости водохранилища до НПУ поддерживается ниже среднего значения, а скорость заполнения полезной ёмкости оказывается выше. В итоге “точка невозврата” проходится досрочно, а объём холостого сброса воды и сбросной расход воды в нижний бьеф превышают расчётные величины.

По второму варианту расчёта полезную ёмкость водохранилища можно приравнять к площади треугольника 124 и заполнять её без выполнения холостого сброса воды.

**В этом варианте расчёта полезная ёмкость не заполняется до НПУ при обеспеченности притока более 1%.**

Но в этом варианте расчёта независимо от достоверности прогнозов притока воды в водохранилище достигается однозначность конечного результата, поскольку полезная ёмкость позволяет принять максимальный расчётный объём притока воды ежегодной вероятностью превышения 0,1% без выполнения холостого сброса воды.

При таком подходе к расчёту полезной ёмкости водохранилища **достигается готовность гидроузла** к безопасному пропуску притока ежегодной вероятностью превышения 0,1%, а холостой сброс воды начинается только после заполнения водохранилища до НПУ.

В дальнейшем в зависимости от величины расхода притока воды процесс может происходить по двум вариантам:

- сбросной расход воды достигает расчётной величины и быстро снижается до расхода воды через турбины, если приток воды соответствует вероятности превышения 0,1% (основной расчётный случай);
- если расход притока воды оказывается выше, то сбросной расход сохраняется максимальным расчётным и начинается заполнение резервной ёмкости водохранилища до ФПУ, если приток воды достигает величины ежегодной вероятностью превышения 0,01%. Опорожнение резервной ёмкости до нормального подпорного уровня (НПУ) должно происходить максимально быстро со сбросным расходом воды основного расчётного случая 0,1% (поверочный расчётный случай).

Резервная ёмкость должна вмещать половину разницы объёма притока воды ежегодной вероятностью превышения 0,01% с гарантийной поправкой и ежегодной вероятностью превышения 0,1%.

Гарантийная поправка к расходу ежегодной вероятностью превышения 0,01% для особо ответственных гидротехнических сооружений согласно своду правил (СП) может достигать 20%, Этим достигается гарантия от превышения ФПУ и перегрузки плотины.

В первом варианте полезная ёмкость водохранилища меньше, затраты на её создание ниже, гарантия её заполнения в маловодный период выше. Зато объём холостого сброса воды и сбросной расход воды в нижний бьеф в многоводный период оказывается недопустимо высоким.

Во втором варианте полезная ёмкость водохранилища без выполнения холостого сброса воды оказывается достаточной для снижения расхода притока воды ежегодной вероятностью превышения 0,1% до сбросного расхода, допустимого для нижнего бьефа.

Затраты на создание водохранилища оказываются выше, чем в первом варианте, зато гарантируется безопасность нижнего бьефа и значительно повышается эффективность использования водотока на выработку электроэнергии и мощности ГЭС в многоводный период.

Но главное преимущество второго варианта расчёта полезной ёмкости водохранилища заключается в создании резерв гидрологической безопасности на непредвиденные обстоятельства (авария, отказ в работе оборудования), которым становится холостой сброс воды в период заполнения полезной ёмкости (заштрихованные треугольники на рисунке 1).

Такой порядок расчёта полезной ёмкости водохранилища позволяет в период длительной эксплуатации гидроузла при возникновении непредвиденного обстоятельства (аварии, отказа в работе оборудования) при наличии водосброса с глубинным водозабором в любой момент и в любых возможных гидрометеорологических условиях начать холостой сброс воды.

Чрезвычайно важно особо подчеркнуть, что во втором варианте расчёта полезная ёмкость определяется по максимальному расходу и объёму притока воды ежегодной вероятностью превышения 0,1%, безопасный пропуск которого гарантируется за счёт среднего надёжно гарантированного расхода воды через турбины, а при возникновении непредвиденного обстоятельства за счёт использования резерва гидрологической безопасности. Благодаря такому подходу практически исключается зависимость регулирования стока от прогноза притока воды.

### **3. Почему приоритет был отдан надёжной работе ГЭС**

При нарушении очередности возведения гидроузлов в каскаде одновременное решение противоречивых задач гарантирования гидрологической безопасности гидроузлов и повышения эффективности использования водотока на выработку

электроэнергии и мощности ГЭС невозможно по причине крайней неравномерности стока воды с площадей водосбора по годам и в течение каждого года.

При решении этих задач приоритет всегда отдавали энергетике. Собственная безопасность гидроузлов гарантировалась за счёт сбросного расхода воды в нижний бьеф, величина которого, как правило, была недопустимой для нижнего бьефа.

**В первом варианте расчёта полезная ёмкость заполняется в маловодные годы и годы средней водности обеспеченностью 1% - 100%, поэтому этот вариант был принят для создаваемых водохранилищ с ГЭС, несмотря на невозможность обеспечивать гидрологическую безопасность нижнего бьефа.**

Для работы высоконапорных ГЭС должна быть создана гарантия заполнения полезной ёмкости до НПУ в маловодные годы и годы средней водности обеспеченностью от 1 до 100%, то есть от ежегодной вероятности события до вероятности 1 раз за 100 лет.

**Чем дальше выбранный створ от верховий, тем больше площадь водосбора, тем выше расходы и объёмы притока воды обеспеченностью от 1 до 100% и тем выше гарантия заполнения полезной ёмкости водохранилища в маловодные годы и годы средней водности.**

Именно по такой логике создавались гидроузлы на Оби, Енисее, Зее, Бурее, Вилюе. При выполнении технико-экономических расчётов вне конкуренции всегда оказывался вариант створа, создающий наибольший напор и расход воды для работы турбин ГЭС, то есть вариант водохранилища, большая часть ёмкости которого оставалась постоянно заполненной для создания напора.

Такой подход противоречил расчётам гидрологической безопасности, которые основываются на гидрологические данные притока воды редкой повторяемости от 1 раза за 100 лет до 1 раза за 10000 лет. На практике такие события могут не случиться в течение жизни нескольких поколений людей, поэтому гидрологической безопасности, к сожалению, не придавалось и сейчас не придаётся должного значения.

#### **4. Саяно-Шушенский гидроузел – наиболее яркий пример нарушения очерёдности возведения гидроузлов в каскаде**

Принято считать, что для выполнения полного годичного регулирования необходима ёмкость водохранилища, составляющая 40-60 % среднемноголетнего стока воды. Например, в створе Саяно-Шушенского гидроузла по состоянию на 2006 год среднемноголетний сток воды составил 47,13 км<sup>3</sup>.

Это означает, что ёмкость Саяно-Шушенского водохранилища должна была находиться в пределах от  $47,13 \cdot 0,4 = 18,85$  км<sup>3</sup> до  $47,13 \cdot 0,6 = 28,28$  км<sup>3</sup>, а точнее не менее среднего значения 23,56 км<sup>3</sup>.

Нельзя сказать, что об увеличении ёмкости Саяно-Шушенского водохранилища вовсе не задумывались. Например, один из вариантов проекта Саяно-Шушенского гидроузла предусматривал создание двух гидроагрегатов из двенадцати для работы на пониженных напорах и четыре водосбросных отверстия с глубинным водозабором и порогами на уровне 465,0 м. Сработка водохранилища допускалась до уровня 486,0 м, то есть на 14 м ниже, чем сейчас, [2], стр.246.

Схемой освоения гидроэнергетических ресурсов реки Енисей на площади водосбора 179900 км<sup>2</sup>, которая расположена в Саянских горах в Туве предусматривалось создание 11-ти водохранилищ с ГЭС: на Большом Енисее – Хамсарийское, Сейбинское, Уюкское, Шевелигское и Кызыльское, на Малом Енисее Буренское, на Верхнем Енисее ниже Кызыла – Элегестское, Баянкольское, Хайраканское, Саяно-Шушенское, Майнское, ([2], стр.243, [1], стр. 50).

В таблице 1 приведены основные расчётные расходы и уровни водохранилища, принимавшиеся при проектировании, строительстве и эксплуатации Саяно-Шушенского гидроузла, [3], стр.18.

В 1998 году максимальный расчётный расход притока воды в половодье вероятностью превышения  $p = 0,01\% + \Delta$  без должного на то основания был снижен на  $30300 - 23900 = 6400$  м<sup>3</sup>/с, то есть более чем на 20%.

Гарантийная поправка к расходу притока воды вероятностью превышения 0,01% согласно своду правил СП 33.101-2003, п. 5.31 могла быть увеличена до 20%, но она для уникального гидроузла составила всего  $23900 - 21700 = 2200$  м<sup>3</sup>/с, то есть чуть выше 10% (таблицы 1 и 3).

Таблица 1

Характеристики расходов и уровней водохранилища	Проектное задание 1965 года	Уточненное проектное задание 1976 года	Правила использования водных ресурсов 1998 года
1. Расходы половодья $p = 0,01\% + \Delta$ , м <sup>3</sup> /с	30300	25300	23900
Расходы половодья $p = 0,1\%$ , м <sup>3</sup> /с	21400	18500	17600
Расходы через гидроузел при ФПУ, м <sup>3</sup> /с	15500	15900	13300
Расходы через гидроузел при НПУ, м <sup>3</sup> /с	-	12100	7000
Расходы через гидроузел при НПУ, м <sup>3</sup> /с	3300	2300	2100
в том числе через турбины, м <sup>3</sup> /с	12200	13600	11200*
в том числе через водосброс при	-	9800	4900*

ФПУ, м <sup>3</sup> /с	540,3/540,0	544,5/540,0	540,0/539,0
в том числе через водосброс при НПУ, м <sup>3</sup> /с			
2.Уровни водохранилища: ФПУ/НПУ, м			

\*Расходы холостых сбросов установлены с учетом раннего включения в работу эксплуатационного водосброса.

Изначально на площади водосбора 179900 км<sup>2</sup>, расположенной в Саянских горах на территории Тувы, создано одно Саяно-Шушенское водохранилище полной емкостью 31,3 км<sup>3</sup>, в том числе полезной емкостью 15,33 км<sup>3</sup> при НПУ 540,0 м и резервной ёмкостью около 3 км<sup>3</sup> при заполнении до ФПУ 544,5 м.

В настоящее время по состоянию плотины установлен пониженный НПУ 539,0 м и пониженный ФПУ 540,0 м. Полезная ёмкость снижена до 14,71 км<sup>3</sup>, а резервная ёмкость снижена до 0,62 км<sup>3</sup>. Ёмкость около 3 км<sup>3</sup>, расположенную выше ФПУ 540,0 м, заполнять запрещено, поскольку её заполнение перегрузит плотину.

При создании Саяно-Шушенского гидроузла приоритет был отдан максимально возможному заполнению полезной ёмкости водохранилища при обеспеченности притока от 99% до 1%.

Для Саяно-Шушенского гидроузла вероятные среднегодовые расходы ([3], стр. 15) и объёмы притока воды приведены в таблице 2.

Таблица 2

Обеспеченность, %	1	5	10	25	50	75	90	95	97	99
Расход, м <sup>3</sup> /с	2050	1850	1760	1620	1470	1340	1230	1170	1130	1050
Объём притока, км <sup>3</sup>	64,65	58,34	55,50	51,09	46,36	42,26	38,79	36,90	35,64	33,11

При притоке обеспеченностью 99% и достоверном прогнозе притока воды такая полезная ёмкость водохранилища должна заполняться до НПУ за счёт разницы фактического расхода притока воды в мае-сентябре и среднего расхода воды через турбины 1050 м<sup>3</sup>/с, при обеспеченности 50% - среднего расхода воды через турбины 1470 м<sup>3</sup>/с, а при обеспеченности 1% - среднего расхода воды через турбины 2050 м<sup>3</sup>/с.

**В маловодный год и год средней водности такая заниженная полезная ёмкость водохранилища обеспечивает близкую к оптимальной величину выработки электроэнергии, но не может обеспечить безопасность нижнего бьефа в многоводный период, особенно при заниженном прогнозе притока**

**воды и возникновении непредвиденного обстоятельства (авария, отказ в работе оборудования).**

По этим причинам вынуждены путём повышенного холостого сброса воды строго соблюдать уровни заполнения водохранилища по установленным датам. Даже при достоверном прогнозе притока  $\leq 30$  км<sup>3</sup> обязаны поддерживать уровень 520,0 м более 10 суток, а при достоверном прогнозе притока  $\geq 30$  км<sup>3</sup> в течение 10 суток уровень 510,0 м медленно повышать до уровня 511,0 м (таблица 4, [3], стр.456) .

Таблица 4

T \ V	20.05	01.06	11.06	21.06	01.07	11.07	21.07	01.08	01.09	11.09
$\leq 30$ , км <sup>3</sup>	520,0	520,0	522,2	532,3	535,0	536,1	536,9	537,5	538,0	539,0
V <sub>порожня</sub>	8,99	8,99	8,216	3,750	2,310	1,700	1,250	0,890	0,600	0,000
$\geq 30$ , км <sup>3</sup>	510,0	511,0	527,5	532,7	535,0	536,1	536,9	537,5	538,0	539,0
V <sub>порожня</sub>	12,07	11,79	6,055	3,550	2,310	1,700	1,250	0,890	0,600	0,000

Где: V<sub>порожня</sub> – остаток порожней полезной ёмкости водохранилища на соответствующую дату, км<sup>3</sup>

Этот расчёт исключает вероятность заниженного прогноза притока воды и вероятность возникновения непредвиденного обстоятельства. Он выполнен по версии гидрографа с тремя пиками расхода. Благодаря этому выигрывается время для снижения уровня водохранилища к началу июльского дождевого паводка до отметки 535,0 м, а затем к началу августовского дождевого паводка до отметки 538,0 м. Нельзя исключать вероятность одновершинного гидрографа. Наложение дождевого паводка на половодье приведёт к повышению сбросного расхода вплоть до максимальной пропускной способности 19190 м<sup>3</sup>/с.

По одному из последних расчётов с участием дополнительного берегового туннельного водосброса с поверхностным водозабором [4] заполнение полезной ёмкости водохранилища начинается раньше при превышении расходом притока воды среднего расхода через турбины 1800 м<sup>3</sup>/с и заполняется ёмкость быстрее, (таблица 5).

Таблица 5

Вероятность	месяц	Максимальные расходы, м <sup>3</sup> /с				Скорость наполнения между отметками, м/сутки
		Э.В.	Б.В.	ГЭС	Всего	
5%	июнь	1300	1100	1800	4200	Без нарушения скорости наполнения
	июль	700	3100	1800	5600	
1%	июнь	3500	1700	1800	7000	с незначительным превышением скорости наполнения выше
	июль	2000	3200	1800	7000	



						отметки 530 м - 0,8 м/сутки
0,1%	июнь	1800	3400	1800	7000	520-530 м – за первые трое суток средняя скорость 2 м/сутки, выше 530 м - 0,6 м/сутки
	июль	1600	3200	1800	6600	
0,01%+Δ	июнь	7500	4000	1800	13300	520-530 м -2,5 м/сутки, выше 530,0 –первые три дня -1,5 м/сутки, затем 0,9 м/сутки до отметки 539,5 м

В выводах к новому расчёту особо указывается, что анализ выполненного крепления водобойного колодца после разрушений 1985 – 1988 гг. на данном этапе позволяет гарантировать пропуск расходов до 7500 м<sup>3</sup>/с через эксплуатационный водосброс.

“Ввод в эксплуатацию дополнительного водосброса, рассчитанного на пропуск расхода 4000 м<sup>3</sup>/с, не снижает актуальности мероприятий по обеспечению безопасности использования основных водосбросов при прохождении паводков обеспеченностью менее 5%. Таким мероприятием является устройство пирсов-растекателей. Следует отметить, что отсутствие пирсов-растекателей, разработанных в соответствии с решением комиссии Минэнерго СССР (п.10.1), до сих пор не позволяет обеспечить необходимое повышение надежности крепления колодца в его активной зоне”, [3], стр.485.

Береговой водосброс начинает работать поздно только при достижении уровня 527м с расходом воды около 400 м<sup>3</sup>/с, далее с расходом 1700 м<sup>3</sup>/с при уровне 532м, с расходом 2400 м<sup>3</sup>/с при уровне 534 м, с расходом 3500 м<sup>3</sup>/с при уровне 537 м и с расходом 4000 м<sup>3</sup>/с при НПУ.

Компоновка водосброса оказалась не согласованной с применяемой схемой регулирования. При пропуске половодья вся нагрузка ложится на эксплуатационный водосброс.

Безопасная пропускная способность нижнего бьефа Саяно-Шушенского гидроузла после создания Майнского гидроузла, переформирования ложа его водохранилища и создания дополнительного берегового водосброса, создающих подпор, снизилась до 7000 м<sup>3</sup>/с, при которой уровень воды у поселка Черёмушки достигает 324,6 м.

По диспетчерскому графику работы Саяно-Шушенского водохранилища 2011 года в половодье вероятностью превышения 0,01 % с гарантийной поправкой расчётный сбросной расход воды может достигать 10260 м<sup>3</sup>/с. Уровень воды у поселка Черёмушки при таком расходе на 3,2 м превысит безопасную величину 324,6 м.

Если прогноз притока воды окажется заниженным, а холостой сброс воды начнётся позже, то из-за наличия порожней ёмкости в верхней части водохранилища, запрещенной для заполнения, отсутствия основного и дополнительного резервов

гидрологической безопасности во избежание перегрузки плотины сбросной расход вынуждены увеличивать вплоть до максимальной пропускной способности гидроузла 19190 м<sup>3</sup>/с.

Иначе говоря, регулирование стока становится непредсказуемым, поэтому необходимо принять безотлагательные меры по повышению безопасности гидроузла и его нижнего бьефа.

## 5. Предложение по изменению схемы регулирования

Предлагается определять полезную ёмкость водохранилища по уравнению  $V_{п} = W - W_{н} = 25,9 - 5,44 = 20,46$  км<sup>3</sup> (таблица 7) для того, чтобы при пропуске половодья длительностью 30 суток вероятностью превышения 0,1% (основной расчетный случай) исключить холостой сброс воды.

Резервную ёмкость водохранилища предлагается определять как половину разницы объёма притока воды ежегодной вероятности превышения расхода притока воды 0,01% +  $\Delta$  и 0,1% по уравнению  $V_{рез} = (34,1-29,5) : 2 = (68,2 -60,0) : 2 = 4,1$  км<sup>3</sup> (таблица 7) и использовать ее исключительно для кратковременного приема притока воды (поверочный расчетный случай).

В таблице 7 представлен сравнительный расчёт объёмов холостых сбросов воды по расчётным гидрологическим характеристикам ([3], стр. 16) при заполнении полезной ёмкости 14,71 км<sup>3</sup> без выполнения холостого сброса воды (2 и 3) и при наличии дополнительной ёмкости в Туве  $V_{р} = 9,24$  км<sup>3</sup> (4 и 5).

Таблица 7

Ежегодные вероятности превышения расчётных максимальных расходов	5%	1%	0,1%	0,01%	0,01% + $\Delta$
<b>1. Максимальные расходы притока воды, м<sup>3</sup>/с</b>	<b>10800</b>	<b>13500</b>	<b>17600</b>	<b>21700</b>	<b>23900</b>
<b>2. Объём стока за 30 суток, км<sup>3</sup></b>	<b>17,40</b>	<b>20,90</b>	<b>25,90</b>	<b>31,22</b>	<b>34,10</b>
в том числе: $W_{н}$ при $Q_{н} = 2100$ м <sup>3</sup> /с, км <sup>3</sup>	5,44	5,44	5,44	5,44	5,44
$V_{А}$ - аккумуляция до НПУ 539,0 м, км <sup>3</sup>	11,96	14,71	14,71	14,71	14,71
$V_{А}$ - аккумуляция до НПУ 539,0 м, км <sup>3</sup>	534,2	539,0	539,0	539,0	539,0
Уровень воды в водохранилище, м	-	0,75	5,75	11,07	13,95
$V_{х}$ – объём холостого сброса воды, км <sup>3</sup>					
<b>3. Объём стока за 153 суток, км<sup>3</sup></b>	<b>48,70</b>	<b>53,80</b>	<b>60,00</b>	<b>66,10</b>	<b>68,20</b>
в том числе: $W_{н}$ при $Q_{н} = 2100$ м <sup>3</sup> /с, км <sup>3</sup>	27,76	27,76	27,76	27,76	27,76

<b>V<sub>A</sub> - аккумуляция воды, км<sup>3</sup></b>	<b>14,71</b>	<b>14,71</b>	<b>14,71</b>	<b>14,71</b>	<b>14,71</b>
<b>Уровень воды в водохранилище, м</b>	<b>539,0</b>	<b>539,0</b>	<b>539,0</b>	<b>539,0</b>	<b>539,0</b>
<b>V<sub>x</sub> –объём холостого сброса воды, км<sup>3</sup></b>	<b>6,23</b>	<b>11,33</b>	<b>17,53</b>	<b>23,63</b>	<b>25,73</b>
<b>4.Объём стока за 30 суток, км<sup>3</sup></b>	<b>17,40</b>	<b>20,90</b>	<b>25,90</b>	<b>31,22</b>	<b>34,10</b>
<b>в том числе: W<sub>и</sub> при Q<sub>и</sub> = 2100 м<sup>3</sup>/с, км<sup>3</sup></b>	<b>5,44</b>	<b>5,44</b>	<b>5,44</b>	<b>5,44</b>	<b>5,44</b>
	<b>0,74</b>	<b>4,24</b>	<b>9,24</b>	<b>9,24</b>	<b>9,24</b>
<b>V<sub>B</sub> – аккумуляция в верховье, км<sup>3</sup></b>	<b>11,22</b>	<b>11,22</b>	<b>11,22</b>	<b>11,22</b>	<b>11,22</b>
<b>V<sub>A</sub> - аккумуляция до НПУ 532,8 м, км<sup>3</sup></b>	<b>532,8</b>	<b>532,8</b>	<b>532,8</b>	<b>532,8</b>	<b>532,8</b>
<b>Уровень воды в водохранилище, м</b>	-	-	-	<b>5,32</b>	<b>8,20</b>
<b>V<sub>x</sub> –объём холостого сброса воды, км<sup>3</sup></b>					
<b>5.Объём стока за 153 суток, км<sup>3</sup></b>	<b>48,7</b>	<b>53,8</b>	<b>60,0</b>	<b>66,10</b>	<b>68,20</b>
<b>в том числе: W<sub>и</sub> при Q<sub>и</sub> = 2100 м<sup>3</sup>/с, км<sup>3</sup></b>	<b>27,76</b>	<b>27,76</b>	<b>27,76</b>	<b>27,76</b>	<b>27,76</b>
	<b>9,24</b>	<b>9,24</b>	<b>9,24</b>	<b>9,24</b>	<b>9,24</b>
<b>V<sub>p</sub> – аккумуляция в верховье, км<sup>3</sup></b>	<b>11,22</b>	<b>11,22</b>	<b>11,22</b>	<b>11,22</b>	<b>11,22</b>
<b>V<sub>A</sub> - аккумуляция до НПУ 532,8 м, км<sup>3</sup></b>	<b>532,8</b>	<b>532,8</b>	<b>532,8</b>	<b>532,8</b>	<b>532,8</b>
<b>Уровень воды в водохранилище, м</b>	<b>0,48</b>	<b>5,58</b>	<b>11,78</b>	<b>17,88</b>	<b>19,98</b>
<b>V<sub>x</sub> –объём холостого сброса воды, км<sup>3</sup></b>					

По расчёту через полезную и через резервную ёмкости каждый многоводный год проходит два равных объёма воды. Это можно видеть при разложении максимальных объёмов притока воды за 153 суток половодья и дождевых паводков.

$$W = 68,2 = 2 \cdot 34,1 = (20,46 + 5,44 + 8,2) + (22,32 + 11,78) = (9,24 + 11,22 + 5,44 + 2 \cdot 4,1) + (22,32 + 7,22 + 4,56) \text{ км}^3.$$

В течение 5 месяцев многоводного года (153 суток = май – сентябрь) через полезную ёмкость водохранилища может пройти два объёма притока воды, равных объёму притока в половодье длительностью 30 суток, в том числе транзитом через турбины 5,44 км<sup>3</sup> в половодье и 27,76 – 5,44 = 22,32 км<sup>3</sup> в дождевые паводки.

Объём воды для выработки электроэнергии после пропуска половодья и дождевых паводков  $W_{и} = 11,22$  (основное водохранилище) + 9,24 (регулирующая ёмкость верховья) + (приток с площади водосбора за 212 суток) около 18,0 = 38,46 км<sup>3</sup>.

Этого объёма воды вполне достаточно для работы турбин до начала очередного половодья со средним расходом воды 2100 м<sup>3</sup>/с.

$34,1 - 25,9 = 8,2 = 68,2 - 60,0 = 8,2 = 2 \cdot 4,1 = 8,2$ . Резервная ёмкость полностью заполняется и опоражняется один раз в половодье, частично заполняется и полностью опоражняется в июле и в августе.

Принципиальная разница между полезной и резервной ёмкостями заключается только в длительности использования: полезная ёмкость используется при годичном регулировании стока в течение года, а резервная ёмкость на Енисее при максимальном расчётном притоке воды используется кратковременно до трёх раз.

Резервная ёмкость в верховье в Туве должна работать как регулятор стока в половодья и дождевые паводки, заполняться при высоких расходах притока воды и опоражняться при снижении расхода притока воды. В оставшееся время года река должна быть свободной от регулирования. Плотина должна быть оборудована поверхностным нерегулируемым водосбросом, регулируемым водосбросом с глубинным водозабором и регулируемым донным водосбросом для полного опорожнения.

Для строительства плотины может быть рекомендован Сейбинский створ на Большом Енисее. Желательно рассмотреть дополнительно к Сейбинской ёмкости плотину в Буренском створе на Малом Енисее [2], стр.243,264; [1], стр.50.

Резервная ёмкость **9,24 км<sup>3</sup>** в верховье в Туве позволит:

- понизить НПУ Саяно-Шушенского водохранилища до уровня 532,8 м и создать резервную ёмкость 4,1 км<sup>3</sup> между новым НПУ 532,8 м и ФПУ 540,0 м;
- исключить холостой сброс воды при регулировании скорости заполнения полезной ёмкости водохранилища;
- при возникновении непредвиденных обстоятельств (аварии, отказе в работе оборудования, прогнозе притока выше учтенного в расчетах) начать холостой сброс воды;
- без превышения сбросного расхода в нижний бьеф сбрасывать объём притока 8,2 км<sup>3</sup> в половодье и  $19,98 - 8,2 = 11,78$  км<sup>3</sup> в дождевые паводки (таблица 7, п.п. 4,5) соответственно 7,22 км<sup>3</sup> в июле и 4,56 км<sup>3</sup> в августе пропорционально расходам воды 15200 м<sup>3</sup>/с в июле и 9600 м<sup>3</sup>/с в августе;
- увеличить выработку электроэнергии и мощности на всех ГЭС каскада;
- отказаться от создания дополнительного водосброса на Майнском гидроузле;
- построить с меньшими затратами Очурскую и Минусинскую гидроэлектростанции на зарегулированном водотоке [2], стр.243;
- повысить УМО Красноярского водохранилища;

## **Литература:**

[1] Под редакцией Д.С. Щавелева, “Использование водной энергии”, Энергия, Ленинград, 1976г.

[2] “Гидроэлектростанции Советского Союза”, Часть 1, Справочник, типография института Гидропроект, М., 1967г.

[3] А.И.Ефименко, Г.Л.Рубинштейн “Водосбросные сооружения Саяно-Шушенской ГЭС”. СПб: Изд-во ОАО «ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева», 2008.

[4] “Саяно-Шушенская ГЭС. Уточнение пропускной способности водосбросных сооружений с учетом дополнительного водосброса” инв. № 1047-1-126г, Ленгидропроект, 2003г

***Бабкин Владимир Иннокентьевич, 24.06.2016 г.  
специально для «Плотина.Нет!»***

***[www.plotina.net](http://www.plotina.net)***

*Статья посвящается светлой памяти моего отца, погибшего в возрасте 34 года 24.06.1944 в период операции “Багратион” по освобождению Белоруссии и похороненного в Братской могиле деревни Станьков, Рогачёвского района Гомельской области.*