



УДК 627.51

РЯБЕНКО А.А., докт. техн. наук, професор,

Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно

ТАТАРИНЦЕВ А.В., гл. спец., ПАО «Укргідропроєкт», г. Харьков,

СЕМЕНУХА А.В., ст. инж., ПАО «Укргідропроєкт», аспірант,

Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно

ПРОПУСК ПАВОДКОВ ЧЕРЕЗ ДНЕСТРОВСКИЙ ГИДРОУЗЕЛ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗОВ ПРИТОЧНОСТИ С УЧЕТОМ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ ПАВОДОЧНОЙ ВОЛНЫ ПО ВОДОХРАНИЛИЩУ

доповідь на VII Міжнародній конференції гідроенергетиків
«Сталий розвиток гідроенергетики, як основа мобільності та маневреності ОЕС України»

Днестровский гидроузел имеет важное народнохозяйственное значение для борьбы с наводнениями. В связи с этим был проведен расчет неустановившегося движения паводочной волны в Днестровском водохранилище с помощью программы Mike 11, которая обеспечивает возможность расчётов неустановившегося режима потока с использованием неявной конечно-разностной схемы для различных режимов потока. В основу расчётов положено решение полных нелинейных уравнений Сен-Венана для потоков в открытых разветвляющихся руслах.

В работе предлагается проводить регулирование паводков в Днестровском водохранилище на основе использования прогноза расходов воды р. Днестр у водпоста Залешики суточной заблаговременности.

К л ю ч е в ы е с л о в а: паводок, водохранилище, плотина, форсировка уровня, гидротеника.

Днестровский гидроузел имеет важное народнохозяйственное значение для борьбы с наводнениями вызываемыми ливневыми паводками. Это связано с тем, что на нижележащем участке Днестра в прибрежных районах расположено много населенных пунктов, которые полностью или частично затапливаются дождевыми паводками, наносящими также большой ущерб посевам, линиям транспорта и связи.

С созданием Днестровского водохранилища появилась возможность уменьшения ущерба от затоплений путём регулирования паводков. Для это-

го в водохранилище предусмотрена специальная противопаводковая ёмкость, равная 600 млн. м³, которая размещается в призме форсировки между отметками НПУ = 121,0 м и ФПУ = 125,0 м.

Максимальные расходы воды в Днестре наблюдаются ежегодно в период весеннего половодья от снеготаяния и в остальное время года от ливней.

Ливневые максимальные расходы обычно больше снеговых. Наибольший максимум за весь период наблюдений с 1881 по 2013 год был дождевого происхождения. Паводок проходил в начале сентября 1941 года с максимальным расходом

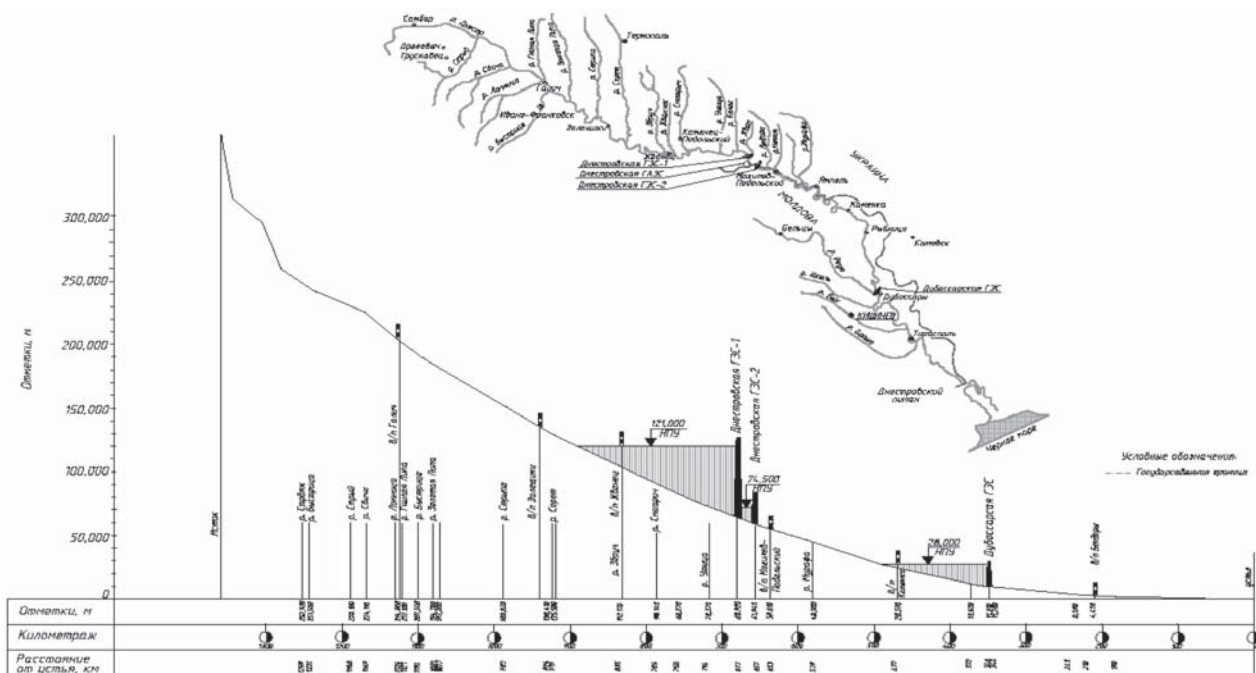


Рис. 1. Схема бассейна реки Днестр



7000–8000 м³/с, а также паводок 1969 года до создания Днестровского водохранилища и паводки 1998, 2008 годов — после создания Днестровского водохранилища.

Дождевые паводки характеризуются интенсивным изменением хода стока. Продолжительность подъёма составляет обычно 20–30 часов, спад происходит в течение более длительного времени. Увеличение расходов во время подъёма достигает 1000–1500 м³/с за 12 часов при предпаводочном расходе 100–200 м³/с.

Основной зоной формирования дождевых паводков в бассейне Днестра являются водосборы его правых притоков, расположенные на северо-восточных склонах Карпат (Стрый, Свича, Ломница, Быстрица). Зона повышенного стока простирается почти параллельно главной реке на расстоянии 70–90 км от неё. Из верховьев Днестра и его правобережных притоков поступает около 75–85% годового стока, регистрируемого у водпоста Залещики, а в период летних паводков — до 90–95% месячного стока Днестра.

На Рис. 1 показана схема бассейна реки Днестр. Основной схемой регулирования паводков, принятой в утверждённом проекте, является схема без учёта прогнозов, которая гарантирует срезку максимальных расходов паводков 1–10% обеспеченности до 2600 м³/с. В этой схеме исполь-

зуются почасовые сведения по водпосту Залещики о текущем притоке в водохранилище.

Расходы обеспеченностью менее 0,5% не срезаются, так как противопаводковая ёмкость заполняется ещё на подъёме паводка.

Недостатком схемы без учёта прогнозов является то, что паводочные расходы обеспеченностью более 1% или мало срезаются, или не срезаются вообще. Этот недостаток можно устранить, используя прогнозы приточных расходов.

Для этой цели предлагается проводить регулирование паводков в Днестровском водохранилище на основе использования прогноза расходов воды р. Днестр у водпоста Залещики суточной заблаговременности.

Нами были приняты следующие правила регулирования паводков в Днестровском водохранилище:

1. Сбросные расходы в нижний бьеф Днестровского гидроузла необходимо назначать исходя из прогноза расхода воды у водпоста Залещики суточной заблаговременности.

2. При прогнозе притока суточной заблаговременности до 1000 м³/с сброс устанавливается равным притоку.

3. Если по прогнозу у водпоста Залещики ожидается через сутки расход менее 2600 м³/с,

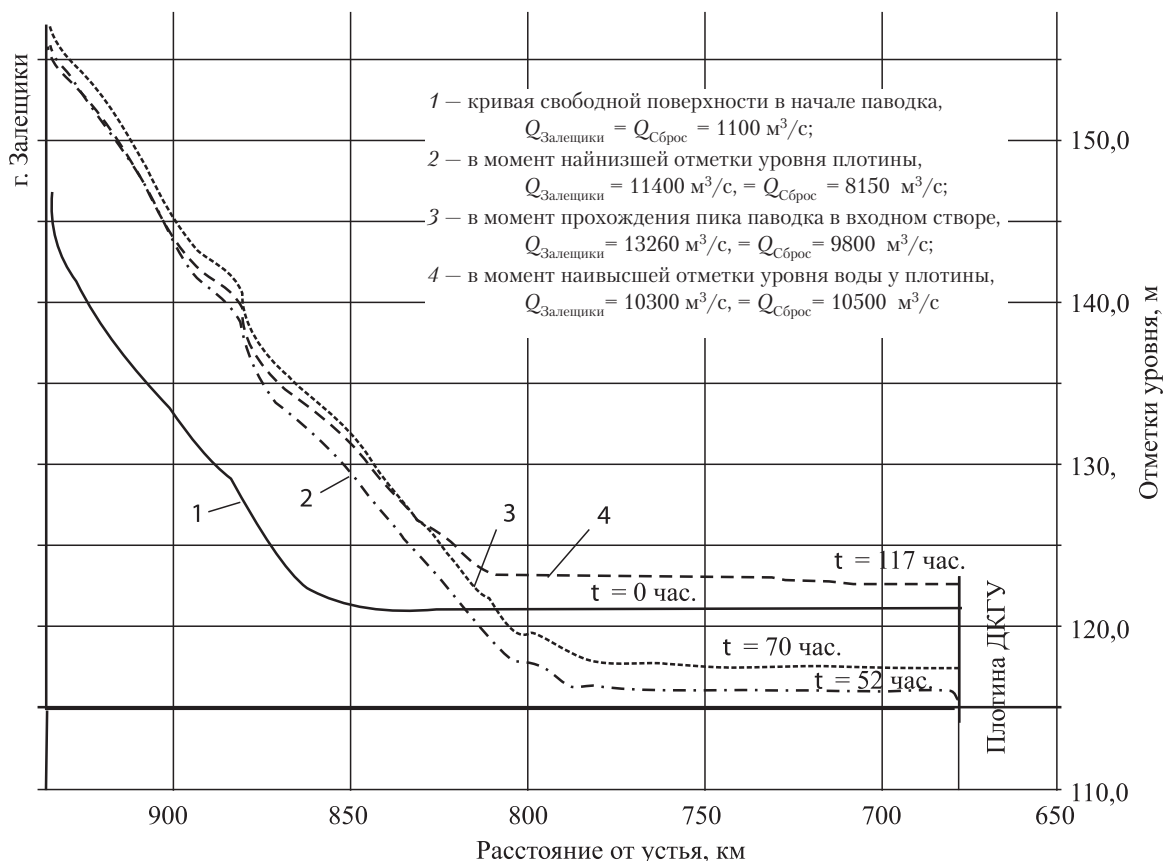


Рис. 2. Кривые свободной поверхности в Днестровском водохранилище при прохождении паводка 0,01% обеспеченности



Таблиця 1. Морфометрические характеристики расчётных участков

№	Наименование		Расстояние, км		Отметка дна, м	Длина участка, км
	створов	бокового притока	от устья	от ДКГУ		
ДКГУ	Плотина ДКГУ		677,40	0,00	67,25	0,00
1	ПП 1		677,98	0,58	69,09	0,58
2	в/п Новоднестровск		678,10	0,70	67,25	0,12
3	678,1 км		680,10	2,00	68,48	1,30
4	ПП 2		686,30	8,85	68,41	6,85
5	с. Калюс	р. Калюс, л. б.	687,30	9,90	71,32	1,05
	в/п Неповоротово		691,00	13,60	71,84	3,70
6	с. Неповоротово		694,30	16,90	71,84	3,30
7	ПП 3		695,35	17,95	70,65	1,05
8	с. Лоевцы		705,40	28,00	72,76	10,05
9	ПП 4		706,60	29,19	74,51	1,19
10	ПП 5		711,00	33,59	77,29	4,40
	в/п Ушица		715,00	37,60	77,00	4,00
11	с. Старая Ушица	р. Ушица, л. б.	717,40	40,00	76,25	2,41
12	ПП 6		725,90	48,53	82,00	8,53
13	с. Комарово		727,80	50,40	81,11	1,87
14	с. Студеница	р. Студеница, л. б.	733,10	55,70	84,38	5,30
15	ПП 7		733,70	56,30	86,46	0,60
16	Вильямовка(Рогозанов)		740,20	62,80	84,71	6,50
	в/п Грушевцы		742,00	64,60	85,00	1,80
17	ПП 8		742,89	65,49	87,53	0,89
18	с. Марьяновка		753,10	75,70	88,02	10,21
19	с. Лука Врублевская	р. Мукша, л. б.	760,50	83,10	88,74	7,40
20	ПП 9		761,43	84,03	92,28	0,93
21	с. В. Слободка		770,50	93,40	93,22	9,37
22	ПП 10		771,01	93,61	93,25	0,21
23	ПП 11		774,73	97,33	96,50	3,72
	в/п Устье		781,00	103,60	96,10	6,27
24	ПП 12		782,13	104,73	99,89	1,13
25	Сокол		788,80	111,40	97,95	14,07
26	ПП 13		798,24	120,84	106,43	9,44
	в/п Жванец		803,00	125,60	100,00	4,76
27	с. Малиновцы		808,60	131,20	101,98	5,60
28	ПП 14		812,53	135,13	110,76	3,93
29	ПП 15		820,63	143,23	112,93	8,10
30	г. Хотин		827,10	149,70	109,00	6,47
31	ПП 16		828,43	151,03	110,20	1,33
32	ПП 16 а		828,69	151,29	110,41	0,26
33	с. Жванец	р. Збруч, л. б.	830,00	152,60	109,20	1,31
34	ПП 17		835,24	157,84	111,72	5,24
35	с. Беловцы		840,20	162,80	111,78	4,96
36	ПП 18		843,77	166,37	113,16	3,57
37	с. Волковцы		852,80	175,40	116,40	9,03
	в/п Рухотин		854,00	176,60	117,00	1,20
38	ПП 19		854,52	177,12	116,97	0,52
39	ПП 20		863,63	186,23	119,72	9,11
40	ПП 21		867,57	190,17	121,92	3,94
41	с. Худыковцы		868,20	190,80	119,99	0,63
42	873,6 км		873,60	196,20	121,00	5,40
43	с. Горошево		879,50	202,10	121,30	5,90
44	с. Горошево		880,50	203,10	121,36	1,17
45	ПП 22		880,67	203,27	123,10	0,17
46	с. Онут		884,20	206,80	125,75	3,53
47	с. Самушин		889,20	211,80	128,35	5,00
48	с. Устье, паром		893,70	216,30	129,10	4,50
49	с. Устье		893,90	216,50	129,50	0,20
50	с. Колобродка		898,90	221,50	130,95	5,00
51	с. Бродок		905,20	227,80	131,70	6,30
52	с. Зозульинцы		912,00	234,60	134,00	6,80
53	с. Васильев	р. Серет, л. б.	918,20	240,80	136,75	6,20
54	с. Кулевцы		922,00	244,60	138,15	3,80
55	с. Добровляны		929,10	251,70	140,40	7,10
56	г. Залещики, гидроствор		933,50	256,10	140,70	4,40
57	г. Залещики, автост		934,70	257,30	140,27	1,20
58	г. Залещики		935,40	258,00	140,95	0,70



то в нижній б'єф сбрасується через турбіни ГЭС-1 расход 2000 м³/с.

4. Если по прогнозу у водпоста Залещики через сутки ожидается более 2600 м³/с, но менее 7200 м³/с (при ошибке прогноза 40% от 1% расхода 5140 м³/с), то тогда сбрасывается 2600 м³/с.

5. Если по прогнозу у водпоста Залещики через сутки ожидается расход более 7200 м³/с, то необходимо открывать водосбросные отверстия (2 часа на открытие одного пролета) и увеличивать сбросные расходы. При этом сбросные расходы не должны превышать 10500 м³/с.

В расчете принимается, что прогноз передается 3 раза в сутки, через 8 часов.

Ранее расчеты трансформации паводков выполнялись по статическим емкостям, которые не учитывают гидравлических условий прохождения паводочной волны по водохранилищу. В этом случае гидравлические процессы сведены к простым балансовым расчетам притока и сброса.

Учитывая важность выводов из подобных расчетов был проведен расчет неустановившегося движения паводочной волны в Днестровском водохранилище с помощью программы Mike 11. Данная программа обеспечивает возможность расчетов неустановившегося режима потока с использованием неявной конечно-разностной схемы расчета для различных режимов потока. В основу расчетов положено решение полных нелинейных уравнений Сен-Венана для потоков в открытых разветвляющихся руслах.

В качестве исходных данных при исследовании гидравлических режимов, использовались следующие материалы:

- поперечные сечения с расстояниями между ними;
- гидравлические параметры и морфометрические характеристики расчетных участков;
- кривые объемов и площадей зеркала водохранилища;
- параметры начального водного режима, задаваемые в виде отметок уровней и расходов воды на начало паводка;
- коэффициенты шероховатости;
- характеристика пропускной способности гидроузла;

- граничные условия, которые заданы в виде гидрографов притока и сброса.

В Днестровском водохранилище было выделено 58 участков (от створа ДКГУ до водпоста Залещики). Профили поперечного сечения русла и поймы в расчетных створах определялись по топографическим картам масштаба 1:25000 — только на притоках, а в русле по съемке 1982, 1992 и 2014 гг.

Морфометрические характеристики расчетных участков, используемые в гидравлических расчетах, представлены в Табл. 1.

В результате расчета получены величины уровней и расходов воды в каждом из 58 расчетных поперечников через каждый час. Анализируя изменения кривой свободной поверхности Днестровского водохранилища при прохождении паводка 0,01% обеспеченности (Рис. 2), можно сказать, что в период подъема паводка в хвостовой части водохранилища накапливаются значительные объемы воды, которые постепенно перемещаются к плотине. Поэтому в этот период времени на участке, прилегающем к плотине, происходит понижение уровня воды, несмотря на то, что сбросные расходы меньше приточных.

Низшая отметка уровня воды в водохранилище у плотины составляет по расчету 115,75 м и приходится на тот момент времени (52 часа), когда приточный расход на подъеме паводка достиг величины 11400 м³/с, а сбросной — 8150 м³/с. В момент, когда у Залещиков проходил максимальный расход паводка, равный 13260 м³/с, а сбросной расход был равен 9800 м³/с, уровень воды у плотины был все еще ниже НПУ 121,0 м.

На самом спаде паводка, хотя сбросные расходы превышали приточные, происходил подъем уровней воды у плотины. Это повышение уровня объясняется перемещением динамических объемов, накапливаемых в период подъема паводка из хвостовой части на приплотинный участок водохранилища. Наивысший уровень форсировки достиг отметки 122,6 м в момент, когда расход воды у водпоста Залещики был равен 10300 м³/с, а сбросной — 10500 м³/с.

По выше принятым правилам регулирования паводков 0,01% обеспеченности в Днестровском водохранилище по данным прогнозов суточной заблаговременности рассматривалось 3 возможных случая:

Таблица 2. Результаты расчетов регулирования паводков 0,01 % обеспеченности

Паводок обеспеченности	Максимальный приточный расход в водохранилище, м ³ /с	Максимальный сбросной расход при ошибке прогноза, м ³ /с			Наивысший уровень воды в водохранилище у плотины при ошибке прогноза, м		
		+40%	±0%	-40%	+40%	±0%	-40%
0,01%	13260	10500	10500	10500	121,8	122,6	123,5



- прогноз оказался завышенным на +40%;
- прогноз оказался точным 0%;
- прогноз оказался заниженным на -40%.

Как видно из Табл. 2, наименьшая форсировка уровня воды в водохранилище наблюдается при завышенном прогнозе. Это объясняется тем, что в ожидании больших, чем при точном и заниженном прогнозе, расходов на начальной стадии паводков в нижний бьеф сбрасываются большие расходы, и соответственно, до более низкой отметки было сработано водохранилище перед прохождением пиковой части паводков. Но во всех случаях форсировка уровня воды в водохранилище была близка к проектному уровню, который равен 123,0 м и при котором проводились расчеты гидротехнических сооружений Днестровского гидроузла на устойчивость.

Выводы.

Регулирование паводков по этой схеме позволяет срезать максимальный расход паводка 0,01% обеспеченности с 13260 м³/с до 10500 м³/с. Уровень форсировки в Днестровском водохранилище не превышает при этом отметки 123,5 м (при заниженном прогнозе).

При этом обеспечивается срезка паводка 1% обеспеченности с 5140 м³/с до 2600 м³/с, как заложено в проекте Днестровского гидроузла.

В дальнейшем намечено провести исследование регулирования чаще встречающихся паводков большей обеспеченности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Беликов В.В., Глотко А.В.* Компьютерное моделирование паводковых и меженных течений в Чебоксарском водохранилище с применением различных численных методов.

2. *Дністровська ГАЕС.* Правила експлуатації водосховищ Дністровського каскаду ГЕС та ГАЕС. Гідрометричні і гідрографічні роботи з уточнення обсягу дністровського та буферного водосховищ. Заключний звіт, 732/МЦІД-2-Т112, ПАТ «Укргідропроєкт», м. Харків, 2013 р.

3. *Оценка последствий образования водохранилищ и других аспектов водохозяйственной деятельности на окружающую среду и разработка мероприятий исключающих или ограничивающих неблагоприятное воздействие на экосистему Днестра.* Материалы к организации информационной базы гидравлических данных р. Днестра на участке Днестровского водохранилища, 1047-7-Т46, Укргідропроєкт, Харьков, 1993 г.

4. *Уточнение* проектных водохозяйственных и водноэнергетических характеристик Днестровского гидроузла. Уточнение расчетного сбросного расхода на основе использования прогнозов, 589-7-Т2, г. Харьков, 1979 г.

5. *Правила* эксплуатации водохранилищ Днестровского комплексного гидроузла, 589-39-Т36, Москва, 1987 г.

6. *Mike 11.* User manual and technical references. DHI. 1999.

7. *Компьютерное* моделирование речных потоков. Теоретические основы. Научная консалтинговая фирма «Волга» Москва, 2005 г.

8. *MIKE 11* компьютерное моделирование систем рек и каналов. Краткое руководство пользователя Научная консалтинговая фирма «Волга» Москва, 2006 г.

© Рябенко А. А., Татаринцев А. В., Семенуха А. В, 2016

