

МОНИТОРИНГОВЫЕ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И
ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
MONITORING, EXPERIMENTAL AND EXPEDITIONARY RESEARCH

УДК 556.014

DOI: 10.34753/HS.2020.2.1.71

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТОВ
НЕБОЛЬШИХ ПОПУСКОВ НА
МАЛЫХ РЕКАХ НА ПРИМЕРЕ
РЕКИ ОРЕДЕЖ

А.Ю. Виноградов^{1,2}, Т.А. Виноградова^{1,3},
В.А. Обязов¹, В.А. Хаустов⁴,
И.А. Виноградов¹

¹ООО НПО «Гидротехпроект», г. Валдай, Россия; ²Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, г. Санкт-Петербург, Россия; ³Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия; ⁴Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург, Россия
gd@npogtp.ru

SPECIALITY OF LOW RELEASE
CALCULATIONS ON SMALL
RIVERS ON THE EXAMPLE OF
THE OREDEZH RIVER

Alexey Yu. Vinogradov^{1,2},
Tatiana A. Vinogradova^{1,3}, Viktor A. Obyazov¹,
Vitaly A. Khaustov⁴, Ivan A. Vinogradov¹

¹Scientific and Industrial Research Association
Gidrotehproekt, Valday, Russia;
²Saint Petersburg State Forest Technical University,
St. Petersburg, Russia;
³Saint Petersburg State University,
St. Petersburg, Russia;
⁴Russian State Hydrometeorological
University, St. Petersburg, Russia
gd@npogtp.ru

Аннотация. В работе рассмотрено движение отрицательной и положительной волн попуска из водохранилища на р. Оредеж. Для расчёта распространения волны попуска использовалась модель неустановившегося движения воды. Попуск проводился 19.06.2017 и состоял из трёх фаз. В первую фазу затвор был перекрыт. Расход воды в реке упал с 3,6 до 2,5 м³/с. Через час затвор был поднят и в течение получаса произведён попуск со средним расходом 4,2 м³/с. Для наблюдения за динамикой уровней воды в реке организованы 7 постов, расположенных на расстоянии от 91,5 до 2 443 м от плотины. На большинстве створов интервал наблюдений составлял 1 минуту.

При расчёте небольших волн попусков для медленно изменяющегося неустановившегося движения в случаях, когда имеются топографические материалы, целесообразно использование одномерной модели неустановившегося движения воды (уравнения Сен-Венана). В данной мо-

Abstract. The article regards the movement of the negative and positive release waves from the reservoir on the Oredezh River. There was a model of unsteady water motion used for calculation the spread of the release wave. The release was conducted on 06/19/2017 and consisted of three phases. In the first phase, the gate was closed and the water discharge fell from 3.6 to 2.5 m³/s. An hour later the gate was raised and during a half an hour water was released with an average flow rate of 4.2 m³/s. There were 7 points organized to monitor the dynamics of water levels in the river. They were located at a distance of 91.5 to 2443 m from the dam. The observation interval was 1 minute on most targets.

There is advisable to use a one-dimensional model of unsteady water motion (Saint-Venant equation) for calculating small release waves of slowly changing unsteady water motion in cases where topographic materials are available. This allows to determine the stream features over the whole consid-

дели, описываемой линейными дифференциальными уравнениями в частных производных, исходные гидравлические и морфометрические характеристики задаются вдоль всего рассматриваемого участка реки. Эта модель позволяет определить рассчитываемые характеристики потока на всём рассматриваемом протяжении реки. Система разностных уравнений решается методом прогонки. В результате прямой и обратной прогонки получают значения расходов и уровней воды вдоль всего русла для очередного расчётного интервала времени. Определение величин расходов и уровней воды для последней точки последнего участка производится на основе граничных условий, к которым добавляются граничные разностные уравнения. После этого производится обратная прогонка.

Эксперимент показал, что используемая модель позволяет проводить расчёты неустановившегося движения воды на малых реках при пусках сравнимых с первоначальным расходом и дажекратно меньшим. Максимальные расхождения между измеренными и рассчитанными уровнями при прохождении отрицательной волны в створах не превысили 15,0 см, положительной – 4,0 см.

Ключевые слова: моделирование расходов и уровней воды; пуск на малой реке; скорость волны пуска; уравнение неустановившегося движения; формула Лагранжа; численный метод Института гидродинамики.

Введение

При пусках из водохранилищ на реках образуются волны, которые оказывают влияние на расположенные в нижних бьефах населённые пункты, мосты, водозаборы и т.п. В связи с этим определение параметров волн пусков имеет важное практическое значение. Для расчёта этих параметров используются разнообразные методы. Адекватность методов реальным условиям возможно проверить путём изучения волн пусков в естественных условиях. Такие исследования проводились в СССР в середине XX века на следующих объектах:

ered river extension. The system of difference equations is solved by the tridiagonal matrix algorithm. The values of the water discharge and water levels for the next estimated time interval are obtained along the entire channel as a result of this shuttle.

The experiment indicated that the used model makes it possible to calculate the unsteady water movement on small rivers with releases comparable to the initial water discharge and even less. The maximum variances between the measured and calculated water levels during the negative wave did not exceed 15.0 cm, and the positive one – 4.0 cm.

Keywords: simulation of water discharge and water levels; release on a small river; release wave velocity; unsteady motion equation; Lagrange formula; Institute of Hydrodynamics numerical method.

1. В нижнем бьефе Ивановской ГЭС на р. Волга [Гильденблат, Меркулов, Семиколенов, 1948]: максимальный расход пуска составил 250 м³/с при первоначальном расходе в 25 м³/с.
2. В нижнем бьефе Новотверецкой ГЭС на р. Тверца в 1959 году [Грушевский, 1964]: амплитуда расходов – 22-130 м³/с.
3. В нижнем бьефе Бухтарминской ГЭС на р. Иртыш [Грушевский, Русинов, Федосеев, 1965]: использовались волны половодья 1948 (3200 м³/с), 1953(3200 м³/с), 1955 (5700 м³/с) и 1964 годов (3700 м³/с).

4. В нижнем бьефе Нижне-Свирской ГЭС на р. Свирь в 1961 году [Иванова, Рупперт, 1966]: амплитуда расходов – 600-1250 м³/с.
5. В нижнем бьефе Белогорской ГЭС на р. Оредеж в 1961 г. [Розенберг, 1968]: амплитуда расходов – 5-25 м³/с.
6. В нижнем бьефе Новосибирской ГЭС на р. Обь [Дохнадзе, 1968]: максимальные амплитуды уровней составили 1,3 м.

В последующие десятилетия подобные работы практически не выполнялись. Все вышеперечисленные попуски характеризуются большими амплитудами, максимум волны кратно превосходил первоначальные расходы в русле. За исключением Белогорской ГЭС, эксперименты проводились на достаточно крупных реках.

Расчёты неустановившегося движения воды в реках, т.е. расчёты распространения волн попусков и паводков, связаны с удовлетворением запросов различных отраслей народного хозяйства. Так, при проектировании гидроузлов вычисляется ход уровней и расходов на значительном протяжении нижнего бьефа ГЭС при различных режимах работы станции, определяемых водностью года, сезоном, днём недели, временем суток и т.д. Особенно важно при этом для различных створов определение значений как максимальных уровней воды (из-за опасности затопления населённых пунктов, мостов, дорог, промышленных предприятий), так и минимальных (для обеспечения речного судоходства и нормального функционирования водозаборов), а также определение расходов воды и скоростей течения. Успешное решение практических вопросов, связанных с расчётами неустановившегося движения воды в реках, все в большей степени зависит не только от разработки теории и методов расчётов, но и от того, как будут применяться существующие методы расчёта. Поэтому центр тяжести проблемы при расчётах неустановившегося движения воды все более перемещается в область разработки оптимальных способов создания информационной базы для расчёта, наилучшим образом учитывающих специфику явления и позволяющих проводить расчёты на основе одномерных уравнений неустановившегося движения воды.

В данной работе проведён попуск на р. Оредеж и для расчёта распространения волны попуска использовалась модель неустановившегося движения воды (численная схема Института гидродинамики СО АН СССР).

Общие сведения об объекте исследования

Река Оредеж – правый приток реки Луги, бассейн Балтийского моря. Река берет начало недалеко от деревни Пятая Гора Волосовского района Ленинградской области (абсолютная отметка 110 м). Впадает в реку Луга (абсолютная отметка 31,8 м) с правого берега вблизи посёлка Плоское Лужского района Ленинградской области.

Длина реки Оредеж составляет 192 км, площадь водосборного бассейна 3 220 км². Общее падение реки от истока к устью составляет 78,2 м, соответственно уклон – 0,41 м/км. Русло реки извилистое, но сравнительно стабильное, коэффициент извилистости составляет 2,73.

Попуск проводился путём маневрирования одним из трёх затворов основного водосброса плотины бывшей Даймищенской ГЭС. Адрес плотины: Ленинградская область, Гатчинский район, д. Чикино. Волна попуска распространялась на участке длиной до 6 км вплоть до подпорной части верхнего бьефа Рождественской плотины. На рассматриваемом участке долина U-образная, шириной 200-250 м, коренные берега крутые, высотой 4-6 м. Нижний бьеф Даймищенской (Чикинской) ГЭС разбит на участки, ограниченные 7 створами. Пойма в районе створов 1, 2 и 3 двухсторонняя, шириной около 40, 250 и 85 м соответственно. В 4-м створе она имеет ширину около 80 м, в 5-м и 6-м – до 50 м и располагается только по правому берегу. В районе 7-го створа пойма левосторонняя, шириной до 90 м.

Исходные данные

Попуск проводился 19.06.2017 и состоял из трёх фаз. В первую фазу в 12 часов дня был перекрыт один из затворов. Остальные два затвора во время проведения эксперимента были закрыты. Расход воды в реке упал с 3,6 до 2,5 м³/с.

Уровень воды в водохранилище поднялся за час на 3,5 см, после чего, в 13 часов, затвор был поднят и в течение получаса, до 13.30, произведён попуск со средним расходом 4,2 м³/с. В 13:30 затвор был возвращён в первоначальное положение. Таким образом, отклонения от среднего расхода не превысили 35%.

Для наблюдения за динамикой уровней воды в реке организованы 7 постов, расположенных в 91,5; 274,5; 885; 907,3; 1396,5; 1442 и 2443 м от плотины. Водомерная сеть привязана к реперу водомерного поста р. Оредеж

– Чикино нивелировкой технического класса.

На 4, 6 и 7 створах интервал наблюдений составлял 1 минута, на 3 – наблюдения с таким интервалом начаты с 82 минуты эксперимента, на 5 створе – с 52 минуты, на 1 и 2 створах – интервал составил 10 минут.

Наблюдения за скоростью течения в точке велись на 1, 2, 4 и 6 створах.

Графики попуска (рисунок 1) начинаются с момента перекрытия одного из затворов в 12:00 19 июня.

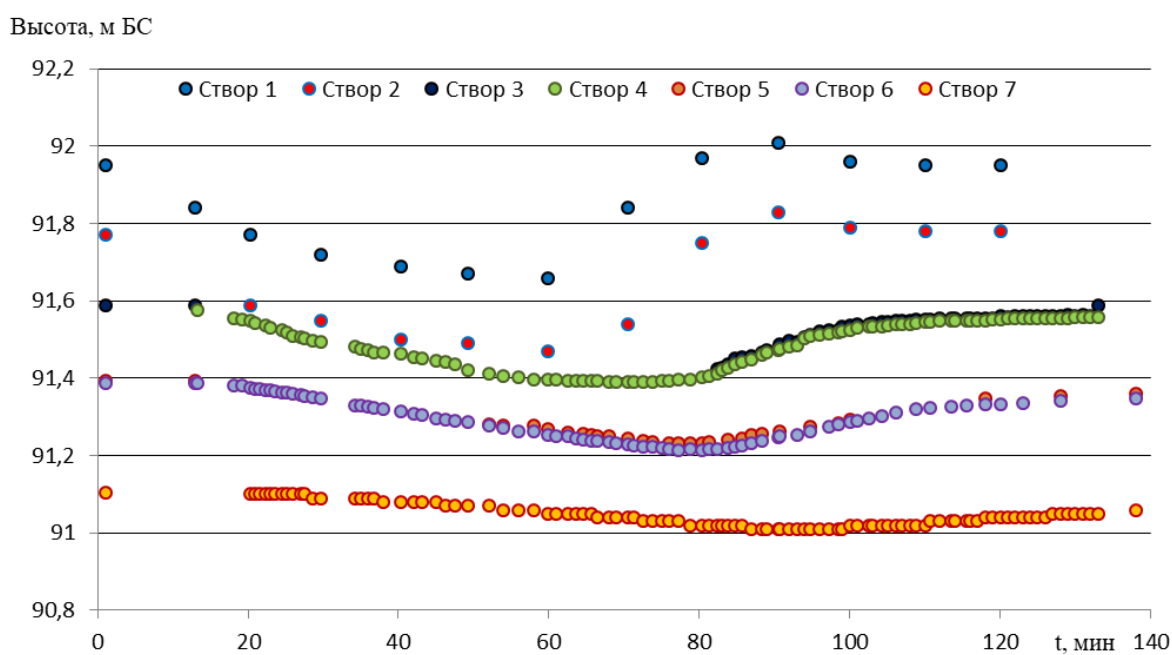


Рисунок 1. Измеренные уровни воды в створах 1-7 с 12:00 до 14:00 19.06.2017 г.

Figure 1. Measured water levels on 1-7 targets from 12:00 till 14:00 06/19/2017

Методика

При расчёте небольших волн попусков для медленно изменяющегося неустановившегося движения в случаях, когда имеются топографические материалы, целесообразно использование одномерной модели неустановившегося движения воды (уравнения Сен-Венана). Река ниже плотины разбита на участки, ограниченные вышеуказанными створами.

В используемой одномерной модели неустановившегося движения воды, описываемой линейными дифференциальными уравнениями в частных производных, исходные гидравлические и морфометрические характеристики задаются

вдоль всего рассматриваемого участка реки. Эта модель позволяет определить рассчитываемые характеристики потока (уровень, расход воды и среднюю скорость течения, а также изменяющиеся гидравлико-морфометрические характеристики) на всём рассматриваемом протяжении реки.

Дифференциальные уравнения неустановившегося движения воды в открытых руслах в общем случае (при наличии бокового притока) состоят из уравнения динамического равновесия (1) и уравнения неразрывности (2):

$$I = i_0 - \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{\alpha}{g} V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\beta}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V|V|}{C^2 R} + \frac{qV}{g\omega} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (2)$$

где I – поверхностный уклон, б/р;
 i_0 – уклон дна, б/р;
 x – координата, м;
 h – глубина, м;
 $\frac{\partial h}{\partial x}$ – дополнительный уклон, связанный с изменением глубин по длине русла, б/р;
 t – время, с;
 α и β – коэффициенты, характеризующие неравномерность распределения скоростей по поперечному сечению;
 g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с²;
 V – средняя скорость, м/с;
 C – коэффициент Шези, м^{1/2}/с;
 R – гидравлический радиус (для широкого открытого русла его можно заменить глубиной h), м;
 q – боковой приток на единицу длины, м²/с;
 ω – площадь живого сечения, м², при соответствующей отметке уровня Z , м;
 Q – расход, м³/с.

Независимыми переменными в данных уравнениях являются: координата x и время t , а их функциями – глубина h и средняя скорость V . При заданной форме русла, площадь живого сечения ω в рассматриваемом створе является известной функцией глубины, а расход Q определяется как произведение V и ω .

Первое слагаемое в правой части динамического уравнения (1) учитывает изменение скоростей по длине (отражает неравномерность течения). Этот член для рек обычно невелик и имеет значительную величину лишь в зонах резкого изменения сечения. Второе слагаемое – уклон, связанный с изменением скоростей во времени; он также обычно мал, кроме зоны резкого неустановившегося движения (вблизи ГЭС при пусках суточного регулирования). Третье слагаемое правой части – уклон трения, играет важную роль для речных участков.

Расчёт ведётся по неявной разностной схеме. Шаг Δx может быть различным для разных участков, шаг Δt – меняться в течение времени.

Производные заменяются разностными отношениями:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} \approx \frac{\tilde{Q}_n - Q_n}{\Delta t}, \quad \frac{\partial Z}{\partial t} \approx \frac{\tilde{Z}_n - Z_n}{\Delta t}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} \approx \frac{\tilde{Q}_{n+1} - \tilde{Q}_{n-1}}{2\Delta x}, \quad \frac{\partial Z}{\partial x} \approx \frac{\tilde{Z}_{n+1} - \tilde{Z}_{n-1}}{2\Delta x}, \quad (4)$$

где \tilde{Q} и \tilde{Z} – искомые величины в момент $t + \Delta t$.

Система разностных уравнений решается методом прогонки. В результате прямой и обратной прогонки получают значения Q и Z вдоль всего русла или системы русел для очередного расчётного интервала времени, т.е. выполняется расчёт очередного слоя.

Определение величин Q и Z для последней точки последнего участка производится на основе граничных условий, к которым добавляются граничные разностные уравнения. После этого производится обратная прогонка.

В Институте гидродинамики составлена компьютерная программа [Виноградова, 1986], которая предусматривает возможность расчёта простого русла без разветвлений, что имеет место в рассматриваемом случае.

Результаты исследования и обсуждение

Выделяют различные скорости распространения волн попусков: скорость распространения возмущения; скорость добега гребня волны; скорость добега экстремального расхода [Грушевский, 1969].

Скорость распространения возмущения (фронта волны) v_ϕ (таблица 1), оценена по формуле Лагранжа:

$$v_\phi = v_0 + \sqrt{gH_{cp}}, \quad (5)$$

где v_ϕ – скорость распространения фронта волны, м/с;

v_0 – начальная скорость, м/с;

g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с²;

H_{cp} – средняя глубина, м.

Скорости добега гребня волны v_z и распространения заметного возмущения [Грушевский, 1969] (заметных объёмов воды или

главной части волнового возмущения) v_6 были в точке (таблица 5) время добега-
измерены непосредственно в ходе эксперимента экстремального расхода (таблица 6) вычислено
(таблицы 2-4). По осреднённой скорости течения приближённо.

Таблица 1. Время и скорость добегаания отрицательной волны по Лагранжу

Table 1. Time and velocity of a negative wave by Lagrange formula

№ створа	Расстояние от плотины, м	Морфометрические характеристики русла	Скорость добега- ния v_ϕ , м/с	Время добега- ния волны, мин
Створ 2	274,5	прямой участок	2,84	1,6
Створ 4	907,3	3 излучины	2,84	5,3
Створ 6	1442	5 излучин	2,81	8,5
Створ 7	2443	9 излучин + бифуркация	2,69	15,1

Таблица 2. Время и скорость распространения заметного возмущения

Table 2. Time and velocity of a perceptible disturbance propagation

№ створа	время добегаания возмущения, мин		скорость добегаания v_6 , м/с	
	отрицательной волны	положительной волны	отрицательной волны	положительной волны
Створ 4	13	14	1,16	1,08
Створ 6	13,3	21,3	1,81	1,13
Створ 7	28,6	40	1,42	1,02

Таблица 3. Время и скорость прохождения гребня положительной волны

Table 3. Time and velocity of positive wave top

№ створа	расстояние от плотины, м	время добегаания, мин		скорость прохождения v_z , м/с	
		измеренное	расчётное	измеренная**	расчётная
Створ 1	91,5	90*	90	0,66	0,37
Створ 2	274,5	90*	91	0,63	0,41
Створ 3	885	113	110	-	0,32
Створ 4	907,3	113	111	0,39	0,26
Створ 5	1396,5	123	123	-	0,29
Створ 6	1442	123	124	0,33	0,30
Створ 7	2443	127	128	0,23	0,31

* – Дискретность измерений не позволяет установить более точное время прохождения гребня.

** – Измеренная скорость – скорость в точке, расчётная – средняя по сечению.

Таблица 4. Время и скорость прохождения гребня отрицательной волны**Table 4.** Time and velocity of negative wave top

№ створа	расстояние от плотины, м	время добегаия, мин		скорость прохождения v_2 , м/с	
		измеренное	расчётное	измеренная**	расчётная
Створ 1	91,5	60*	60	0,71***	0,31
Створ 2	274,5	60*	60	0,36	0,32
Створ 3	885	68	64	-	0,26
Створ 4	907,3	68	65	-	0,25
Створ 5	1396,5	80	72	-	0,25
Створ 6	1442	80	73	0,25	0,25
Створ 7	2443	87	92	0,36	0,28

* – Дискретность измерений не позволяет установить более точное время прохождения гребня.

** – Измеренная скорость – скорость в точке, расчётная – средняя по сечению.

*** – Принята измеренная скорость до открытия затвора

Таблица 5. Измеренные скорости в точке на створах, м/с**Table 5.** The measured velocities at a point on the targets, m/s

Время, мин	Створ №1	Створ №2	Створ №4	Створ №6	Створ №7
0	-	-	0,30	0,28	-
20	-	0,35	-	-	-
30	0,64	0,36	-	-	0,31
40	0,69	0,38	-	-	0,22
50	0,71	0,37	-	0,27	0,23
60	0,82	0,36	-	0,27	0,2
70	0,86	0,60	-	0,23	0,19
80	0,78	0,73	0,30	0,28	0,15
90	0,66	0,63	0,36	0,36	0,15
100	0,64	0,59	0,37	0,38	0,17
110	0,68	0,59	0,39	0,35	0,20
120	0,68	0,60	0,38	0,33	0,23
180	-	-	-	-	0,29

Таблица 6. Прохождение экстремумов расходов в створах, м³/с**Table 6.** Transit of extremes water discharge at the targets, m³/s

Время, мин	Створ №1	Створ №2	Створ №4	Створ №6	Створ №7
0	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
60	2,2	2,5			
70			2,5		
80				2,3	1,9
90	4,1	4,0			
120			4,3	4,2	

Для данного эксперимента расчётный интервал времени Δt принят равным 1 минуте. За начало расчёта принято 00 часов, за конец – 16 часов 19 июня 2017 года. До закрытия затвора в

12:00 движение воды считается установившимся. Результаты расчётов представлены на рисунке 2.

Начальные отметки (на 12:00) по створам при условии установившегося движения воды с

расходом Q_0 , равным среднесуточному расходу, приведены в таблице 7.

Результаты расчёта уровней при прохождении гребней отрицательной и положительной волн представлены в таблице 8.

В использованной схеме не учтены такие морфометрические особенности русла, как излучины (на всем протяжении нижнего бьефа их насчитывается 9) и наличие на расстоянии 2 175 м от плотины старицы, спрямлённой новой протокой, а также поймы. Поэтому надо иметь в виду, что реальные скорости могут существенно изменяться по ширине русла. В используемой расчётной схеме применено одномерное неустановившееся движение жидкости, что подразумевает пренебрежение поперечными и вертикальными составляющими скорости, а также центробежными инерционными силами, имеющие место на излучинах.

Коэффициент шероховатости рассчитан по створу №4 обратным путём, исходя из измеренной морфометрии русла и расходов воды, и принят постоянным для всего участка.

Наибольшие расхождения между измеренными и рассчитанными уровнями при прохождении отрицательной волны в створах не превышают 15,0 см, положительной – 4,0 см. Бóльшее расхождение при расчётах отрицательной волны объясняется, помимо вышеприведённых соображений, низким качеством измерения морфометрических русловых характеристик, особенно значимых при малых уровнях (при средней глубине в 0,63 м, амплитуда значений уровней при попусках достигала 0,4 м). Точность расчёта характеристик положительной волны весьма приемлема и близка к точности измерений.

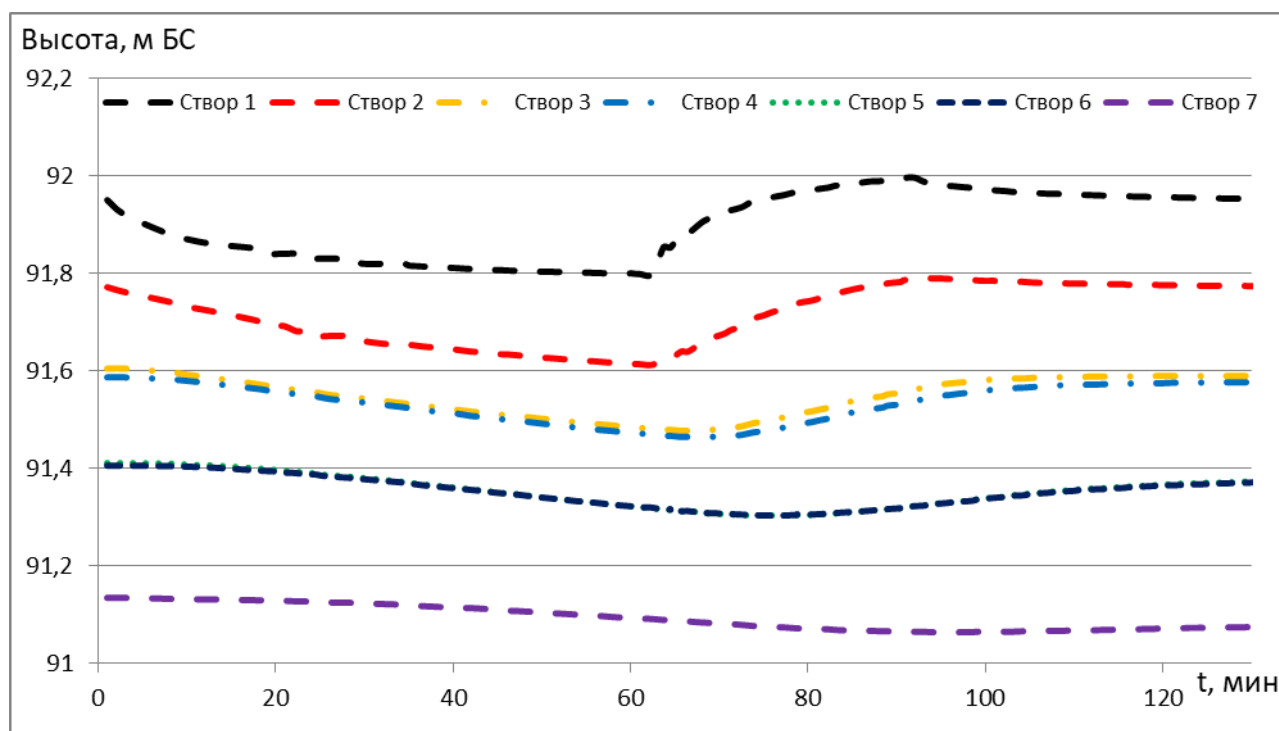


Рисунок 2. Рассчитанные уровни воды в створах 1-7 с 12:00 до 14:00 19.06.2017 г.

Figure 2. Calculated water levels on 1-7 targets from 12:00 till 14:00 06/19/2017

Таблица 7. Начальные отметки уровней в створах

Table 7. Initial water level marks at the targets

Уровни, м	Створ №1	Створ №2	Створ №3	Створ №4	Створ №5	Створ №6	Створ №7
измеренный	91,95	91,77	91,59	91,58	91,39	91,39	91,10
расчётный	91,95	91,78	91,60	91,59	91,41	91,41	91,13

Таблица 8. Измеренные и рассчитанные уровни при прохождении экстремумов волн**Table 8.** Measured and calculated levels during the transit of wave extremes

№ створа	Отрицательная волна, м		Положительная волна, м	
	измеренный	расчётный	измеренный	расчётный
Створ 1	91,66*	91,80	92,01	92,00
Створ 2	91,46*	91,61	91,83	91,79
Створ 3	-	91,48	91,56	91,59
Створ 4	91,39	91,46	91,55	91,57
Створ 5	91,23	91,30	91,35	91,37
Створ 6	91,22	91,30	91,34	91,37
Створ 7	91,01	91,06	91,05	91,07

* – Дискретность измерений не позволяет установить более точный уровень экстремума волны

Выводы

Формула Лагранжа может применяться только на прямолинейных участках русла, непосредственно вблизи водосбросных сооружений.

Несмотря на множество допущений, используемая модель позволяет проводить расчёты неустановившегося движения воды на малых реках при попусках сравнимых с первоначальным расходом и даже кратно меньшим. Максимальные расхождения между измеренными и рассчитанными уровнями при прохождении отрицательной волны в створах не превышают 15,0 см, положительной – 4,0 см. Точность расчёта характеристик положительной волны весьма приемлема и укладывается в точность измерений.

При расчётах отрицательной волны, модель даёт завышенные результаты, что объясняется низким качеством измерения морфометрических русловых характеристик, особенно значимых при малых уровнях и при выходе воды на пойму (уровень выхода на пойму в эксперименте не был достигнут).

Литература

- Виноградова Т.А. Закономерности распространения волны половодья в Обско-Тазовской устьевой области. Дисс. ... канд. геогр. наук. Л., 1987. 172 с.
- Гильденблат Я.Д., Меркулов В.В., Семиколонов А.С. Неустановившийся режим в нижнем бьефе гидроэлектростанции. М.: АН СССР, 1948. 144 с.

Необходимо отметить очень важный момент – наилучшее совпадение результатов расчёта имеет место при коэффициенте шероховатости, определённом по измеренным расходам воды и морфометрии створа (даже если это всего один створ). Тот факт, что в ежегодниках перестали публиковать таблицы измеренных расходов воды, приносит большой вред проектным расчётам. По данным прошлого столетия пытаются определить морфометрию створа и коэффициент шероховатости, хотя эти данные уже носят очень ориентировочный характер. Пора остро поставить вопрос о возобновлении в кадастровых материалах таблиц измеренных расходов воды.

Задача дальнейших работ – оценка влияния поймы и излучин на уровенный режим. Для этого необходимо границы участков располагать таким образом, чтобы они охватывали, по возможности, все излучины реки. Расход попуска при этом не должен превышать 4,5-5 м³/с. Влияние поймы необходимо оценивать при попусках с расходом не менее 6 м³/с.

References

- Gil'denblat Ya.D., Merkulov V.V., Semikolenov A.S. *Neustanovivshiiysya rezhim v nizhnem b'efe gidrostantsii [Unsteady mode in the downstream of the hydroelectric station]*. Moscow, Publ. of USSR Academy of Sciences, 1948. 144 p. (In Russian).
- Grushevskii M.S. O vliyanii poim na rasplastyvanie voln popuskov (po materialam nablyudeniia GGI na

Грушевский М.С. О влиянии пойм на распластывание волн попусков (по материалам наблюдений ГГИ на р. Тверце) // Труды ГГИ. Выпуск 117. Исследования неустойчивого движения воды в естественных руслах и водоемах / Под ред. Н.Е. Кондратьева, М.С. Грушевского. Л.: Гидрометеиздат, 1964. С. 56-62.

Грушевский М.С. Волны попусков и паводков в реках. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 337 с.

Грушевский М.С., Русинов М.И., Федосеев В.А. Расчеты затопления поймы р. Иртыша // Труды ГГИ. Выпуск 121. Исследования неустойчивого движения воды в открытых потоках / Под ред. М.С. Грушевского. Л.: Гидрометеиздат, 1965. С. 56-68.

Дохнадзе Г.П. Исследование распространения волн попусков на р. Оби в зимних условиях методом численного эксперимента // Труды ГГИ. Выпуск 140. Исследования и расчеты неустойчивого движения воды в реках / Под ред. М.С. Грушевского. Л.: Гидрометеиздат, 1967. С. 91-107.

Иванова А.А., Рупперт М.Л. Расчет распространения волн попусков на р. Свири в зимних и летних условиях и сопоставление его с натурными данными // Труды ГГИ. Выпуск 136. Исследования неустойчивого движения воды и русловых процессов / Под ред. Н.Е. Кондратьева. Л.: Гидрометеиздат, 1966.

Розенберг Л.И. Особенности расчета неустойчивого движения воды в условиях подпора // Труды ГГИ. Выпуск 161. Исследования неустойчивого движения воды и грядового перемещения наносов / Под ред. М.С. Грушевского. Л.: Гидрометеиздат, 1968. С. 58-64.

reke Tvertse) [On the effect of floodplains on the spreading of waves of releases (based on observations of the GGI on the Tverts river)]. In Kondrat'ev N.E., Grushevskii. M.S. (eds.) *Trudy Gosudarstvennogo gidrologicheskogo instituta. Vypusk 117. Issledovaniya neustanovivshegosya dvizheniya vody v estestvennykh ruslakh i vodoemakh* [Transactions of the State Hydrological Institute. Issue 117. Investigations of the unsteady movement of water in natural channels and reservoirs]. Leningrad, Publ. of Gidrometeoizdat, 1964, p. 56-62. (In Russian).

Grushevskii M.S. *Volny popuskov i pavodkov v rekakh* [Waves of releases and floods in the rivers]. Leningrad, Publ. of Gidrometeoizdat, 1969. 337 p. (In Russian; abstract in English).

Grushevskii M.S., Rusinov M.I., Fedoseev V.A. *Raschety zatopeniya поймы реки Irtysha* [Calculations of flooding of the Irtysh River floodplain]. In Grushevskii M.S. (ed.) *Trudy Gosudarstvennogo gidrologicheskogo instituta. Vypusk 121. Issledovaniya neustanovivshegosya dvizheniya vody v otкрыtykh potokakh* [Transactions of the State Hydrological Institute. Issue 121. Studies of the unsteady movement of water in open streams]. Leningrad, Publ. of Gidrometeoizdat, 1965, pp. 56-68. (In Russian).

Dokhnadze G.P. *Issledovanie rasprostraneniya voln popuskov na reke Obi v zimnikh usloviyakh metodom chislennogo eksperimenta* [The study of the propagation of releases waves on the Ob River in winter conditions by the method of numerical experiment]. In Grushevskii M.S. (ed.) *Trudy Gosudarstvennogo gidrologicheskogo instituta. Vypusk 140. Issledovaniya i raschety neustanovivshegosya dvizheniya vody v rekakh* [Transactions of the State Hydrological Institute. Issue 140. Investigations and calculations of unsteady water movement in rivers]. Leningrad, Publ. of Gidrometeoizdat, 1967, pp. 91-107. (In Russian).

Ivanova A.A., Ruppert M.L. *Raschet rasprostraneniya voln popuskov na reke Svir v zimnikh i letnikh usloviyakh i sopostavlenie ego s naturnymi dannymi* [Calculation of the propagation of waves of releases on the Svir River in winter and summer conditions and its comparison with field data]. In

Kondrat'ev N.E. (ed.) *Trudy Gosudarstvennogo gidrologicheskogo instituta. Vypusk 136. Issledovaniya neustanovivshegosya dvizheniya vody i uslovykh protsessov [Transactions of the State Hydrological Institute. Issue 136. Investigations of Unsteady Water Movement and Channel Processes]*. Leningrad, Publ. of Gidrometeoizdat, 1966. (In Russian).

Rozenberg L.I. Osobennosti rascheta neustanovivshegosya dvizheniya vody v usloviyakh podpora [Features of the calculation of unsteady water movement in conditions of backwater]. In Grushevskii M.S. (ed.) *Trudy Gosudarstvennogo gidrologicheskogo instituta. Vypusk 161. Issledovaniya neustanovivshegosya dvizheniya vody i gryadovogo peremeshcheniya nanosov [Transactions of the State Hydrological Institute. Issue 161. Investigations of the unsteady movement of water and ridge movement of sediment]*. Leningrad, Publ. of Gidrometeoizdat, 1968, pp. 58-64. (In Russian).

Vinogradova T.A. *Zakonomernosti raspriyazneniya volny polovod'ya v Obsko-Tazovskoi ust'voi oblasti. Diss. kand. geogr. nauk [Patterns of propagation of a flood wave in the Ob-Taz estuary region. Ph. D. (Geography) Thesis]*. Leningrad, 1987. 172 p. (In Russian).