

**ВОПРОСЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ НАВОДНЕНИЙ В ПОЙМЕ
р. ПРИПЯТЬ И ВЛИЯНИЕ ОБВАЛОВАНИЯ НА РЕЖИМЫ
МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА**

Повышение интенсивности сельскохозяйственного использования пойменных земель является одним из важнейших резервов увеличения объемов производства продукции сельского хозяйства. Однако продолжительное затопление пойм в естественных условиях ограничивает возможности ведения культурного луговодства на этих угодьях. Характерным примером является пойма Припяти, продолжительность почти ежегодного затопления которой достигает 3—4 месяцев, а в отдельные годы — весь вегетационный период.

Первоочередной задачей является регулирование продолжительности затопления поймы с целью вовлечения этих земель в интенсивное хозяйственное пользование.

Одним из радикальных средств защиты территории от наводнений считается создание водохранилищ многоцелевого использования. Однако возможности этого в бассейне р. Припять ограничены в силу геоморфологических особенностей рассматриваемого бассейна.

Недостаток регулирующих емкостей можно в значительной степени компенсировать за счет массового строительства небольших прудов-водохранилищ. В связи с этим особое значение приобретает определение рациональных режимов регулирования. В частности, представляет интерес использование регулирующих емкостей водохранилищ не для срезки пика паводка, а для аккумуляирования объемов воды на спаде половодья и сокращения за счет этого продолжительности половодья [1]. Одним из возможных средств регулирования стока на водосборе является создание резервных регулирующих емкостей по типу водохранилищ, действующих периодически и заполняемых только в годы прохождения высоких половодий и паводков (не чаще 1 раза в 5—10 лет). В остальные периоды эти емкости остаются опорожненными и территория может использоваться как обычно. Такие регулирующие емкости должны располагаться на основных, формирующих максимальный сток притоках. Для их создания могут быть отведены территории, не пригодные к интенсивному сельскохозяйственному использованию. В перспективе, по мере хозяйственной необходимости они могут быть превращены в постоянные водохранилища.

Ограниченные возможности создания водохранилищ не позволяют, однако, рассчитывать на полное упорядочение гидрологического режима поймы без специальных инженерных мероприятий.

Имеет смысл рассмотрение схемы регулирования продолжительности затопления поймы с помощью затопляемой системы обвалования, состоя-

щей из невысоких дамб и насосной станции повышенной мощности [2]. Принцип действия такой системы заключается в том, что обвалованная территория через специально предусмотренные сооружения затопливается водами весеннего половодья на подъеме и остается затопленной во время прохождения максимальных расходов воды и на первой стадии спада уровней. Сокращение продолжительности затопления обвалованной территории достигается за счет ускоренного сброса воды с помощью насосной станции после того, как уровень в реке станет ниже гребня дамбы.

Применение затопляемой системы обвалования позволяет сократить в 3–6 раз объемы земляных работ по дамбам обвалования. Вместе с тем в 1,5–10 раз (в зависимости от расчетного модуля откачки) увеличивается стоимость насосных станций, поскольку требуемая производительность их оказывается значительно выше по сравнению с обычными насосными станциями, работающими на незатопляемых польдерах.

Выполненные расчеты для условий Припяти (в. п. Коробы) в диапазоне площадей обвалования 300–2000 га показали, что затопляемые системы обвалования по капитальным затратам дешевле незатопляемых на 15–35% при модуле откачки насосной станции менее $0,01 \text{ м}^3/\text{с}$ с га. Однако при этом сокращение продолжительности затопления невелико. При модулях откачки более $0,01 \text{ м}^3/\text{с}$ стоимость затопляемых польдеров значительно выше незатопляемых из-за высокой стоимости насосной станции, которая не перекрывается экономией на земляных работах. Кроме того, эксплуатация затопляемых польдеров является более сложной: увеличивается опасность разрушения дамб, занесения обвалованных угодий песчаными наносами; велики затраты на послепаводковые ремонты по дамбам и мелиоративной сети. Из сказанного можно сделать вывод, что затопляемые системы обвалования в условиях поймы р. Припять могут использоваться в качестве дополнения в основном к незатопляемым системам обвалования. Таким образом, основным направлением инженерной защиты земель в пойме р. Припять является обвалование пойменных угодий незатопляемыми дамбами.

Разработка достоверного прогноза режимов максимального стока в условиях обвалования — ключевая задача создания экономичной и надежной системы противопаводковой защиты.

Исследования уровня режима и оценка его изменений в условиях обвалования поймы Припяти выполнены на основе сочетания методов математического и гидравлического моделирования. Такой подход позволил осуществить взаимное уточнение результатов и значительно расширить диапазон решаемых задач. Для моделирования максимального стока была составлена математическая модель камерного типа: русло реки с поймой разбивалось вдоль по реке на камеры. Движение воды интерпретировалось как процесс протекания воды из одной камеры в другую. Для математического описания процесса использовалась система дифференциальных

уравнений, аппроксимирующих уравнения неустановившегося движения воды [3]:

1) уравнение динамического равновесия без учета инерционных членов

$$Z_{i-1} = Z_i + \frac{1}{K^2} \Phi_{i-1} Q_{i-1}^2 \text{sign } Q_{i-1}, \quad (1)$$

где Z_{i-1} , Z_i – уровни воды в граничных створах; K – поправочный коэффициент на ледовые условия и зарастание; Φ_{i-1} – модуль гидравлических сопротивлений; Q_{i-1} – расход воды в верхнем граничном створе;

2) уравнение неразрывности (уравнение баланса воды):

$$Q_i = Q_{i-1} + R_i + \frac{dw_i}{dt}, \quad (2)$$

где R_i – боковой приток к i -ому расчетному участку; Q_i – расход воды в нижнем граничном створе.

Расчет прохождения паводка в условиях обвалования реки требует предварительной настройки модели для определения некоторых ее параметров, и в первую очередь коэффициентов шероховатости. С этой целью сначала было выполнено моделирование формирования наблюдавшегося паводка в естественных условиях поймы (без обвалования). Моделировался паводок 1976 г., поскольку по этому году имеются наиболее полные и достоверные данные гидрологических наблюдений, а морфологические характеристики отражают современное состояние поймы.

Расчет естественного режима на математической модели выполнен для участка р. Припять от в.п. Любязь до в.п. Мозырь.

Предварительно участок был разбит на 62 камеры средней длиной около 6,5 км исходя из условия, что перепад уровней между соседними расчетными створами не превышал 0,5 м. Для каждой расчетной камеры задавалась следующая морфометрическая информация: длина камеры по руслу и пойме, осредненные коэффициенты шероховатости отдельно для русла и для поймы, площади и смоченные периметры характерных сечений в диапазоне колебания максимального уровня с шагом по высоте 0,5 м.

Для обеспечения достоверности расчетов производилось деление некоторых камер. Окончательное их количество составило 94.

Исходными гидрологическими данными для расчета естественного режима были входной гидрограф на Припяти по в.п. Любязь, гидрографы по 26 притокам и 16 гидрографов склоновой приточности. В результате объединения гидрографов отдельных притоков и склоновой приточности всего в расчетах использовалось 37 гидрографов.

Расчеты естественного режима позволили: а) уточнить выбранную расчетную схему, т.е. определить необходимое количество и параметры расчетных камер; б) добиться устойчивости решения; в) уточнить коэффициенты шероховатости и тем самым добиться удовлетворительной сходимости вычисленных и наблюдаемых уровней и расходов и оценить точность моделирования.

В соответствии с принципами построения математической модели камерного типа одним из основных параметров является коэффициент шероховатости, который в данной постановке задачи представляет собой интегральную характеристику сопротивлений движению потока. Его величина определяется взаимодействием ряда факторов: общим состоянием поверхности поймы и характером растительности; особенностями местных сопротивлений; неравномерностью движения потока; возникновением водоворотных зон и обратных течений; взаимодействием пойменного и руслового потока и др. Путем визуального обследования поймы и использования материалов аэрофотосъемок для каждой камеры были определены пределы изменения коэффициентов шероховатости, а затем приняты осредненные коэффициенты. В процессе расчетов производилось сравнение результатов расчетов (расходов и уровней) с данными наблюдений. По результатам сравнения принятые за искомые коэффициенты шероховатости корректировались. Затем расчеты повторялись. За окончательные были приняты коэффициенты, совокупность которых дала наименьшее отклонение от данных наблюдений.

Средняя погрешность вычисления максимальных уровней составила примерно 10 см, наибольшая — 20 см, в процентах от амплитуды колебания горизонтов воды это равнялось соответственно 5,4 и 10%. Средняя погрешность вычисления максимальных расходов — примерно 9, наибольшая — 27%. Анализ показывает, что математическая модель позволила вычислить естественные уровни и расходы с точностью, соответствующей точности исходной информации. Это дает основание предположить, что погрешности расчетов и для условий обвалования не превышают допустимых значений.

Были рассмотрены три варианта сплошного обвалования Припяти на участке в.п. Речица — г. Мозырь с расстоянием между дамбами в среднем 2; 4 и 6 км. При этом учитывалось влияние, оказываемое защитными мероприятиями на исходные гидрологические и морфометрические характеристики. Изменения в морфометрической информации касались геометрических характеристик поперечных сечений. Гидрологические данные корректировались с учетом частичных изменений мест впадения притоков и сброса склоновой приточности. В связи с необходимостью увязки в календарном плане основных фаз максимального стока по основной реке, притокам и склоновой приточности в качестве расчетных для проектных условий были приняты 6 реальных лет — 1931, 1932, 1952, 1956, 1958, 1970, имеющих

1–18% обеспеченность по объему половодья и 5–10% – по максимально-му расходу, а также 1976 г. с максимальным расходом 25% обеспеченности.

Коэффициенты шероховатости для проектных условий уточнены на основе результатов исследований на физической модели. Принятые расчетные коэффициенты шероховатости в среднем на 10–12% меньше полученных при расчете естественного режима.

Общая протяженность расчетного участка 470 км (в. п. Речица – в. п. Мозырь). Участок был разбит на 120 расчетных камер. Для каждой камеры положение дамб задавалось расстоянием вправо и влево от оси реки. В результате расчетов, выполненных на ЭВМ ЕС–1020, получены уровни и расходы для каждой расчетной камеры по шести годам для трех вариантов обвалования.

С целью определения расчетных параметров максимального стока на клетчатку вероятностей с кривыми обеспеченности максимальных расходов и уровней в естественных условиях по водпостам были нанесены рас-

Т а б л. 1. Максимальные расходы и коэффициенты влияния дамб обвалования на максимальные расходы

Обеспеченность максимальных расходов	Варианты обвалования	Водпосты								
		Коробы			Туров			Мозырь		
		$Q_{\text{ест}}$ м ³ /с	$Q_{\text{пр}}$ м ³ /с	$K = \frac{Q_{\text{пр}}}{Q_{\text{ест}}}$	$Q_{\text{ест}}$ м ³ /с	$Q_{\text{пр}}$ м ³ /с	$K = \frac{Q_{\text{пр}}}{Q_{\text{ест}}}$	$Q_{\text{ест}}$ м ³ /с	$Q_{\text{пр}}$ м ³ /с	$K = \frac{Q_{\text{пр}}}{Q_{\text{ест}}}$
1	1	2210	—	—	3750	4425	1,18	6040	6570	1,09
1	2	2210	2330	1,05	3750	4650	1,20	6040	6740	1,12
	3	2210	2420	1,10	3750	4825	1,29	6040	6920	1,15
5	1	1550	—	—	2650	3250	1,23	4200	4740	1,13
	2	1550	1660	1,07	2650	3400	1,28	4200	4860	1,16
5	3	1550	1740	1,12	2650	3650	1,38	4200	5040	1,20
	1	1240	—	—	2140	2725	1,27	3390	3880	1,14
10	2	1240	1340	1,08	2140	2860	1,34	3390	4000	1,18
	3	1240	1420	1,15	2140	3100	1,45	3390	4160	1,23
25	1	832	—	—	1480	1990	1,34	2290	2720	1,19
	2	832	910	1,10	1480	2120	1,43	2290	2840	1,24
25	3	832	980	1,18	1480	2325	1,57	2290	2920	1,28

П р и м е ч а н и е: Вариант 1 – максимальное расстояние между дамбами, 3 – минимальное.

ходы и уровни, вычисленные для проектных условий. Проведенные по полученным точкам кривые обеспеченности максимальных расходов при обваловании параллельны соответствующим кривым в естественных условиях. Коэффициенты влияния обвалования на максимальные расходы (отношение расходов в проектных условиях к естественным) представлены в табл. 1.

Кривые обеспеченности уровней в проектных условиях не параллельны кривым обеспеченности естественных уровней (рис. 1). С уменьшением расстояния между дамбами кривые обеспеченности становятся более крутыми. Кривые обеспеченности максимальных уровней проектных вариан-

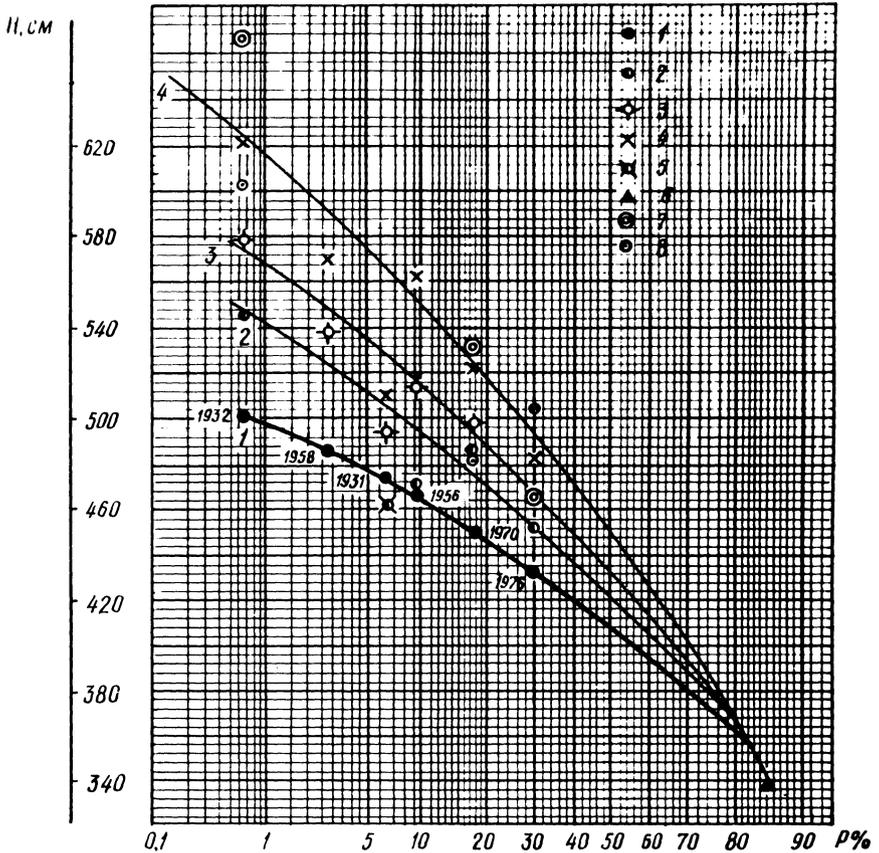


Рис. 1. Кривые обеспеченности максимальных уровней воды (р. Припять — в.п. Коробы) :

1 — естественный режим; 2, 3, 4 — проектные условия, соответствующие I, III и V вариантам расчета; 5 — данные расчета не приняты; 6 — выход воды на пойму; 7-8 — данные, полученные на гидравлической модели.

тов и естественных условий образуют пучок кривых, исходящих из точки, примерно соответствующей отметке выхода на пойму. Полученные величины превышения максимального уровня в проектных условиях над естественными при различных значениях обеспеченности представлены в табл. 2.

Сопоставление результатов расчетов режимов максимального стока 1932, 1970, 1976 гг., полученных на математической модели, с результатами гидравлического моделирования показало, что они согласуются удовлетворительно. Уровни на математической модели, как правило, несколько ниже уровней при соответствующих расходах на гидравлической модели. Так, по данным 1976 г., расхождения составили в среднем 6–8 и не превысили 10–13%, 1970 г. – в среднем 8–11 и не более 13–15%, 1932 г. – в среднем 17–19 и не более 20–23%.

Увеличение расхождений с ростом расходов объясняется, во-первых, использованием при математическом моделировании постоянных коэффициентов шероховатости. Специальные гидравлические исследования, а также результаты гидравлического моделирования участка Припяти в составе данных разработок показали, что в условиях закустаренных пойм с ростом уровня затопления в пределах высоты кустарника коэффициенты шероховатости возрастают.

Во-вторых, при определении параметров шероховатости для гидравлической модели в целях надежности, как правило, принимались верхние

Т а б л. 2. Превышение максимальных уровней воды в проектных условиях над естественными, см

Обеспеченность максимальных уровней, %	Варианты обвалования	Водпосты		
		Коробы	Туров	Петриков
1	1	40	95	140
	2	69	146	175
	3	118	197	230
5	1	34	86	113
	2	60	138	135
	3	96	182	175
10	1	28	85	95
	2	51	125	118
	3	82	169	150
25	1	19	64	65
	2	35	103	80
	3	53	140	103

пределы значений шероховатости, что способствовало некоторому завышению уровней на гидравлической модели.

Таким образом, выполненные исследования позволили оценить изменения режимов и параметров максимального стока под влиянием различных вариантов обвалования, определить надежные параметры системы обвалования и тем самым осуществить выбор наиболее экономичного варианта инженерной защиты территории от наводнений.

Л и т е р а т у р а

1. Г р и н е в и ч Л.А., Л у к о ш к о Р.Ф., Р у т к о в с к и й П.П. К определению рациональных режимов регулирования половодного стока водохранилищами при защите от наводнений сельскохозяйственных земель (на примере р. Птичь). — В сб.: Проблемы водного хозяйства. Минск, 1971.
2. Г р и н е в и ч Л.А. Принципы и методы оценки ущербов, причиняемых наводнениями, рациональные схемы инженерной защиты пойменных земель. — Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. совещ. "Комплексное использование водных ресурсов". Секция экономических проблем использования и охраны водных ресурсов. — Минск, 1975. 3.3 и в е р т А.А., Х е л м а н и с В.П. Расчет трансформации паводочных волн в русловых системах с учетом берегового регулирования. — Водные ресурсы, 1973, № 6.

УДК 628.17

И.К. Л а з а р ч и к

СОСТОЯНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВНУТРЕННИХ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

В настоящее время в жилищном строительстве имеет место тенденция к строительству зданий повышенной этажности (9,12,16 этажей или выше). Естественно, для них должны быть разработаны экономически выгодные проекты системы водоснабжения. Однако экономически обоснованных указаний по этому вопросу в литературе до сих пор недостаточно. Ввиду относительно небольшой стоимости внутренней водопроводной сети здания по сравнению с общей стоимостью дома на ее экономичность при проектировании высотных зданий особого внимания не обращают. Вместе с тем стоимость водопроводной сети можно несколько снизить, если правильно наметить количество вводов в здания, число зон водоснабжения и учесть наличие повысительных установок.

Из-за небольшого отставания развития системы водопроводов городов от интенсивного развития городской застройки в них ощущается некоторая нехватка воды. В то же время в зданиях, где имеет место большой напор на вводе, чем требуется по СНиПу, наблюдаются повышенные расходы воды (увеличение удельных расходов здесь достигает 25–40%, а в некоторых случаях — 60% [1]).