

1. Богославчик П.М., Филиппович И.В. Аварийный размываемый водосброс. — В сб.: Повышение долговечности конструкций водохозяйственного назначения. — Ростов-на-Дону, 1981, с. 252–253. 2. З у з и к Д.Т. Экономика водного хозяйства. — М., 1980. — 400 с. 3. Л е о н о в и ч А.И. Совершенствование конструкций шахтных водосбросов (Науч.-техн.информ. по мелиорации и водному хозяйству/ Минводхоз БССР. Минск, 1981, № 8, с. 15–19. 4. Методика (основные положения) определения экономической эффективности в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. — М., 1977. — 39 с. 5. Нормы амортизационных отчислений по основным фондам народного хозяйства СССР. — М., 1974. — 144 с. 6. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений. — М., 1969. — 16 с.

УДК 627.514:519.9

В.А.ХАВИЧ, канд.техн.наук (ЦНИИКИВР)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ОБВАЛОВАНИЯ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Технико-экономическая оптимизация систем противопаводкового обвалования рек при заданной расчетной обеспеченности половодий сводится к задаче назначения расстояний между дамбами.

Наиболее просто эта задача решается для защиты от наводнений отдельно взятого локального участка поймы. В работах ряда авторов [1–6] изложены ее решения, отличающиеся между собой принимаемыми критериями оптимальности, учитываемыми факторами, допущениями и ограничениями. Общим для указанных работ является подход, при котором оптимизация осуществляется путем вариантной проработки ряда расстояний между дамбами обвалования, на основании чего выбирается лучший по технико-экономическим показателям вариант.

В случаях создания развитых систем обвалования, охватывающих значительные части реки с притоками, а то и всю реку в целом, задача существенно усложняется. Это связано как с изменением водности по длине реки, так и с наличием непосредственных гидравлических связей между смежными участками системы.

Чтобы сформулировать задачу оптимизации развитой системы обвалования, рассмотрим большую по протяженности часть реки, которую разделим расчетными створами на элементарные участки.

При этом принимается некоторый расчетный перспективный уровень развития народного хозяйства на защищаемой территории. Считаются решенными вопросы мелиорации земель, чередования культур в севооборотах. Определены плановые значения сельскохозяйственного чистого дохода с единицы площади, урожайность рыбы с 1 га зеркала воды при затопленной пойме. Известны затраты на строительство 1 м³ дамбы, нормы затрат на эксплуатацию и на амортизацию системы. Заданы обеспеченность расчетных уровней половодья и соответствующие ей максимальные расходы в расчетных створах, а также возможные варианты расположения дамб.

Требуется найти совокупность расстояний между дамбами, отвечающую экономически оптимальному расположению дамб обвалования.

В настоящее время не существует единого, общепринятого критерия оптимальности. Из экономических показателей чаще всего в качестве критерия оптимальности используются либо минимум расчетных затрат (R), либо максимум чистого дохода (D), во многих случаях – максимум коэффициента экономической эффективности капитальных вложений (E).

Зависимость между критерием оптимальности и искомыми параметрами оптимизации устанавливается при помощи целевой функции, которая по минимуму расчетных затрат имеет вид

$$\min \sum_{i=1}^n R_i = f(v(S)), \quad (1)$$

где $v(S)$ – совокупность расстояний S между дамбами в расчетных створах (вектор состояния системы),

$$v(S) = \{S_1, \dots, S_n\}$$

при ограничениях

$$S_{\min i} < S_i \leq S_{\max i} \quad (2)$$

$$\text{и } Z_{i-1} - Z_i = \frac{\bar{Q}^2}{2g} \left(\frac{1}{\omega_i^2} - \frac{1}{\omega_{i-1}^2} \right) + \frac{\bar{Q}^2}{K^2} l, \quad (3)$$

где Z_i , ω_i – отметка свободной поверхности воды и площадь живого сечения в i -м створе; l – расстояние между соседними створами; \bar{Q} – средний расход воды на участке; K – модуль расхода; g – ускорение свободного падения.

Условие (3) выражает гидравлическую связь между соседними створами.

Сформулированная (1)–(3) задача вписывается в стандартную схему динамического программирования, в соответствии с которой минимум целевой функции (1) при соблюдении условий (2) и (3) отыскивается путем сведения одной многомерной задачи к многократному решению эквивалентной задачи, записанной для пары смежных расчетных створов и построения в итоге некоторых промежуточных подоптимальных стратегий. Подоптимальны они в том смысле, что каждому варианту расстояния между дамбами в данном створе (состояние системы) будет соответствовать оптимальная совокупность расстояний во всех нижерасположенных створах системы обвалования.

Продвигаясь по реке снизу вверх и решая эту задачу каждый раз для пары створов, мы подготавливаем с помощью промежуточных характеристик принятие окончательного решения, когда дойдем до верхнего входного створа системы. Зная суммы расчетных затрат при различных состояниях системы в этом створе и используя сохраненные в ЭВМ промежуточные вспомогательные характеристики, обратным ходом найдем искомую оптимальную совокупность расстояний между дамбами (рис. 1).

В процессе расчета по зависимости (3) определяется положение уровня свободной поверхности воды в междамбовом пространстве. Вычисляются соответствующая высота дамбы, ее объем, необходимые капитальные затра-

ты K и ежегодные издержки I . Определяются площади земель, защищенных от затопления и остающихся незащищенными. На основании этих данных вычисляются ущербы U , обусловленные наличием незащищенных земель, уменьшением площади пойменных нерестилищ, а также возможностью разрушений и затоплений в случаях катастрофических половодий. Просуммировав указанные затраты и ущербы, найдем величину расчетных затрат, соответствующих рассматриваемому варианту расположением дамб: $R(S) = E_H K + I + U$, где E_H — нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений.

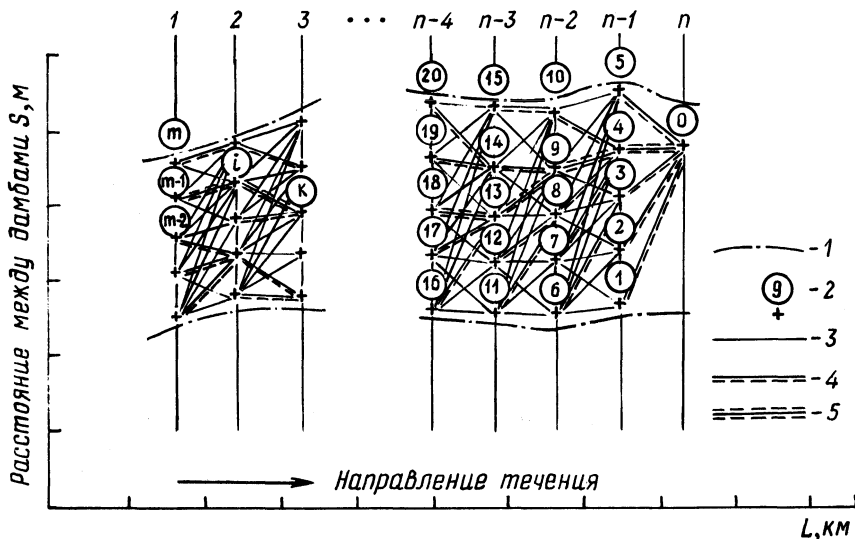


Рис. 1. Граф-схема оптимизации системы обвалования: 1 — границы изменения расстояний между дамбами; 2 — состояния системы; 3 — расчетные варианты; 4 — подоптимальные стратегии; 5 — оптимальное решение.

Из рис. 1 видно, что решение поставленной задачи оптимизации соответствует поиску на графе оптимального пути [7, 8] из створа 1 к створу n системы обвалования.

Рекуррентное соотношение для пары смежных створов i и $i + 1$ имеет вид

$$R_i(v_i(S)) = \min_s [r_i(S_j v_i) + R_{i+1}(S)], \quad (4)$$

где r — оператор вычисления расчетных затрат.

Следуя принципу оптимальности [8], предполагаем вначале, что достигнут створ $n - 1$ и до поставленной цели (состояние 0 в створе n) осталось выполнить только один шаг. Пусть в створе $n - 1$ имеется 5 возможных состояний (вариантов размещения дамб). Тогда переход от любого из этих состояний к створу n осуществляется единственным способом (см. рис. 1). В этом случае $R_n(S) = 0$ (так как ниже створа n дамб обвалования нет) и выражение (4) принимает вид

$$r_{n-1}(v_{n-1}(S)) = \min_s [r_{n-1}(S, v_{n-1})].$$

Вычислив и запомнив значения целевых функций для каждого из вариантов перехода от створа $n-1$ к створу n , переходим к следующему расчетному шагу, т.е. рассмотрим возможные пути перехода от створа $n-2$ к створу n . Для каждого состояния системы в створе $n-2$ существует уже некоторое множество вариантов перехода к створу n , а расчетная зависимость записывается следующим образом:

$$R_{n-2}(v_{n-2}(S)) = \min_S [r_{n-2}(S, v_{n-2}) + R_{n-1}(S)].$$

В соответствии с этим для каждого из состояний выбирается и запоминается оптимальный путь перехода к створу n (подоптимальная стратегия). Переходя, таким образом, от створа к створу, дойдем до створа 1, т.е. до начального створа системы обвалования.

Для каждого из состояний системы в этом створе вычислим минимальное значение целевой функции:

$$R_1(v_1(S)) = \min_S [r_1(S, v_1) + R_2(S)].$$

Из полученных выбирается решение с наименьшим значением R_1 . На рис. 1 это решение соответствует состоянию системы $m-1$. Проследивая из этого состояния в обратном направлении весь путь на графе, найдем всю оптимальную совокупность расстояний между дамбами. Так, на рис. 1 оптимальной будет последовательность состояний: $(m-1) - i - k - \dots - 18 - 13 - 9 - 4 - 0$.

Аналогично решается задача, если критерием оптимальности является максимум чистого дохода. В этом случае целевая функция имеет вид

$$\max \sum_{i=1}^n D_i = f(v(S)).$$

Ограничения остаются без изменений, а чистый доход без учета мелиоративных мероприятий на защищаемой территории определится в зависимости от расстояний между дамбами

(5)

$$D(S) = F \cdot u_p \left(1 - \frac{p}{100}\right) - I - u,$$

где F — площадь защищаемых земель; u_p — расчетное значение среднегодового ущерба от затопления 1 га территории, определенное для перспективного уровня развития; p — обеспеченность расчетного паводка.

Рекуррентное соотношение выразится следующим образом:

$$D_i(v_i(S)) = \max_S [d_i(S, v_i) + D_{i+1}(S)],$$

где d — оператор вычисления чистого дохода.

Рассмотрим теперь третий из упоминавшихся критериев оптимальности: максимум коэффициента экономической эффективности капитальных вложений. Этот показатель представляет собой отношение среднегодового эконо-

мического эффекта, достигаемого благодаря противопаводковым мероприятиям, обусловившим его капитальным вложениям:

$$E = D/K. \quad (5)$$

В отличие от двух предыдущих этот критерий не аддитивный и не мультипликативный. Казалось бы, по этой причине он не может быть использован для динамического программирования. В то же время и числитель, и знаменатель правой части выражения (5) могут быть представлены рекуррентными формулами, и тогда расчетное выражение примет следующий вид:

$$E_i(v_i(S)) = \max_S \left[\frac{d_i(S, v_i) + D_{i+1}(S)}{k_i(S, v_i) + K_{i+1}(S)} \right], \quad (6)$$

где k — оператор вычисления капитальных затрат.

При использовании зависимости (6) вычислительная схема динамического программирования несколько изменяется: запоминаются, а затем складываются не сами экстремальные значения функции цели, как в случае аддитивного критерия, а соответствующие этим значениям величины числителя и знаменателя. В остальном вычислительная схема остается без изменений.

Ввиду невозможности отдать предпочтение тому или иному из перечисленных критериев оптимальности целесообразно выполнять расчеты последовательно по всем трем показателям эффективности.

В результате получим некоторую область оптимальных решений по расположению дамб обвалования. Для принятия окончательного решения могут быть использованы дополнительные факторы, например, особенности микро-рельефа или инженерно-геологических условий, эстетические, ландшафтные и другие соображения.

Описанная математическая модель реализована в ЦНИИКИВР в виде программы для ЭВМ и апробирована на ряде реальных объектов.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Метод динамического программирования может успешно применяться для оптимизации систем противопаводкового обвалования рек.

2. Модификация стандартного метода позволяет в некоторых случаях использовать динамическое программирование и при неаддитивных критериях оптимальности.

3. Использование нескольких критериев оптимальности позволяет с различных точек зрения подойти к решению задачи оптимизации системы обвалования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гендельман М.М. Учет плановых деформаций русла при технико-экономическом обосновании обвалований. — Метеорология и гидрология, 1974, с. 69–73., № 6.
2. Глейзер Б.А. Расчеты обвалования рек при защите пойменных сельскохозяйственных земель от затопления паводками. — В сб. науч. тр. Всесоюз. объедин. "Союзводпроект", 1977, №47, с. 134–144.
3. Панади А.Д. Обвалование затопляемых земель. — Труды ВСХИЗО, 1963, вып. XIV, с. 65–81.
4. Панков П.И. Технико-экономический расчет обвалования рек в целях осушения земель. — Труды ЛатНИИГиМ, 1962, вып. 1, с. 310–317.
5. Хачич В.А. Оптимизация инженерных мероприятий по локальной защите пойменных

земель от наводнений. — В кн.: Наводнения на Дальнем Востоке и меры борьбы с ними. Владивосток, 1972, с. 89–91. 6. Руководство по проектированию польдерных систем сельскохозяйственного назначения (ВТР–П–19–79), Вильнюс, 1980. — 12 с. 7. В е н т - ц е л ь Е.С. Исследование операций. — М., 1972. — 552 с. 8. Б е л л м а н Р., Д р е й - ф у с С. Прикладные задачи динамического программирования. — М., 1965. — 458 с.

УДК 624.138 + 626.134

Л.В.ГЕТОВ, канд.техн.наук (БПИ),
В.В.СЕРБУН (БелНИИМивХ)

К ВОПРОСУ О МЕТОДАХ БОРЬБЫ С ФИЛЬТРАЦИОННЫМИ ПОТЕРЯМИ ВОДЫ

По данным публикаций, в условиях БССР в разное время проводились эксперименты по инфильтрационной защите земляных плотин, дамб [1–3] и водоемов [4, 5] торфяными и пленочными экранами. Однако широкого внедрения в практику водохозяйственного строительства республики эти способы не получили.

В лаборатории кафедры гидротехнического и гидромелиоративного строительства Белорусского политехнического института проводились исследование и разработка способов уменьшения инфильтрационных потерь воды из прудов и водоемов применительно к условиям республики. Отдельные результаты приводятся в данной статье.

Фильтрационные свойства грунтов и их смесей изучались на специальной установке, состоящей из серии металлических колонн диаметром 100 мм, которые были собраны из отдельных звеньев 100 мм каждое, позволяющих регулировать высоту колонн и напор воды над ними, а также толщину слоя исследуемого грунта.

В качестве исходного грунта использовался мелкозернистый песок. Уплотнение его производилось стандартными трамбовками конструкции ДорНИИ. Водно-физические и другие свойства определялись по общепринятым методикам.

Инфильтрационная защита песчаных грунтов высокомолекулярными синтетическими соединениями основана на полимеризации и поликонденсации их в грунтах с образованием плотного геля, прочно связывающегося с грунтовыми частицами и уменьшающего активную пористость грунтов. В опытах применялся полиакриламид — полимерное соединение, образованное на основе производных метакриловой и акриловой кислот.

Полиакриламид (ПАА) в вариантах опытов вводился в грунт в виде растворов в воде (концентрация 1, 3, 5 и 10 %). Дозы внесения раствора — от 1 до 10 % от массы грунта в воздушно-сухом состоянии. Выдержка обработанных ПАА образцов грунта перед созданием напора воды в колоннах — от 1 до 10 сут. Работа уплотнения образцов переменная.

Наиболее результативные данные одного из вариантов опытов приведены в табл. 1.