

УДК 626/627

ДИНАМИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА О СИСТЕМЕ «НИЗКОНАПОРНАЯ ПЛОТИНА-НЕОДНОРОДНОЕ ОСНОВАНИЕ»**Д.Т. Палуанов**, к.т.н., старший научный сотрудник**С.Р. Жураев**, ассистент*Научно-исследовательский институт Ирригации и водных проблем, doni_pol@mail.ru

*Ташкентский государственный технический университет

В статье рассматривается задача о системе «низконапорная плотина-неоднородное основание» при динамических воздействиях. При математической постановке задачи о сейсмическом поведении неоднородной модели использован вариационный принцип. Проведенные исследования решены пошаговым методом Ньюмарка. При проведении динамических расчетов основания низконапорных плотин на сейсмическое воздействие определена сейсмическая нагрузка. За счет динамических расчетов определены основные частоты и формы собственных колебаний исследуемого объекта.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, низконапорная плотина, водные ресурсы, основание, пьезун, перемещения, динамические воздействия, инженерно-геологические условия, частота Газлийской акселерограммы.

Данная работа подготовлена в рамках молодежного проекта КХАЁ-7-001 «Критерии для оценки безопасности основания низконапорных плотин с учетом влияния динамических воздействий». Целью работы являлось исследование системы «плотина-неоднородное основание» при динамических воздействиях.

Гидротехнические сооружения (ГТС) по своему предназначению играют основную роль для управления использованием водных ресурсов, их роль трудно переоценить для территорий с аридным климатом, какой является Республика Узбекистан. Большинство ГТС были построены в середине XX-го века и к настоящему времени частично или полностью исчерпали свой ресурс. Вместе со снижением эффективной работы сооружения повышается риск аварий, которые могут привести к непредсказуемым последствиям. Все вышеуказанные обстоятельства, прежде всего, оказывают негативное влияние на нормальное и безопасное функционирование водных объектов.

Вследствие нарастания дефицита водных ресурсов в республике возникает необходимость в строительстве новых ГТС в тех местах, какие ранее, с геологической точки зрения, считались непригодными для строительства ГТС. Вместе с этим существуют серьезные препятствия для строитель-

ства ГТС для управления использованием поверхностных вод, особенно речных. Причиной являются сложные инженерно-геологические условия территории строительства ГТС.

Для обеспечения населения устойчивыми водными ресурсами на многих территориях республики, которые остро испытывают дефицит водных ресурсов, созданы локальные водоемы. А для строительства сооружений для их управления, как вышеизложено, допускаемых территорий не имеется.

Согласно КМК [1], при проектировании основания ГТС должны быть предусмотрены решения, обеспечивающие надежность, долговечность и экономичность сооружений на всех стадиях строительства. Поэтому проектируемые сооружения оцениваются этими условиями. В этом плане низконапорные сооружения, как плотины, являются самым рациональным решением для строительства, как с экономической точки зрения, так и надежности, прочности и долговечности. Исходя из этого, в последнее время особое внимание уделяется строительству низконапорных сооружений в условиях дефицита водных ресурсов.

Для строительства таких важных сооружений имеются достаточно много препятствий, обусловленных отсутствием нормативной и технической литературы по сложным

инженерно-геологическим условиям, особенно, о наличие плавбуна. Несмотря на эти условия, приняты достаточные меры относительно настоящих существующих обстоятельств по предотвращению негативных воздействий плавбуна.

При проектировании основания ГТС динамические воздействия имеет особое значение. Из-за динамических воздействий разжиженные грунты переходят в плавунное состояние, что приводит к разрушению сооружений. Поэтому учет динамических (сейсмических, ударных, вибрационных) воздействий в строительстве сооружений и на их основе исследования системы «плотина-неоднородное основание» является актуальным.

Рассматривается динамическая задача о системе «низконапорная плотина-неоднородное основание» при динамических воздействиях, представленными силами инерции в точках системы. Кинематическое воздействие представляется ускорением основания в виде гармонической функции с частотой Газлийской акселерограммы. Расчетная модель системы и ее размеры показаны на рис. 1.

Расчет проводился методом конечных элементов (МКЭ). Этот метод широко распространен и позволяет производить расчеты и исследования динамических задач теории упругости для неоднородных областей различной конфигурации.

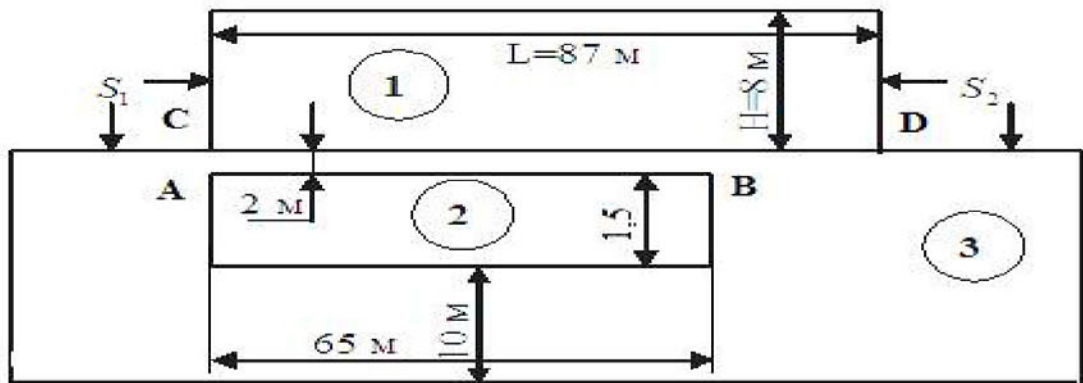


Рисунок 1 – Расчетная модель системы «плотина-неоднородное основание»

Исходные данные системы: 1-бетонная плотина, 2-плавун, 3-основание; физико-механические параметры бетонного сооружения $E=17e^3$ МПа, $\rho=2500$ кг/м³; грунт основания $E=15e^3$ МПа, $\rho=2500$ кг/м³; грунтовая масса $E=1e^3$ МПа, $\rho=2000$ кг/м³.

При математической постановке задачи о сейсмическом поведении неоднородной модели (рис. 1) используется вариационный принцип [2], согласно которому сумма работ всех сил (упругости, инерции, веса и гидростатического давления) на возможных перемещениях равна нулю:

$$\delta A = - \sum_n \left(\int_{V_n} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \int_{V_n} \rho_n \ddot{u}_i \delta u_i dV + \int_{V_n} \vec{f}_n \delta \vec{u} dV \right) + \int_S \vec{p} \delta \vec{u} dS = 0 \quad (1)$$

$i, j = 1, 2, 3.$

где \vec{u} , ε_{ij} , σ_{ij} - соответственно, вектор перемещений, тензоры деформаций и напряжений; ρ_n - плотности материалов системы; индекс n принимает значения: для сооружения ($n=1$), для области основания ($n=2$) и для области грунтовой массы ($n=3$); \vec{f}_n - вектор массовых сил (вес); \vec{p} - гидростатическое давление на поверхность S системы, контактирующей с водной средой (в основании, на верхнем и нижнем откосе). Граничные условия приняты, как в работе [3].

Для получения разрешающей системы уравнений методом конечно-элементной дискретизации, элементы объединяются в узловых точках, перемещения которых и являются решением вариационного уравнения (1), реализующим экстремум (минимум)

функционала работы. Полученная при этом разрешающая система дифференциальных уравнений (без учета диссипации) имеет вид

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{P(t)\}, \text{ где} \quad (2)$$

$$\{P(t)\} = [M]\{\ddot{u}_0\}$$

которая, в данном исследовании, решается пошаговым методом Ньюмарка [1]. В уравнении (2) $[K]$, $[M]$ – матрицы жесткости и массы всей модели, сформированные из соответствующих матриц отдельных элементов; $\{u\}$ – искомый вектор узловых перемещений; $\{\ddot{u}_0\}$ – ускорение основания.

Начальные условия приняты однородными (нулевыми), а динамическое (сейсмическое) воздействие представляется двухкомпонентным гармоническим (по горизонтальной и вертикальной осям) ускорением основания.

При проведении динамических расчетов основания низконапорных плотин на сейсмическое воздействие необходимо определить сейсмическую нагрузку, которая согласно спектрального метода расчета на сейсмостойкость сооружений определяется по формуле [4]

$$S_{ik} = Q_k A \beta_i \eta_{ik} \quad (3)$$

где Q_k – вес, приходящийся на k -ый узел; A – расчетная сейсмичность (0,1-7 баллов, 0,2-8 баллов, 0,4-9 баллов); β_i – коэффициент динамичности (обратно пропорционален периоду собственных колебаний); η_{ik} – коэффициенты нормированных по массе собственных форм, полученные при решении задачи на собственные значения.

Таким образом, первым шагом в динамических расчетах является нахождение основных частот и форм собственных колебаний исследуемого объекта, которые входят в формулу условной сейсмической нагрузки. Динамические характеристики системы «низконапорная плотина-неоднородное основание» определяются в отсутствии статического и динамического нагружений. В этом случае процедура МКЭ приводит к решению динамической задачи о собственных частотах и формах колебаний к решению проблемы о собственных значениях (ω – собственные частоты; $\{u\}$ – вектор соответствующей собственной формы)

$$([K] - \omega^2 [M])\{u\} = 0 \quad (4)$$

По полученным в ходе решения системы (4) формам, представляющим перемещения $\{u\}$ узловых точек модели, определяются перемещения внутри каждого элемента, а затем – деформации в элементах – при помощи уравнений Коши [5].

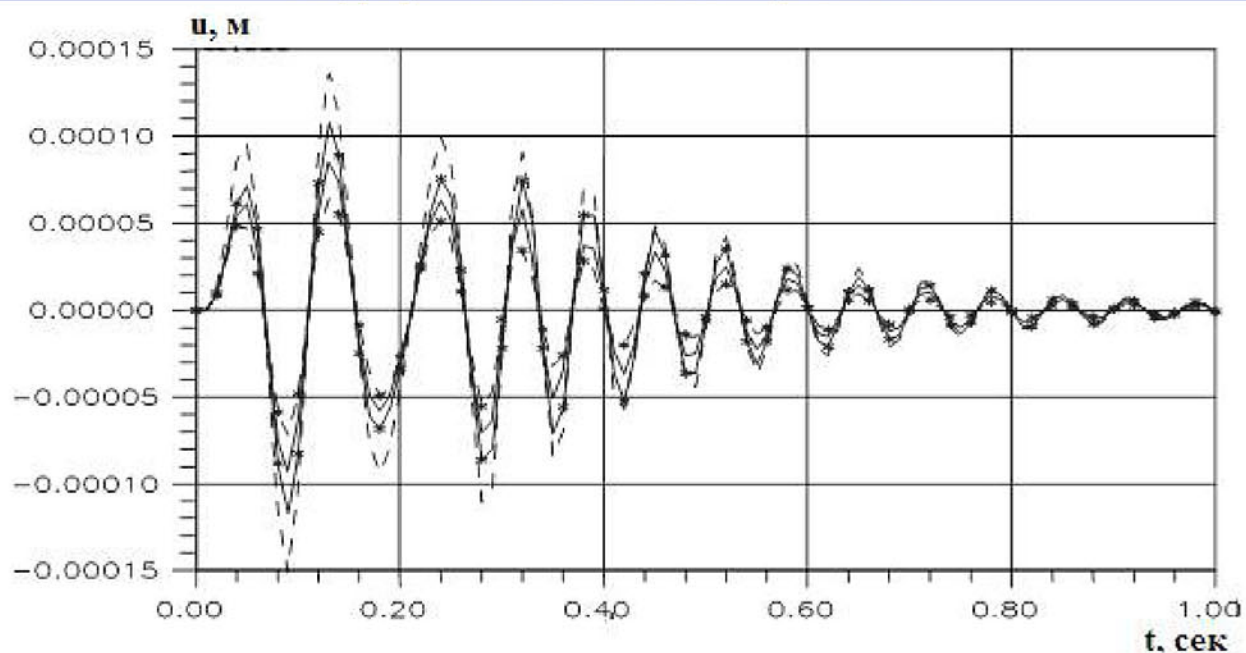
Воздействие с частотой Газлийской акселерограммы вызывает перемещения тех же точек системы, показанной на рис. 2.

В данном случае, когда частота воздействия много меньше основных собственных частот системы, уровень амплитуд и горизонтальных и вертикальных колебаниях практически одинаков в начале воздействия. В дальнейшем, после прекращения воздействия ($T=0,3$ сек) под влиянием диссипации колебания затухают, причем в отличие от вертикальных колебаний горизонтальные происходят синхронно (ср. рис. 2а и рис. 2б – после $T=0,3$ сек).

Несинхронные колебания концов сооружения наглядно проявляются при свободных колебаниях системы, вызванных ненулевым начальным смещением и продолжающимся, постепенно затухая без дополнительного воздействия. Результаты свободных колебаний двух точек (точка С – левое и точка D – правое подножие сооружения) представлены на рис. 3.

Свободные колебания концов сооружения на рис. 3 в горизонтальном направлении происходят синхронно (рис. 3а), тогда как вертикальные колебания концов сооружения происходят с различными частотами: более высокий частотный спектр имеет правая часть сооружения, находящаяся на жестком однородном основании, и низкий – левая. Это различие проявляется в некоторые моменты времени, когда перемещения концов сооружения имеют разные знаки. Например, при $T=0,05$ сек, 0,23 сек, 0,25 сек и т.д. Такое неравномерное движение точек сооружения может привести к неравномерным деформациям и повреждению сооружений.

а) Горизонтальные перемещения



б) Вертикальные перемещения

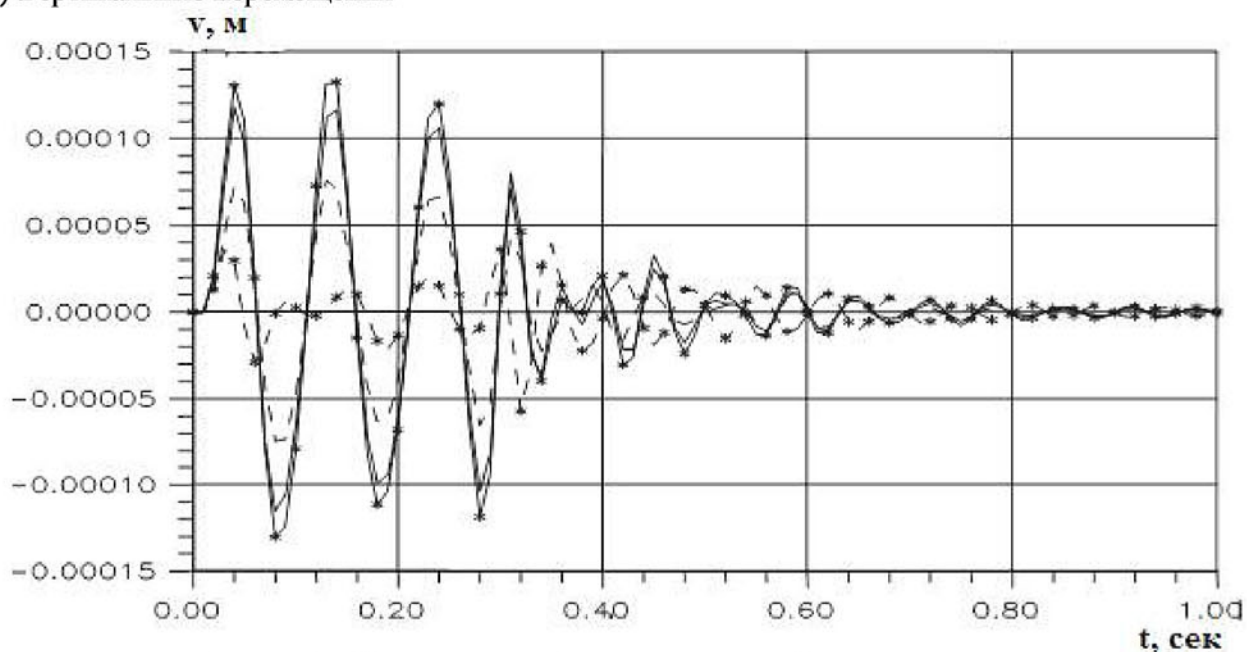
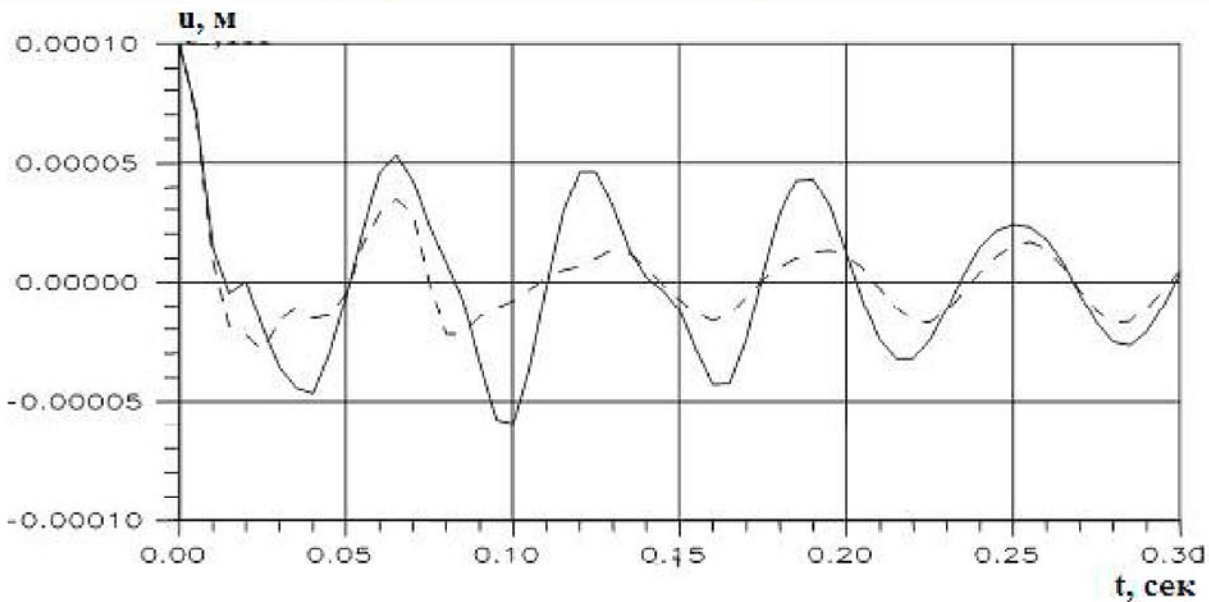


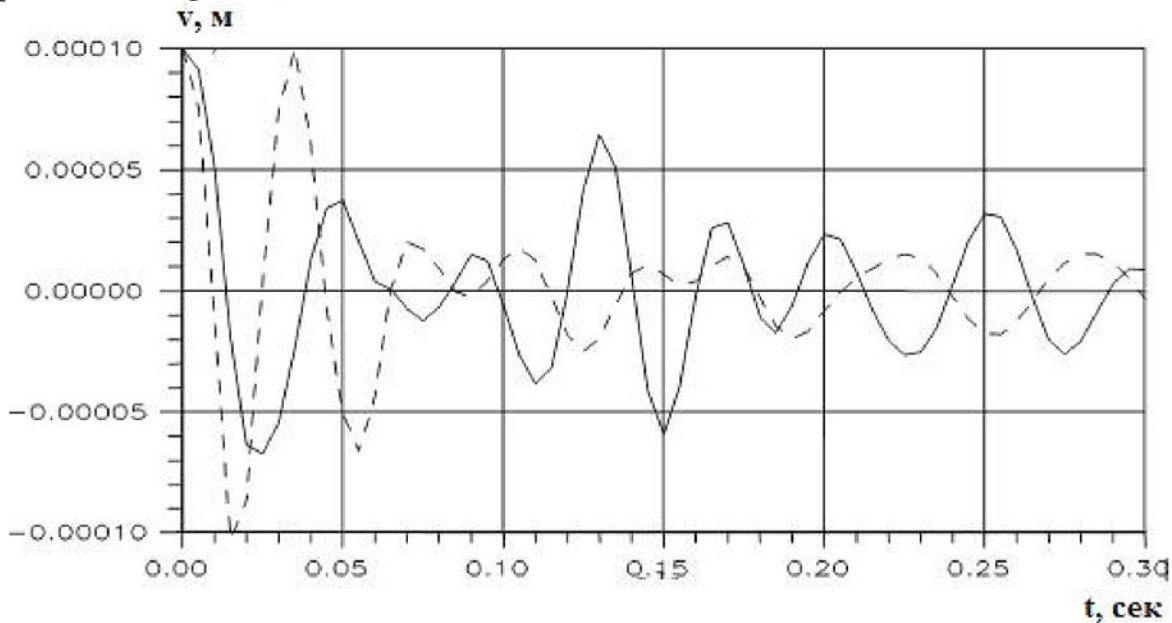
Рисунок 2 – Горизонтальные (а) и вертикальные (б) перемещения точек:

А (—), В (- - -), С (-x-x-), D (-o-o-o-) при воздействии с частотой Газлийской акселерограммы $p = 10$ Гц, с учетом диссипации

а) Горизонтальные перемещения



б) Вертикальные перемещения



б)

Рисунок 3 – Горизонтальные (а) и вертикальные (б) перемещения точек:

С (—), D(---) при свободных колебаниях системы, вызванных начальным смещением системы по осям с амплитудой 0,0001 м, с учетом диссипации

Выводы. Разработана расчетная модель для системы «низконапорная плотина-неоднородное основание». Исследовано динамическое поведение (горизонтальные и вертикальные перемещения) системы с различными свойствами грунта при двухкомпонентных воздействиях, вызывающих ко-

лебания по основным формам: учет трения в грунте приводит к затухающим колебаниям системы после прекращения воздействия; несимметричное расположение пьезуна под сооружением вызывает поворот жесткого сооружения в вертикальной плоскости.

Библиографический список

1. КМК 2.02.02-98. Основания гидротехнических сооружений. – Ташкент, 1998. – 126 с.
2. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 542 с.
3. Палуанов Д.Т., Абдураимов У.К. Расчет системы «плотина-неоднородное основание» при динамических воздействиях // Респ. науч. техн. конф. «Суғориладиган ерларнинг мелиоратив

холатини яхшилаш ва сув ресурсларидан самарали фойдаланиш муаммолари” мавзусида республика илмий-техник анжумани. – Т., 2015. – С. 342-347.

4. Справочник проектировщика. Под ред. А.А.Уманского. – М.: Стройиздат, 1960. 974с.

5. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т.2. – М., 1970. – 568 с.

DYNAMICLY PROBLEM ABOUT SYSTEMS «LOW HEAD DAM-NONHOMOGENEOUS BASE»

D.T. Paluanov, PhD, senior scientific researcher

S.R. Juraev, assistant*

Research institute of Irrigation and water problems, doni_pol@mail.ru

*Tashkent state technical university

This article is considered problem about systems «low head dam-nonhomogeneous base» at dynamic influences. At mathematical statement of problem about seismic behavior of heterogeneous model the variation principle is used. The conducted researches of solved by of incremental method of Numarka. At carrying out of dynamic calculations of low head dams basis on seismic influence seismic loading is defined. At the expense of dynamic calculations the basic frequencies and forms of own fluctuations of investigated object are defined.

Keywords: hydraulic engineering construction, low head dam, water resources, base, quicksand, movings, dynamic influences, engineering-geological conditions, frequency of Gazlijsky accelerogram's.

Гидротехника и мелиорация

УДК 626.814

ПОТЕРИ ВОДЫ НА ИСПАРИЕНИЕ ИЗ ИРРИГАЦИОННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ

Ф.А. Гаппаров, к.т.н., старший научный сотрудник

Научно-исследовательский институт Иригации и водных проблем, doni_pol@mail.ru

В статье предложена зависимость для определения температуры поверхностного слоя воды в водохранилище от температуры воздуха, направления, её изменения, среднегодовой температуры воздуха и глубины воды водохранилище. Получены зависимость между скоростью ветра на водохранилище и метеостанции. Приведены результаты расчета объемов испарения за год из ирригационных водохранилищ Узбекистана.

Ключевые слова: водохранилище, испарение, потери воды, температура воды, температура воздуха, скорость ветра, глубина водохранилищ, метеостанция.

Большие потери воды из водохранилищ уменьшают их надёжность как источников орошения. Надёжность сооружений – это свойство их сохранять во времени и установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах, условиях применения и технического обслуживания [1].

Ирригационные водохранилища должны обеспечивать подачу воды на орошаемые земли в необходимых для выращивания сельскохозяйственных культур объёмах и режимах.

Потери воды на испарение являются одной из расходных составляющих водного

баланса водохранилища, которая полностью теряется. Потери на испарение из водохранилищ Узбекистана значительны, как из-за климатических условий, так и по другим причинам, в том числе из-за малой глубины некоторых из них.

Чтобы определить размеры этих потерь из водохранилищ Узбекистана, нами были выполнены расчеты испарения из 52 водохранилищ. Расчеты сделаны согласно [2] с учетом объёмов водохранилищ, площади их зеркала и средней глубины, на основании наблюдений влажности воздуха, скорости ветра и других климатических характеристик за 10 лет на метеорологических и озерных