

**ВОПРОСЫ СОХРАННОСТИ АРХИТЕКТУРНЫХ И
АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ В УСЛОВИЯХ
ПОДТОПЛЕНИЯ ГРУНТОВЫМИ ВОДАМИ
(на примере территории Новгородского Кремля)**

Арефьева Е.В.

(Москва)

В статье рассматриваются проблемы подтопления исторических территорий. Специфика проведения осушительных мероприятий заключается в том, что памятники архитектуры нуждаются в осушении фундамента, а памятники археологии (культурный слой) в высоком расположении уровня грунтовых вод. Вода является консервантом для археологических памятников культурного слоя. Предложен, реализованный практически подход постановки и решения задачи управления режимом грунтовых вод в условиях застроенной исторической территории.

**THE PROBLEMS OF THE SAFETY OF THE
ARCHITECTURE AND ARCHEOLOGICAL MONUMENTS
IN CONDITIONS OF THE UNDERFLOODING OF THE
UNDERGROUNG WATTER (Novgorod Kremlin)**

Arefieva E.V.

(Moscow)

This article is devoted to the problems of the underflooding of underground water on the historical territory. The specific moment in this case in the next moment: Buildings need in the dry foundations, but the archeology monuments need in the groundwater, because the water conserves them. It suggest to develop special method for the solving of this problem.

В настоящее время большинство исторических городов в европейской части России находятся в подтопленном состоянии. В Ростовской области уровень сформировавшихся подземных

вод поднялся за последние годы на 4,5 -6 м и располагается на глубине 1-1,5 от дневной поверхности. Во Владимире, например, подтапливаются и деформируются здания старой застройки. Испытывает постоянные наводнения и подтопления Петербург. Саратов расположен на неустойчивых грунтах с высоким уровнем грунтовых вод. Подтапливаются некоторые районы Москвы, обостряются опасные оползневые и карстово-суффозионные процессы.(1) В итоге, в последние десять лет активно подтапливаются более 20% урбанизированных территорий. Опасные последствия подтопления городов проявляются в разрушении подвалов зданий, в обводнении и уменьшении несущей способности грунтов-оснований зданий.

В результате подтопления испытывают деформацию фундаменты старинных построек, памятников архитектуры, что приводит к необходимости применять различные осушительные мероприятия, например, использовать дренажные системы. Одновременно с этим, в результате проявления дренажного эффекта интенсифицируется целый ряд не менее опасных инженерно-геологических процессов: осадки грунтов, суффозия, проседания земной поверхности и т.д., что ведет к дополнительным деформациям зданий. Поэтому вопросы одновременной сохранности памятников архитектуры и археологии не являются простыми.

Исторические территории характеризуются наличием на них, помимо архитектурных памятников, культурного слоя. Подтапливаемые памятники архитектуры (ПА) требуют проведения водопонижительных работ, а памятники археологии -- культурный слой (КС) -- сохранения высокого положения грунтовых вод (вода является естественным консервантом для КС). Использование здесь стандартных методов проектирования дренажных систем представляет опасность для КС.

Например, для территории Новгородского Кремля характерно наличие бесценных археологических памятников, находящихся в культурном слое. Археологическими раскопками вблизи Новгорода, в Коломцах и на Городище обнаружены остатки поселений еще каменного века. Древний город скрыт под мощными напластованиями культурного слоя, росту которого способствовали, в том числе, пожары. Предметы ремесла, обихода,

берестяные грамоты со временем затаптывались людьми, животными и формировали культурный слой. Из многолетних исследований Кушнира И.И.(2) (Михайловский, Ильинский, Неревский Раскопы), следует, что культурный слой, относящийся к X веку залегает в среднем на глубине 6,6 м, слой XI в.-5,9 м, слой XII в.-4,4 м, XIII в.-3,4 м, слой XIV в.-2,3 м, XV в.-1,4 м.. По своему качеству культурный слой Кремля весьма неоднороден и состоит из двух основных горизонтов. Верхний, деструктурированный, представляет разрыхленный грунт с большим содержанием инородных включений (битый кирпич, камни, щебень и пр.). Нижний -- плотный с ненарушенной стратиграфией, темно-коричневый, обильно насыщен органическими остатками торфа, водонасыщенный. В результате верхняя часть КС, значительно разрушенная, не представляет особой ценности, и этот факт позволяет при необходимости уверенней назначать норму осушения для памятника, исключая ограничение, сдерживающее процесс дренирования.

На территории Новгородского Кремля в результате прокладки водонесущих коммуникаций, расширения их сети, продолжительной эксплуатации и старения возникло дополнительное инфильтрационное питание грунтовых вод верхнего горизонта, что, наряду с инфильтрацией атмосферных осадков, привело на территории Кремля к формированию в насыпных грунтах постоянного по времени техногенного водоносного горизонта, являющегося виновником подтопления.. Техногенные грунтовые воды в настоящее время залегают на сравнительно небольшой глубине(особенно в южной и центральной частях территории Кремля), и отсутствуют в зонах наилучшего дренирования подземного стока грунтовых вод засыпанными оврагами. Следствием сформированного техногенного горизонта явились деформации ряда историко--архитектурных памятников. Интенсифицируются неблагоприятные инженерно-геологических процессы, такие как подтопление, подпор, изменение температуры, химического состава (появление в грунтовых водах тяжелых металлов, нефтепродуктов, и т.д.),капиллярное увлажнение грунтов, фундаментов, заглубленных помещений, морозное пучение глинистых грунтов, суффозия, осадки грунтов, гидростатическое давление, засоление, заболачивание и т.д.

В связи с этим потребовалась разработка принципиально новой методики, обеспечивающей достижение и сохранение необходимой «архитектурно – археолого - безопасной экологической» ситуации.

Стержнем разработанной методики является система оптимизационного управления режимом грунтовых вод на застроенной территории, при этом дренажные системы являются основной частью подсистемы регулирования. Таким образом, требовалось построить некоторую оптимизационную модель регулирования режима грунтовых вод с учетом приемлемых допустимых диапазонов изменения положений УГВ, как для ПА, так и для КС. Методика основана на решении оптимизационной задачи в экстремальной постановке, где в качестве исходного уравнения для решения прямой задачи, описывающего процесс фильтрации, берется уравнение Буссинеска. В качестве управляющих воздействий (УВ) рассматриваются либо глубина заложения дрен(уровень воды в дренах-граничные условия первого рода), либо расход воды в них-граничные условия второго рода.

Для сохранения гидрогеологической оптимальной ситуации необходимо получать оптимальное компромиссное решение, удовлетворяющее ПА и КС. Рассматриваемые оптимизационные задачи включают: минимизацию критерия оптимизации $J(h,u)$ –неотрицательный функционал: который предлагается минимизировать на решениях, рассчитанных численными методами уровнях грунтовых вод-УГВ(функция $h(x,y,t)$), удовлетворяющих выбранной модели. Модель задана дифференциальным уравнением, описывающим процесс фильтрации к дренам-(уравнение Буссинеска с соответствующими граничными и начальными условиями) и удовлетворяющим ряду ограничений (неравенствам, определяемым предельными и критическими уровнями для ПА и КС). Общий вид функционала следующий:

$$J(h,u) = A_n J_n + A_k J_k + A_{np} J_{np} + A_{np} J_{np} + A_{kp} J_{kp} \quad (1)$$

где $J_{n,np}$ -слагаемые, отвечающие за оптимальное положение

УГВ с позиций памятника(предельный и критический УГВ для ПА), $J_{k,kp}$ -слагаемые, отвечающие за положение УГВ в допус-

тимальном диапазоне его колебаний, обеспечивающих сохранность культурного слоя. Весовые коэффициенты $A_{n,np,k,kr}$ определяют «вес» того или иного слагаемого, задают значимость соответствующего памятника. Варьируя величины этих коэффициентов математически формулируется задача компромисса между ПА и КС.

Например, вид функционала – критерия оптимизации для ПА:

$$J_n = \int_Q \max(h(\bar{x}, T, u) - H_n(\bar{x}), 0) d\bar{x}; h(\bar{x}, T, u) - \text{расчетный}$$

уровень, полученный в результате дренажных мероприятий, T - заданное время, $\bar{H}_n(\bar{x})$ -предельный УГВ для ПА, Q - заданная область. Область рассмотрения разбита на три части (для двух дрен), границами которой являются дрены. Уровень воды в дренах- искомый параметр управления. Для каждой из подобластей рассматривается уравнение Буссинеска в двумерной постановке. Исходные данные, такие как профиль водоупора, профиль культурного слоя, начальный УГВ, вводятся через специальный интерфейс. Для определения расчетного УГВ применяются численные методы, неявные разностные схемы второго порядка аппроксимации, решение сеточных уравнений- методом переменных направлений. Задача минимизации функционала решается методом проекции градиента. Градиент функционала $J(h, u)$ выражается через решение сопряженного уравнения к исходному уравнению для УГВ. Для критериев оптимизации приведены сопряженные уравнения, минимизация функционала реализована методом проекции градиента (5).

Постановка общей задачи оптимизации управления режимом грунтовых вод таким образом, может быть сформулирована следующим образом: требуется оптимальным образом (в соответствии с выработанными критериями оптимизации) осуществить мероприятия по ликвидации (предупреждению) процесса подтопления и поддерживать достигнутый (заданный) уровень в результате действия защитных мероприятий в течении длительного периода времени с учетом всех ограничений и принятых критериев в заданном диапазоне. Отметим, что постановка за-

дачи геофильтрации и решение, в том числе, обратных геофильтрационных задач, зависят от многих объективных и субъективных факторов. Поэтому для получения более адекватного управляющего решения требуется десятки раз варьировать факторы, изменять различные модельные представления. Решения оптимизационной задачи управления подземными водами зависят от следующих факторов:

- принятой условной схематизации гидрогеологического объекта;

- интерполяции и экстраполяции для восполнения недостающей информации о строении и структуре пласта, интерпретации решения обратных задач;

- способов задания "случайных помех", так называемых неконтролируемых входах и неуправляемых воздействиях;

- формализации целей управления, различных ограничений;

- методов оптимизации и численного решения поставленной задачи;

- способов технической реализации управляющих воздействий.

Таким образом, перебор данных различных вариантов представлений об исследуемом и управляемом объекте порождает множество вариантов постановок задач оптимизации. Поэтому найденные управляющие воздействия место расположения дренажа и расход воды в дренах могут носить только рекомендательный характер для лиц, принимающих окончательное решение..

Задача оптимизации управления режимом грунтовых вод состоит из трех, взаимосвязанных в процессе выработки управляющего решения, частей:

- решение прямой, в том числе, прогнозной задачи* определения положения уровенной поверхности через заданные промежутки времени с учетом заданных начальных и граничных условий;

- решение оптимизационной задачи* определения оптимальных управляющих воздействий (граничные управления, управления заданные в виде правой части уравнения и т.д.) с точки зрения обеспечения к заданному моменту времени заданного положения УГВ с имеющимися ограничениями, определяемыми

постановкой конкретной задачи (гидрогеологическая оптимизация);

-выбор оптимального варианта УВ, из предложенных по гидрогеологической оптимизации, (полученных во второй части решения задачи оптимизации), исходя из оптимизации по ряду критериев- экологический, экономический, технологический, быстроедействия и т.д.

В общем виде задача оптимального управления режимом грунтовых вод сформулирована следующим образом:

Требуется минимизировать функционал $J(h,u)$, т.е.

$$J(h,u) \rightarrow 0,$$

при условии, что УГВ (h) описывается уравнением Буссинеска (в гидравлической постановке) с соответствующими граничными (искомыми) и начальными условиями. В общем виде уравнение записывается так:

$$\mu \frac{\partial h}{\partial t} = \operatorname{div}(\bar{h} \cdot \operatorname{grad} h) + F(t, \bar{x}), \bar{x} \in Q, 0 \leq t \leq T;$$

где μ -коэффициент водонасыщения, h - коэффициент водопроницаемости.

Как известно, это уравнение параболического типа и в общем случае решать данное уравнение при соответствующих граничных условиях можно, используя численные методы.

Задача минимизации функционала $J(h,u)$ представляет собой обратную некорректную задачу. В предлагаемой постановке (задача на экстремум) нами использованы методы, изложенные в книге Ф.П.Васильева [1]. В частности, может быть использован метод проекции градиента. Для этого требуется определить градиент функционала $J(h,u)$, выражаемый через решение сопряженного уравнения к исходному. Получен вид критерия оптимизации, приведена постановка прямой задачи расчета УГВ, выведены сопряженные уравнения и выражения для градиента функционала. Приведены расчетные формулы метода проекции градиента для итерационного процесса минимизации критерия оптимальности. Численно реализован (выписаны и обоснованы разностные схемы и расчетные формулы) для случаев управления уровнем в дренах и расходом в дренах. Алгоритмы для дан-

ных случаев реализованы полностью, то есть написаны программы, разработана интегрированная система с графическим интерфейсом, объединяющая и реализующая основные элементы комплексной системы управления, включающей как участие эксперта (в диалоговом режиме) так и автоматическое определение оптимального уровня УВ.

Результаты работы были реализованы в практике осушительных мероприятий территории Новгородского Кремля совместно с отделом гидрогеологических изысканий ПНИИИС Госстроя России.

Литература:

1. Архив, 2000 г. №9-электронная версия журнала.
2. И.И.Кушнир архитектура Новгорода.,Ленинград,1991 г.
3. Арефьева Е.В.,ДзекцерЕ.С. Система оптимального управления режимом подземных вод. Водные ресурсы,том 21, №3, 1994 г..
4. Арефьева Е.В.Требования к системе управления природно-техническими системами(на примере застроенных исторических территорий).Консультант директора.2002 г.№4, №5.
5. Арефьева Е.В., Киселев Г.А. Некоторые особенности постановки археолого-архитектурной оптимизационной задачи управления грунтовыми водами на территории Новгородского Кремля. В сб.Проблемы истории, культурологии, права и управления, Москва-Смоленск,2000