КОМПЛЕКСНЫЙ IT-ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ГТС. ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА БАГАЕВСКОГО ГИДРОУЗЛА

Бойков О. И.
Шилов Д. С.
Копылов А. С.
ООО «СОЮЗВОДПРОЕКТ»

1. Введение

В 2017-2018 гг. ООО «СОЮЗВОДПРОЕКТ» разрабатывало часть проекта Багаевского низконапорного гидроузла на реке Дон. Результатом работ стал проект инженерной защиты зданий и территорий населенных пунктов от затопления и подтопления создаваемым водохранилищем. Для информационного обеспечения проекта и автоматизации процесса, команда проекта разработала специальную методику работы, отличную от классических методов проектирования, основанную на максимальном использовании возможностей современного программного обеспечения. Разработанная методика в будущем позволит сильно сократить трудовые и временные затраты при проектировании масштабных как географически так и по строительным объемам работ гидротехнических сооружений, в сравнении с затратами при классическом проектировании подобных сооружений.

Разработанная методика, большей своей частью, касается процесса подготовки данных для проекта, анализа исходной информации и обоснования проектных решений. Авторы, на конкретном примере, постарались решить проблемы нехватки и недостаточной полноты исходных данных, достоверности и оптимизации проектных решений.

Достаточно узкая специфика запроектированных сооружений не позволяет применять разработанную методику широко, по всей строительной отрасли, но, несмотря на это, кроме, непосредственно, сооружений инженерной защиты, методика пригодится проектировщикам, перед которыми стоят задачи по созданию дорожных объектов, линейных земляных сооружений или сооружений мелиорации.

Методика включает в себя три основных направления, комплексно охватывая спектр проблем, возникающих при подготовке исходных данных, их анализе и, собственно, в процессе проектирования.

2. Направления методики.

2.1 Топографическое обеспечение проекта

В качестве исходных картографических данных для проекта имелись: отсканированные карты из районных отделов архитектуры трех разных масштабов, результаты нескольких партий воздушно-лазерного сканирования, топографические основы из разных источников, гидрография рассматриваемого участка р. Дон, несколько видов

спутниковых снимков и данные из открытых источников, такие как OpenStreetMap, кадастровый план РФ, фондовые карты и планы.

Для работы с подобным набором информации и использования его в качестве основы для проектирования необходимо было его консолидировать, унифицировать, то есть привязать все разрозненные части массива данных друг к другу и к актуальной для проекта системе координат.

Данное направление методики описывает создание единой геоинформационной системы (ГИС), подключение в состав ГИС необходимых данных, преобразования и вывод информации как для портирования на другие информационные платформы так и для финального предоставления результатов работы.

2.2 Анализ данных

В процессе разработки проекта возникла необходимость интерактивного метода анализа информации при меняющихся исходных данных. Поскольку изменениям подвергались исходные параметры проекта и это напрямую влияло на конкретные проектные решения, был разработан метод скоростного, прозрачного и точного анализа данных, требующий минимальных трудозатрат.

Данное направление методики описывает механизмы подготовки и анализа данных, основанных на применении нескольких цифровых платформ, а также их динамическое взаимодействие и взаимное использование цифровых данных.

2.3 Решения и обоснования

Для защиты от затопления проектом предусмотрены защитные земляные сооружения – дамбы. Для защиты от подтопления - система локальных береговых дренажей со сбором стока в автоматические насосные станции и сбросом в р. Дон.

Чтобы обосновать принятые проектные решения и соблюсти необходимые строительные нормы, прописанные в действующей документации, принятые конструкции были рассчитаны по нескольким параметрам с применением специализированного программного обеспечения. Также, в соответствии с 87 постановлением Правительства РФ, был скомпилирован комплект документации для проверки ГлавГосЭкспертизой РФ.

Данное направление методики описывает способы расчетов принятых конструкций в соответствии с нормативной строительной документацией, применение тех или иных программных решений по задачам обоснования проектных решений и выводу информации «вовне».

Отдельной темой в направлении описано обоснование проектных решений по инженерной защите от подтопления, а именно – создание геофильтрационной модели для участка проектирования, что само по себе

является отдельной сложной задачей и требует специального подхода для ее решения.

Перейдем к более детальному описанию методики по предложенной схеме.

3. Топографическое обеспечение проекта

Из краткого описания направления видно, что для проекта был использован гигантский массив информации. Для его консолидации, унификации использовался программный ГИС комплекс qGIS. Практически безграничные возможности комплекса в области позволили без существенных временных затрат собрать воедино для последующего анализа всю имеющуюся информацию: кроме собранных фондовых данных в общую среду интегрировались материалы, полученные в процессе изысканий и проектирования. Например, точечные результаты проводимых гидрогеологических исследований, необходимые элементы геологическое разведки, данные кадастра и т.д.

На этом, начальном этапе была создана ГИС «Багаевский ГУ». В базу данных ГИС вошли все имеющиеся исходные данные. Механизм работы ГИС позволил привязать и организовать работу с базой данных, общим объемом более чем 300 гигабайт. Это позволяло на любом этапе работ всесторонне изучать ситуацию, оперативно получать ответы на возникающие вопросы и готовить данные для дальнейших этапов проектирования.

Далее эта ГИС постоянно использовалась при подготовке разделов проекта систем инженерной защиты. С ее помощью привязывались и перепривязывались массивы карт, происходил перевод данных из растра в вектор, производилась непосредственная работа с поверхностями – обрезка, создание, вычитание, параметризация. Кроме анализа собранных данных, qGIS использовался для обработки полученных результатов моделирования, а также для их визуализации и подготовки к печати.

В процессе проведения инженерных изысканий, все полученные результаты также занимали свое место в общей ГИС, в полной мере служа основой для проектных решений. Далее, по мере готовности, в систему были включены прогнозные расчетные модели уровней свободной поверхности воды и грунтовых вод до возведения защитных сооружений. Сами проектные решения систем инженерной защиты, после их утверждения также были включены в ГИС в трехмерном интерактивном виде. Финальным набором данных, включенных в общую систему явились прогнозные расчетные модели уровней свободной поверхности воды и грунтовых вод после возведения защитных сооружений

Из полученного материала, на начальном этапе, была создана общая для всего проекта единая рабочая поверхность - цифровая модель рельефа (ЦМР), общей площадью 3 300 км^2 (Сингапур+Люксембург). В ее основу вошли данные воздушно-лазерного сканирования, топосъемка,

масштабов 1:2000 и 1:500, гидрография по 70 километрам реки Дон и интерполированная из планшетов 1:25000, поверхность всей поймы рассматриваемого участка. При более разреженной триангуляционной сетке на границах ЦМР, в частях, предполагаемых к размещению сооружений, сетка максимально сгущалась.

Благодаря применению цифровых методов обработки информации, инструментарию программного обеспечения и напряженной работе по интерполяции нескольких графических станций, созданная ЦМР обеспечивала крайне высокую точность расчетов объемов работ.

На дальнейших этапах, кроме непосредственного использования как топографической основы проекта, ЦМР была использована: как основа для создания более узких трехмерных гидро- моделей, как основа для размещения всех объектов гидроузла в виде цифровых трехмерных объектов, для территориального планирования, для зонирования территорий и для многих других целей внутри и за пределами проекта.

Собранная же в рамках проекта ГИС, благодаря изначальному принципу интерактивности элементов, может быть использована на всех дальнейших стадиях существования гидроузла, таких как строительство, эксплуатация и мониторинг за сооружениями. По сути, созданная ГИС является основой для общей BIM-модели сооружений Багаевского ГУ.

4. Анализ данных

Второе направление методики посвящено решению весьма частой проблеме проектирования, такой как изменение исходных данных. В процессе проектирования Багаевского ГУ было принято решение по изменению НПУ водохранилища на 0,8 м по сравнению с НПУ, данной в Техническом задании к проекту. Естественно, что это привело к полной переделке выполненного на тот момент объема проекта, но для принятия решений по этим изменениям пришлось заново выполнить полный анализ всех имеющихся данных. В принципе, задача анализа данных стоит во главе любого проекта и не явилась неожиданностью, но учитывая крайне энергозатратную процедуру подобного анализа, нами был проработан механизм, позволяющий свести трудозатраты к минимуму.

Для поиска изменений анализировалось 200 километров береговой линии по границе затопления. 3300 км^2 территории для прогноза подтопления территорий. Кроме того, что анализ служил для дальнейшей разработки проекта, данные результаты также представлялись заказчику в виде сводных таблиц по районам с перечнем затрагиваемых участков, географическими, геометрическими и количественными данными.

Фактически, рассматриваемая поверхность земли, свободная поверхность воды в водохранилище при заданном расходе и уровень грунтовых вод – являются сложными трехмерными объектами. Чтобы отразить линии их пересечения (границу затопления и подтопления) с минимальной невязкой, необходимо максимально адекватно построить

все эти поверхности, привязать их к одной системе координат и пересечь в какой-либо трехмерной среде.

В качестве исходных данных для построения свободной поверхности воды использовалась исходная гидрологическия информация - графики зависимости Q от h, построенные, в свою очередь с использованием трехмерной гидродинамической модели (выполнялась другой организацией). Свободная поверхность воды строилась по имеющейся кривой по принципу равномерно распределенного подпора в программном комплексе AutoCAD Civil 3D.

Поверхность земли - это созданная в qGIS рабочая поверхность всей поймы (ЦМР). Уровень грунтовых вод - трехмерная поверхность прогнозного УГВ построенного в геофильтрационной модели. Модель выполнялась силами нашей организации.

Механизм подготовки результата представляет собой следующее. Из ГИС в AutoCAD Civil 3D в соответствующей системе координат портируется ЦМР. В этой среде (Civil) поверхности пересекались. В случае с затоплением создавалась трехмерная замкнутая полилиния, в плане представляющая собой зону затопления соответствующим расходом. В случае с подтоплением при вычитании поверхностей создавались группы замкнутых полилиний, представляющих собой области территории, которые будут подтоплены в результате создания водохранилища. Основная группа разделена на подгруппы в соответствии со степенью подтопления.

Необходимые данные по полученным участкам, извлекались путем связанных активных таблиц и конвертировались в электронные таблицы Excel (XLS). В полученных таблицах представлялась информация о количестве, размерах, географических координатах, наличии хозяйственных объектов и сооружений. Таблицы были разделены по районам для удобства предоставления заказчику. Эта сопутствующая задача была решена по отдельной просьбе заказчика и в дальнейшем разработанная методика позволила решить множество подобных задач, не входящих непосредственно в техническое задание.

Возвращаясь к основной линии проекта, полученные линии отправлялась обратно в ГИС для окончательной обработки и добавления необходимой географической информации. Полученные результаты заняли свое место в ГИС и в таком интерактивном виде использовались на дальнейших этапах проекта всеми участниками.

Таким образом, был создан механизм, позволяющий адекватно, прозрачно и крайне быстро приготовить материал для анализа, анализировать, обрабатывать и применять результаты для дальнейшей работы в рамках проекта. К примеру, описанная ранее задача по анализу 3300 км^2 нижней поймы Дона и 200 км береговой зоны, применяя данный механизм, решалась нами, на поздних стадиях проекта, за несколько часов.

Надо заметить, что описанные выше направления, не являются, непосредственно, частью проектирования. Здесь были рассмотрены только механизмы подготовки, консолидации и анализа иходной информации, а не задачи самого проекта.

Хотя необходимость решать эти задачи была известна заранее, проектирования, их бескомпромиссность и безальтернативность их решения стали для нас неожиданностью.

5. Решения и обоснования

5.1 Инженерная зашита от затопления

Для защиты от затопления было решено применить защитные земляные сооружения – дамбы. Основной метод проектирования дамб представлял собой набор расчетов, описанный в классической и неизменной нормативной документации. На данном этапе методика подразумевает замену сложных и трудоемких процессов максимально автоматизированными на всех ступенях проектирования.

Вначале были определены основные геометрические характеристики сооружений.

Исходя из условий эксплуатации сооружений были заданы расчетные схемы и собраны нагрузки. Расчет дамб на прочность и устойчивость проводился в программном комплексе Plaxis. По результатам расчета было принято заложение верховой и низовой граней сооружения, тип и основные характеристики конструкций укрепления откосов и гребня дамб.

В качестве крепления верхового откоса дамбы, исходя из максимально воздействующей нагрузки от льда, было принято крепление сборными железобетонными плитами, толщиной 15 см с омоноличиванием по контуру. Подстилающим слоем является шебень и фильтрующий геотекстиль. В качестве упора конструкции верхового крепления служит железобетонный брус, установленный в предохранительную упорную каменную призму.

Низовой откос необходимо было защитить от действия стекающей воды при переливе дамбы. Крепление, предусмотренное на нем – геосинтетический материал геомат с заполненим щебнем со связующим компонентом (Энкамат А20). Данный вид крепления имеет ряд существенных преимуществ перед классическим решением – креплением каменной наброской, но имеет большую стоимость.

Энкамат А20 устраивался по слою растительного грунта, и предполагает возможность впоследствии произвести по поверхности крепления гидропосев и превратить низовой откос дамб, обращенный к жилым строениям местных жителей, в «зеленую» стену, элемент ландшафтной архитектуры.

Крепление гребня выполняется щебнем средней крупности по экструдированной георешетке для препятствия возникновения колейности и распределения колесной нагрузки.

В соответствии с классической схемой подобных сооружений в основании дамбы, со стороны берега, предусмотрен горизонтальный трубчатый дренаж в щебенистой обсыпке. Обсыпка выполнена в виде призмы, обернутой фильтрующим геотекстильным материалом Typar. Дрены устроены с уклоном к автоматическим насосным станциям с итоговым сбросом дренажного стока в р. Дон.

Для подборов мощностей насосов, эффективного диаметра дренажных труб и схем и глубины заложения самого дренажа гидрогеологическим отделом была выполнена трехмерная математическая гидрогеологическая модель и детальный расчет будущих дренажных систем. На выходе, упомянутая модель давала приток (удельный расход) к дренам в каждом конкретном месте их применения. Эти данные позволили без труда принять необходимые схемы дрен и подобрать насосы для насосных станций. Подробней геофильтрационная модель будет описана ниже.

Также в составе сооружений защиты имеется конструкция, обеспечивающая сброс дождевого стока с защищаемой территории.

В соответствии с начальными условиями, среди расчетных схем работы дамб был перелив, а также и такая схема, где при отсутствии уровня воды со стороны реки, уровень воды со стороны берега равен отметке гребня дамбы. Для подобного сооружения это нестандартная ситуация, поэтому в конструкциях дамб возникли дополнительные устройства, обеспечивающие безаварийную эксплуатацию сооружений в указанных экстремальных режимах.

На следующей ступени проекта проводился расчет конструкции дамб на фильтрационную прочность. Расчет производился в профильной напорно-безнапорной стационарной постановке в программе SEEP2D.

В результате расчетов выяснилось, что градиенты фильтрации превышают критические в нескольких точках общей конструкции. Вследствие чего было принято композитное решение из геомембраны HDPE и геотекстиля, но несущего здесь функцию защиты геомембраны от физического воздействия со стороны уложенного щебня при эксплуатации, а главное, при возведении сооружения. Данное композитное решение выполнено в виде экрана и представляет собой нижнюю часть конструкции крепления верхового откоса защитных дамб.

Чтобы предотвратить возникновение взвешивающего давления на конструкцию крепления верхового откоса при описанной выше расчетной схеме, в каждой дамбе предусмотрено устройство трубчатых регуляторов.

Стоит отдельно сказать про размещение дамб в плане, их моделированию и подсчету объемов строительных работ.

Чтобы определить необходимые места для размещения дамб использовались:

- построенная трехмерная линия «вычитания» поверхностей, описанная выше;

- данные кадастра;

- спутниковые снимки высокого разрешения;

- данные воздушно-лазерного сканирования..

Сами дамбы, включая их внутреннюю конструкцию выстраивались в трехмерной программной среде и далее добавлялись в основную ЦМР. В качестве инструмента на этом этапе моделирования и подсчета объемов работ использовался модуль Composer из состава комплекса Civil 3D. Далее все проектируемые сооружения портировались в созданную ГИС, как было описано выше.

***5.2** Подтопление. Гидрогеология.*

Для того, чтобы выполнить оценку изменения гидрогеологических условий в результате строительства Багаевского гидроузла и произвести подбор параметров мероприятий инженерной защиты от подтопления, было необходимо было создать математическую гидрогеологическую модель всего пойменного участка.

Более 2000 скважин фондов и 800, выполненных в рамках проекта, полгода наблюдений и сотни определений составов грунтов и вод. Это результат работы гидрогеологического звена. За время работы над проектом специалистами было обработано и учтено более 150 Гигабайт исходной фондовой информации

Гидрогеологическая модель захватывает верхний водоносный комплекс, развитый в пределах поймы р. Дон на участке от Кочетовского до Багаевского гидроузла. Исследуемая территория имеет плановые размеры 37*87 км, площадь области моделирования - 2000 км^2. Модель 4-х слойная, имеет **355x516** блоков со сторонами **500x430** м на периферии и **100x100** м вблизи населенных пунктов.

Оценка изменения гидрогеологических условий выполнена с применением геофильтрационного моделирования, которое является наиболее точным, из имеющихся современных, инструментом. Выполненная модель позволила с высокой степенью достоверности определять прогнозные характеристики гидрогеологической обстановки, применять минимально необходимые для инженерной защиты мероприятия и точно подбирать оборудование.

По результатам моделирования для инженерной защиты от подтопления принята система локальных береговых дренажей со сбором стока в автоматические насосные станции и сбросом в Дон. Разработанная система позволяет полностью нейтрализовать негативное воздействие грунтовых вод на территорию под жилой застройкой и хозяйственными объектами. Данное решение было включено в

гидрогеологическую модель и опробировано на этой модели при максимально отягчяющих условиях в прогнозном периоде 30 лет.

Общая длина дренажей – более 18 км, 45 автоматических НС, более 300 смотровых колодцев. При подсчете объемов был использован программный модуль собственного производства – PrecoDWC, который в автоматическом режиме готовил полные спецификации для каждой дренажной системы, экономя до 85% времени проектирования.

Выполненная на этой основе оптимизация по укрупненным подсчетам, дает удешевление строительства системы инженерной защиты от подтопления до 80% в сравнении с сооружениями, предусматриваемыми при классических дренажных мероприятиях за счет большой точности применяемых программных инструментов.

6. Выводы

В результате нашей работы создана методика, которая позволяет решать задачи по проектированию протяженных инженерных сооружений, используя минимальное количество времени и трудозатрат. Подобран проектный программный комплекс для решения задач инженерной защиты. Справедливо будет сравнить его с проектами типовых серий, но типовым нового уровня, с автоматизацией основных, затратных по ресурсам частей.

В разработке методики большую роль сыграло широкое применение в проектируемых сооружениях геосинтетиков и геокомпозитов. Увеличение доли их применения в строительных сооружениях на настоящий момент - существующий тренд по всему миру и в России. Синтетические материалы позволяют сэкономить все дорожающие природные ресурсы, чаще всего являются более экономичными, технологичными и экологичными, нежели их классические природные аналоги и на данный момент являются передним краем прогресса строительной индустрии.

ООО «СОЮЗВОДПРОЕКТ»
+7 (495) 504-18-50
http://www.sovopro.ru
info@sovopro.ru