

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**ГЕОТЕХНИКА БЕЛАРУСИ: НАУКА И ПРАКТИКА**

(г. Минск, БНТУ — 23–25.10.2013)

УДК 624.131

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИХ РАБОТ НУЛЕВОГО ЦИКЛА**

**Бусел И.А.**

*ЗАО «Стройизыскания», г. Минск, Республика Беларусь*

Рассмотрены возможные способы изыскательских и проектных работ нулевого цикла. Предложен системный подход к изучению всей геолого-технической конструкции как единой сложно организованной системы. Для разработки проекта такой системы предлагается использование методов композиционного проектирования.

The article considers the possible ways of geotechnical survey of the zero cycle. The author proposes a systematic approach to research all the geological and technical design as a single intricate system and suggests the use of compositional methods for development of the project of such systems.

Геотехнические задачи, нацеленные на рациональное решение нулевого цикла, стоимость и трудоемкость которого достигает 30 и более процентов от объема строительно-монтажных работ, являются важным звеном в проблеме экономного и рационального использования денежных и материальных ресурсов при строительстве зданий и сооружений.

Повышение эффективности и качества подземных частей зданий и сооружений может дать существенную экономию при обеспечении требуемого уровня надежности и долговечности строений.

Смещение площадок строительства в сложные и многообразные инженерно-геологические условия, возрастающие нагрузки на фун-

даменты при высотном домостроении, применение новых конструктивных схем зданий и сооружений ставит перед геотехникой серьезные задачи, от решения которых зависит надежность возводимых строительных объектов и их стоимость.

Требуется дальнейшее совершенствование методов изысканий и проектирования, конструкций и технологий устройства фундаментов, способов улучшения свойств слабых грунтов с целью более полного использования несущей способности основания.

Одним из путей повышения эффективности и качества проектно-изыскательных работ нулевого цикла является метод решения оптимизационных задач в рамках единого технологического процесса изыскания – проектирование оснований и фундаментов [1] на основе национальных и международных стандартов с применением современных информационных ресурсов и технологий.

Оптимизация технологического процесса «изыскания – проектирование оснований и фундаментов» возможна на основе реинжиниринга этого бизнес-процесса и организации адаптивного управления им в реальном режиме времени [2].

В соответствии с действующими ТНПА расчетная схема системы сооружение - основание или фундамент - основание должна выбираться с учетом наиболее существенных факторов, определяющих напряженное состояние и деформации основания и конструкций сооружения (статической схемы сооружения, особенностей его возведения, характера грунтовых напластований, свойств грунтов основания, возможности их изменения в процессе строительства и эксплуатации сооружений и т.д.). Рекомендуется учитывать пространственную работу конструкций, геометрическую и физическую нелинейность, анизотропность, пластические и реологические свойства материалов и грунтов.

В последние годы в практике изысканий и проектирования наметилась тенденция системного подхода к изучению всей геологотехнической конструкции (ГТК) как единой сложно организованной системы [1].

Наиболее целесообразными методами при изучении таких систем являются вероятностно-статистические методы, учитывающие как статистическую неоднородность оснований, так и случайную природу нагрузок, воздействий и свойств материалов и конструкций.

Геолого-статистический подход в сочетании с механикой грунтов обеспечил возможность прогнозирования поведения ГТК с известной точностью и надежностью на основе использования дкомпозиционных аналитических методов исследований. Но бурное развитие хозяйственной деятельности, смещение строительных площадок в неблагоприятные и сложные инженерно-геологические условия, а также усложняющиеся конструкции зданий и сооружений и связанные с ними экономический и экологический риск привели к тенденции отношения к проектированию как к процедуре оптимизации, т.е. выбору лучшего в некотором экономическом, технологическом и экологическом смысле решения. Все это требует повышения точности и надежности количественных инженерно-геологических прогнозов и создания таких методов проектирования, которые бы обеспечивали оптимальную конструкцию ГТК с учетом свойств, составляющих ее элементов.

Система основание - сооружение состоит из трех основных последовательно соединяемых и в этой же последовательности возводимых элементов (подсистем): основания, фундамента и надземной части зданий (сооружения). При совместной работе этих элементов должно обеспечиваться выполнение системой ее главного назначения, которое определяется технологическими или бытовыми условиями, предусмотренными в нормах и заданиях на проектирование. Элементы системы равноответственны и должны быть равнонадежными, поскольку отказ любого элемента приводит к отказу всей системы. Это находит свое отражение в том, что при расчетах предельных состояний по несущей способности и по деформациям рассматривают всю систему.

Фундамент как промежуточный элемент системы, обеспечивает совместную работу основания и подземной части сооружения. Отказ фундамента всегда приводит к отказу надземных конструкций, не влияя обычно на одновременное появление отказа основания. Тем не менее, при оценке надежности фундамента как конструкции, взаимодействующей с грунтом, следует рассматривать систему основание - фундамент, так как надежность фундамента определяется показателями обоих этих элементов.

Как правило, все функциональные процессы в ГТК связаны с преобразованием и передачей вещества, энергии и информации.

При вступлении элементов во взаимодействие формируются связи между ними. Для ГТК наиболее характерными являются вещественные, энергетические и информационные связи, а также их комбинации. Энергетические связи обеспечивают перенос энергии между элементами системы, а информационные перенос информации. Вещественные связи предназначены для переноса вещества, но одновременно могут переноситься и заключенные в веществе энергия и информация. Одним из многочисленных примеров таких связей может служить распространение сжимающих напряжений в толще глинистых грунтов с коагуляционными структурами, возникающих в результате взаимодействия сооружения и основания, которое приводит к изменению действующих факторов как внешних (статическое давление, температура и др.), так и внутренних (состав обменных катионов, концентрация электролита перового раствора, параметры двойного электрического слоя, рН среды и т.д.), что обуславливается низкой энергией межагрегатных взаимодействий в таких грунтах. По характеру связей различают прямые, обратные и нейтральные связи.

Исходя из вышеизложенного, отображение любой сложной геотехногенной ГТК можно представить в форме описания отношений преобразований и отношений связей в элементах этой системы.

Возможные варианты конструктивного исполнения элементов, обеспечивающих выполнение функциональных операций, могут быть определены в результате обобщения коллективного опыта и знаний специализированных исследовательских и изыскательских и проектных организаций с формированием обобщенного банка данных на машинных носителях. Все это указывает на наличие объективных признаков, необходимых для реализации принципов композиционного проектирования существующих при достигнутом уровне автоматизации изысканий и проектирования [2].

Разработка обоснованного проекта сооружения требует целенаправленного проведения инженерно-геологического изучения основания проектируемого здания или сооружения. Прогнозирование поведения ГТК на любом этапе единого технологического процесса изысканий и проектирования требует учета, по меньшей мере, трех основных групп факторов, определяющих содержание, направление и рациональную технологию проектно-изыскательских работ.

К первой из них относятся так называемые природные факторы, определяющие весь комплекс инженерно-геологических условий территории: особенности рельефа, геологическое строение толщ пород в основании сооружений, число и глубины залегания водонесных горизонтов, состав и свойства основных типов грунтов и др.

Ко второй группе факторов, характеризующих степень изученности инженерно-геологических условий региона, относятся: наличие материалов геологического, гидрогеологического и инженерно-геологического картирования; наличие материалов специальных региональных исследований различного назначения (например, геоморфологических, ландшафтных, гидрогеологических), освещающих в той или иной степени инженерно-геологические условия территории; наличие материалов изысканий прошлых лет, выполненных для строительства объектов промышленного, гражданского и др. назначения; данные режимных наблюдений за подземными и поверхностными водами, развитием современных инженерно-геологических явлений и т.п.; информация о поведении различных видов грунтов, развитых в регионе, при определенных видах воздействия; сведения о наблюдениях за осадками функционирующих зданий и сооружений; наличие региональных норм на проектирование и изыскания.

Третью группу составляют проектные факторы, характеризующие назначение и конструктивные особенности проектируемых зданий и сооружений, их капитальность, тип и глубину заложения фундаментов, характер и величины передаваемых нагрузок, режим эксплуатации и т.п.

При оптимизации ГТК необходимо выполнять согласования локальных проектно-изыскательских решений, принимаемых на различных уровнях от разработки технического задания на изыскания, до составления проекта здания или сооружения. При реализации этого процесса, возникает проблема обеспечения таких координирующих воздействий на указанные решения, которые приводили бы к достижению оптимального решения на уровне создаваемой системы в целом.

Принцип осуществления этих координирующих воздействий должен выбираться в зависимости от принятой кооперации изыскателей и проектировщиков и полноты располагаемой информации каждым из них. На практике при разработке сложных систем могут

использоваться, как правило, двух уровневые структуры кооперации: проектная организация, выполняющая роль заказчика и изыскательская, выполняющая роль подрядчика.

В процессе проведения совместных разработок осуществляется обмен информацией, при этом проектная организация выставляет изыскателям требования к разрабатываемым ими элементам кооперативно создаваемой системы, а изыскатели в свою очередь направляют проектной организации, предложенные ими решения по изучению и оценке свойств массивов грунтов, которые подлежат согласованию.

После инженерно-геологического изучения основания здания или сооружения проектная организация получает от изыскательской информации не обо всем многообразии возможных локальных решений, которые могут принять изыскатели, а только о тех решениях, которые предлагаются ими. Это один из основных принципов специализации, который, в сущности, и порождает задачу координации.

Изыскатели выбирают локальные решения на основе результатов инженерно-геологических исследований участка проектируемого строительства с учетом их знаний и опыта, при этом они руководствуются некоторыми поставленными перед собой целями (например, в достижении наилучших характеристик разрабатываемых ими элементов в соответствии с действующими нормативными документами). Соответственно проектная организация при выдаче координирующих воздействий преследует свою цель, заключающуюся в достижении наилучших характеристик на уровне разрабатываемой сложной системы в целом.

Очевидно, что если бы условия достижения наилучших характеристик системы в целом совпадали с условиями достижения этой же цели на уровне её элементов, то в решении задач координации не возникало бы трудностей принципиального характера, так как при правильной постановке требований предложенные локальные решения удовлетворяли бы условиям оптимизации системы в целом. Однако эти условия, как правило, не совпадают, что и является основным проявлением неявной сложности проектируемой ГТК.

Исходя из вышеизложенного, можно сформулировать целевые функции процесса принятия многоуровневых решений при кооперативной разработке сложных ГТК. Целевую функцию, минимизация

(или максимизация) которой при соблюдений заданных ограничений на другие показатели разрабатываемой системы соответствует принятым условием оптимальности этой системы можно представить в следующем виде:

$$F(x_{1j}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{Nj}, y_{1j}, \dots, y_{ij}, \dots, y_{Nj}) \rightarrow \min \\ i \in \overline{[1, N]}, j \in J_i,$$

где  $x_{ij}$  – координирующее воздействие проектной организации на предложенное  $i$ -м соисполнителем  $j$ -е локальное техническое решение;  $y_{ij}$  – предложенное  $i$ -м соисполнителем  $j$ -е локальное техническое решение;  $N$  – число соисполнителей проводимой разработки сложной системы;  $J_i$  – полное многообразие технических решений, которые могут быть использованы для решения задачи, поставленной перед  $i$ -м соисполнителем.

Наиболее простой подход к решению проблемы оптимизации процесса проектирования заключается в его централизации [3]. Но при кооперативной разработке ГТК этому препятствует объективная необходимость специализации проектных и изыскательских подразделений. Это противоречие можно было бы разрешить путем интегрирования в проектной организации знаний и опыта всех соисполнителей, и придания этой организации способности преодолевать межведомственные барьеры при выборе оптимального пространственно - структурно - параметрического построения разрабатываемой системы. Широкие возможности такого интегрирования связаны с развитием вычислительной техники и создания достаточно эффективных методов математического программирования.

Интеграцию знаний и опыта соисполнителей представляется возможным осуществлять путем формирования обобщенных банков данных на машинных носителях, содержащих математические модели элементов, вступающих в отношения преобразований и связей в пределах проектируемой ГТК. Эти модели должны разрабатываться специализированными проектными и изыскательскими организациями и отражать достигнутый ими уровень знаний по созданию соответствующих элементов такой системы во всем многообразии их пространственного, конструктивного, структурного и параметрического исполнения с учетом лучших мировых разработок.

Такие модели должны отражать наряду с характеристиками операций, выполнение которых могут обеспечить соответствующие элементы, зависимости критериальных показателей этих элементов от параметров реализуемого процесса, а также признаки совместности локальных решений. Для достаточно полной и точной характеристики элементов ГТК можно использовать две формы их математических моделей - критериальную и функциональную [4].

Критериальная математическая модель элемента, включающая критерии эффективности, является математическим выражением цели решаемой оптимизационной задачи и, следовательно; соответствует содержанию операций оптимальной композиции ГТК. При этом внутренняя структура моделируемого элемента не отражается, как правило, в данной модели, что позволяет рассматривать её как макро модель этого элемента.

Функциональная математическая модель элемента отражает физические законы, которым подчиняются функциональные процессы в этом элементе. Эта модель позволяет с помощью переменных состояний получать математическое описание элемента в виде системы уравнений состояния.

Основой для построения функциональной математической модели элемента является его структурная схема. Каждый внутренний компонент элемента (активный или пассивный) представляется схемой замещения, которая является эквивалентом данного компонента в смысле подобия рассматриваемых физических свойств элемента и его математического отображения. Таким образом, указанная модель учитывает внутреннюю структуру отображаемого физического объекта (элемента) и является его микро моделью.

Функциональные математические модели элементов используются для моделирования процесса их функционирования с целью оценки ожидаемых статических и динамически характеристик этих элементов как подсистем разрабатываемой ГТК.

Разработка указанных моделей элементов должна осуществляться организациями – соисполнителями в соответствии с их специализацией на основе проводимых исследований и разработок. В своей совокупности разработанные модели элементов обобщенного банка данных должны отражать достигнутые технические и технологические возможности, которые могут быть использованы при создании разрабатываемой ГТК.

Целью оптимальной композиции ГТК является направленное формирование этой системы с высокой степенью организованности при учете интегративного эффекта [3]. Сопоставление возможных вариантов организации этой системы осуществляется по критериям различимости, за которые принимаются показатели эффективности. В общем случае под эффективностью понимается мера соотношения результатов достижения поставленной цели с требуемыми затратами. Результативность использования инженерно-геологической информации и проектных решений в рассматриваемой системе с точки зрения достижения поставленной цели оценивается показателями функциональной эффективности, а необходимые затраты – показателями экономической эффективности.

Таким образом, для обеспечения оптимального композиционного проектирования ГТК должна быть установлена взаимосвязь их пространственно - структурно - параметрической организации с показателями экономической и функциональной эффективности. Оптимальное проектирование предполагает представление принятых критериальных показателей элементов разрабатываемой сложной системы в категориях ожидаемого их влияния: на соответствующие показатели эффективности системы в целом.

Если в сформированном банке данных содержатся математические модели всех элементов, которые практически могут быть использованы при разработке ГТК, то появляется возможность, применять автоматизированные методы оптимальной композиции, спроектировать эту конструкцию как целостный геоконструктивный комплекс.

Реализация рассмотренных простейших операций оптимальной композиции обеспечивает направленное формирование (самоорганизацию) модели проектируемой ГТК со свойствами, удовлетворяющей заданным требованиям к надежности её функционирования в нормальных и аварийных режимах и обладающей наилучшими экономическими показателями при располагаемом банке данных.

Необходимо отметить, что совместное выполнение операций оптимальной композиции для всех функциональных подсистем проектируемой ГТК позволяет достичь целостности разрабатываемой системы. Правомерность этого вытекает из содержания изложенного подхода к решению задачи композиционного проектирования ГТК, обеспечивающего возможность интеграции знаний специалистов различных областей знаний при формировании обобщенного банка

данных и направленном построении автоматизированными методами оптимальной композиции формального отображения проектируемой ГТК как целостной пространственно – структурно - параметрической организации.

Таким образом, рассмотренные методы композиционного проектирования могут быть распространены на все уровни кооперативно разрабатываемых ГТК. Результаты выполнения операций подлежат уточнению по мере конструкторской проработки найденных решений, обеспечивая возможность достижения оптимального компромисса в рамках создаваемой сложной системы в целом.

В данной статье рассмотрены в основном методологические аспекты процесса автоматизированного оптимального композиционного проектирования ГТК, а практическое решение задачи связано также с проблемами программного, организационного, информационного и технического обеспечения, требуя глубокого изучения.

## **Литература**

1. Бусел, И.А. Инженерно-геологические основы комплексной технологии изыскательских, проектных и строительных работ / И.А. Бусел // Сб. ст. Международной науч.-техн. конф. : «Геотехника Беларуси». Наука и практика. – Минск, БНТУ, 2008. – С. 441–448.
2. Бусел, И.А. Некоторые аспекты комплексной информатизации систем управления качеством строительной продукции / И.А. Бусел, О.И. Семенов, В.А. Лебедев // Тезисы докл. 1-го международного форуме проектировщиков и строителей «Геотехника и высотное домостроение», 10-11 октября 2011 г. – Минск, Беларусь.
3. Лазарев, И.А. Композиционное проектирование сложных агрегативных систем / И.А. Лазарев. – М. : Радио и связь, 1986. – 312 с.
4. Бусел, И.А. Научно-методологические основы инженерно-геологической оценки ледниковых отложений Беларуси для строительства / И.А. Бусел // Диссерт. в виде научн. докл. соиск. уч. степ. д-ра геол.-минер. наук. – М., 1998.