

УДК 624.131

## **ОСНОВЫ МЕТОДОЛОГИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГЕОТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ**

**Бусел И.А.**

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

Рассмотрен подход к разработке методологии управления геотехногенными системами на основе использования современных информационных ресурсов и технологий. Для прогнозирования поведения таких систем в пространстве и во времени предлагается использовать имитационное моделирование.

The article presents the approach to the development of a methodology of management geo-technogeneous systems based on the use of modern information resources and technologies. The author suggests to use simulations to predict the behavior of such systems in both space and time.

В последние годы наблюдается устойчивая тенденция роста объемов различных видов строительства и в связи с этим актуальна и все острее встает проблема экономного расходования средств при строительстве и реконструкции зданий и сооружений, а также рационального использования и охраны геологической среды.

Настало время перехода к разработке проектов геотехнических систем (ГТС), а не отдельных зданий и сооружений, как это делается сейчас.

Для успешного решения этой проблемы нужны совместные усилия изыскателей, проектировщиков, строителей, экологов и других специалистов для поиска наиболее совершенных и эффективных

путей создания оптимальных ГТС и разработки принципов управления такими объектами.

Геотехногенная система есть комплекс взаимодействующих компонентов, включающий созданные в результате хозяйственной деятельности здания, сооружения, другие технические объекты и геологическую среду, находящуюся в сфере взаимодействия (воздействия) с этими объектами.

Главное свойство таких систем заключается в том, что они являются управляемыми (кибернетическими), движение которых обусловлено управляющими взаимодействиями, которые можно использовать при управлении системами и изменять их с целью осуществления их движения, наиболее оптимального по сравнению с другими, возможными движениями управляемых систем [1].

Геотехногенные системы начинают формироваться с началом строительной или иной хозяйственной деятельности. Структура и свойства ГТС меняются в процессе строительства с изменением вида, набора, интенсивности и режима управляющих воздействий (с увеличением нагрузок от сооружения, изменением температурного и влажностного режима, динамические воздействия и др.).

Структуру ГТС можно считать сформировавшейся после завершения строительства, а движение ГТС начинается с момента начала строительства и продолжается в период эксплуатации.

Управляющая система и объекты управления взаимодействуют между собой, а также с внешней средой, посредством информации. Целью прогнозирования ГТС является разработка прогностической модели, позволяющей получать прогнозную информацию от ГТС.

Некоторые наиболее важные особенности разработки систем управления и прогноза ГТС [2].

- Внешние условия, в которых проектируются и эксплуатируются ГТС, нестабильны, слабо структурированы и плохо предсказуемы.

- Особую ответственность разработчики ГТС несут за начальные этапы их проектирования. Именно на этих этапах должна формироваться система мониторинга, проводиться прогнозные и поисковые исследования, оцениваться глобальные и локальные риски, а также социально-экологические и экономические результаты функционирования ГТС.

- Как правило, требуется совмещать управление ГТС по выделенным ресурсам (бюджет проекта, люди, техника, время, информация) с управлением по достижению декларированных целей проекта.

- Процессы управления ГТС должны охватывать все фазы ее жизненного цикла с большим разнообразием задач, характеризующейся различной степенью формализации и неопределенности. Поэтому именно жизненный цикл ГТС должен рассматриваться в качестве объекта управления [3].

Организация и обеспечение эффективного функционирования системы управления столь многоаспектным объектом, каким является ЖЦ ГТС, является сложной научно-технической задачей.

Перечисленные выше особенности можно рассматривать как базовые требования к системе управления жизненным циклом ГТС. Применительно к нашему предмету исследований в качестве объекта управления (управляемой системы) выступает ЖЦ ГТС, а в качестве управляющей системы – центр управления проектом (ЦУП).

Содержательно процесс управления в системе «управляющая система – объект управления» кратко сводится к следующему.

1. В определенные дискретные моменты времени на каждой фазе ЖЦ в ЦУП поступает информация о состоянии рабочего процесса в объекте управления и полученных на данный момент результатах, об уровнях рисков и новых возможностях о соответствии реально полученных результатам ожидаемым, а также об уровне их новизны и качества.

2. В ЦУПе полученная информация сопоставляется с эталонами (план, технические спецификации, ресурсы, новизна, стандарты качества) и другими наличными информационными ресурсами, на основании чего выявляются и формулируются проблемы, требующие своего разрешения для снижения уровня риска.

3. ЦУП, используя поступившую информацию, имеющиеся у нее информационные ресурсы и технологии, разрабатывает и принимает необходимые управленческие решения и организует их реализацию.

В такой интерпретации систему управления ЖЦ ГТС можно отнести к категории целенаправленных динамических систем с обратной связью, в которой целью управляющей системы является ста-

билизация заранее запрограммированной траектории движения объекта управления на пути достижения поставленных целей. Методология построения таких систем, как и технология их функционирования, достаточно хорошо разработаны и исследованы [4].

Пользуясь аппаратом теории динамических систем, можно определить рассматриваемую систему как формальный объект [5]:

$$S = \{T, X, U, \Omega, Y, \Gamma, \eta, \varphi\},$$

где  $T$  – множество дискретных моментов времени, в которые управляющая система получает входные сообщения о состоянии объекта управления;  $X$  – множество допустимых состояний системы, заданных как подмножества на множестве наличных информационных ресурсов (ИР) в системе;  $U$  – множество допустимых значений входных сообщений;  $\Omega$  – класс допустимых функций  $u(t)$ , определяемый регламентом и нормативными требованиями к подсистеме мониторинга процесса реализации программы;  $Y$  – множество допустимых значений выхода управляющей системы, т.е. управленческих решений исполнительной дирекции;  $\Gamma$  – класс допустимых функций  $y(t)$ , определяемых классом проблемных ситуаций, по которым принимаются управленческие решения;  $\eta$  – функция, определяющая выходной сигнал;  $\varphi$  – функция, определяющая преобразование состояний системы под воздействием входного сигнала,

При этом:

$$\begin{aligned} Y(t_2) &= \eta(x(t_1), U(t_1), t_2), \\ X(t_2) &= \varphi(x(t_1), U(t_1), t_2) \end{aligned}$$

Однако задача существенно усложняется, если принять во внимание не только проблемы, возникающие в ЖЦ ГТС (объекте управления), но и во всей цепи управления – от генерирования сообщений  $u(t)$  до выработки и реализации управляющих воздействий  $y(t)$ . Диагностика и совершенствование рабочих процессов в такой постановке представляют собой сложную научно-техническую задачу, для решения которой обычно привлекаются высококвалифицированные эксперты. Эта работа должна являться одной из главных составных частей научно-методического обеспечения процесса реализации проекта и входить в состав функций, выполняемых ЦУП.

Применительно к рассматриваемой нами системе отметим три источника возникновения проблем [2].

1. Проблемы, возникающие при идентификации проблемных ситуаций в ЖЦ ГТС и генерировании соответствующих входных сообщений  $u(t)$  для управляющей системы. Эти проблемы можно сформулировать в терминах своевременности, достоверности, полноты и точности идентификации и постановки проблем в подсистеме мониторинга процесса реализации проекта.

2. Проблемы преобразования входных сообщений  $u(t)$  и текущего состояния информационных ресурсов  $x(t)$  в новое состояние информационных ресурсов в соответствии с (2). Эту функцию еще можно трактовать как функцию отображения входного сообщения на определенное подмножество информационных ресурсов, релевантное данной проблемной ситуации. Иными словами, как функцию активизации требуемого подмножества информационных ресурсов, определяемого входным сообщением. Основные проблемы в этом звене цепи управления связаны с полнотой ресурсного обеспечения, корректностью выделения необходимого для принятия решения подмножества ИР и качеством этих ресурсов.

3. Проблемы преобразования входных сообщений и информационных ресурсов системы в управленческие решения  $y(t)$  в соответствии с (3). Проблемы этой категории непосредственно влияют на качество принимаемых решений в управляющей системе. Даже при достаточной полноте и удовлетворительном качестве ИР процедуры принятия и оценки решений во многом остаются неформализованными и поэтому зависят от уровня компетенции и квалификации лиц, принимающих эти решения.

Этот анализ позволяет идентифицировать два «механизма-паразита» как источники проблем двух типов, «живущих» внутри: 1) жизненного цикла ГТС и 2) системы управления этим циклом [6]. Если проблемы первого типа решаются специально для этого предназначенной управляющей системой, то для решения проблем второго типа необходимо встроить в эту систему второй контур управления, в котором в качестве объекта управления будут выступать сами информационные ресурсы системы, определяющие множество состояний управляющей системы. Тем самым система управления ЖЦ ГТС переходит в класс целевых адаптивных систем.

На рисунке дана функциональная структура этой системы [3].



Функциональная структура системы адаптивного управления  
жизненным циклом ГТС

Формально модель функционирования второго контура ничем не отличается от модели основного контура управления и состоит в следующем.

- Обнаружить отклонения процесса функционирования основного контура системы управления ЖЦ ГТС от эталона.
- Получить информацию по следующим вопросам: что делается в управляющей системе правильно? Что делается в ней неправильно? Чего не делается вовсе?
- Выявить и идентифицировать возникающие в связи с этим проблемы.
- Создать новые и/или мобилизовать имеющиеся ресурсы и направить их на решение проблем.

Таким образом, целью этого контура является рационализация и совершенствование процессов функционирования первого контура.

При этом степень достижения цели может измеряться некоторыми показателями качества системы управления ЖЦ ГТС, примеры которых были приведены выше.

Эту структуру можно принять в качестве эталонной модели системы управления ЖЦ ГТС, обеспечивающей интеграцию процесса управления и процесса совершенствования самой системы путем управления ее информационными ресурсами.

Периодическая реализация этого цикла в реальной системе управления ГТС обеспечивает ее постоянное совершенствование и адаптацию к изменяющимся условиям, в которых реализуются различные фазы ее жизненного цикла. Указанные выше положения позволили разработать структурно-функциональную модель системы управления ЖЦ ГТС на основе ее нормативной модели.

1. Диагностический анализ системы управления ЖЦ ГТС с целью идентификации и оценки проблем в системе.

2. Введение новых информационных ресурсов и технологий для решения выявленных проблем.

3. Идентификация и оценка рисков в процессе разработки и реализации проекта.

4. Введение новых информационных ресурсов и технологий для управления рисками.

5. Интеграция информационных ресурсов и технологий для решения проблем и управления рисками в единую корпоративную информационно-аналитическую систему для управления ГТС.

6. Корректировка положений и регламентов в системе управления ЖЦ ГТС.

Минимальный состав новых информационных ресурсов и технологий, которые должны составить информационно-аналитическое обеспечение процессов принятия управленческих решений в ЦУПе как по управлению ЖЦ ГТС, так и управлению рисками, определяется после анализа и экспертной оценки всей совокупности проблем и рисков в рамках системы управления ЖЦ ГТС.

Концептуальная модель рабочего процесса реализации ЖЦ ГТС может служить основой для создания компьютерной корпоративной информационно-аналитической системы (КИАС).

В качестве идеологической основы для разработки системы управления ЖЦ ГТС на базе КИАС могут быть приняты междуна-

родные стандарты [7, 8], регламентирующие процедуры управления качеством и проектами.

Отметим некоторые характерные особенности ГТС: наличие большого числа элементов; сложный характер связей между отдельными элементами; сложность функций, выполняемых системой; необходимость учета взаимодействия с окружающей средой и воздействия случайных факторов и др.

Указанные особенности ГТС требуют для их проектирования и прогноза поведения в пространстве и во времени применения математического моделирования. Имитируя поведение частей сложного объекта и их взаимодействия с учетом влияющих факторов в условиях близких и реальным можно с помощью информационных ресурсов и технологий вычислять и прогнозировать характеристики объекта, предусмотренные программой исследования. Математическое моделирование позволяет решать сложные задачи, так как исследуемая система может содержать элементы непрерывного и дискретного действия и подвергаться влиянию многочисленных случайных факторов.

При моделировании процессов, происходящих в ГТС, не обязательно преобразовывать математическую модель в специальную систему уравнений относительно нескольких величин. В данном случае достаточно имитировать сами явления, описываемые математической моделью, с сохранением их логической структуры, последовательности чередования во времени, а иногда и физического содержания, с помощью информационных технологий.

Результаты имитационного моделирования оказываются полезными при решении задач синтеза ГТС, когда требуется создать систему с наперед заданными свойствами и оптимальную.

Главная цель моделирования ГТС не автоматизация отдельных фаз ее жизненного цикла, не алгоритмы отдельных инженерных расчетов, а завязка проекта, самый начальный его этап, когда только прорисовываются контуры будущей конструкции ГТС, которая отвечает исходному замыслу.

Представить конструкцию ГТС в целом, оценить ее разнообразные качества, ее соответствие с замыслом можно на основе универсального аналитического синтеза.

В качестве первого шага для прогнозирования поведения подобных систем предлагается создание упрощенного их аналога. Современный подход в научных исследованиях состоит в том, что

реальные объекты заменяются их упрощенными представлениями, абстракциями, выбираемыми таким образом, чтобы в них была отражена суть явления, те свойства исходных объектов, которые наиболее существенны для решения поставленной проблемы. При построении такого аналога, как заменителя реальной системы, необходимо выделить те аспекты, которые являются определяющими для решения задачи, и проигнорировать аспекты, которые усложняют проблему, делают анализ очень сложным или не возможным. Созданный в результате упрощения объект представляет собой модель интересующей нас ГТС, как сложной динамической системы. В дальнейшем, анализируя такую модель можно получить характеристики, которые объяснят известные и предскажут новые свойства исследуемой реальной системы без экспериментов с самой системой.

Трудность понимания причинно-следственных связей в сложной системе могут приводить к ее неэффективной организации, ошибкам в проектировании, большим затратам на их устранение. Сегодня моделирование становится единственным практическим эффективным средством нахождения путей оптимального решения проблем в сложных системах, средством поддержки принятия ответственных решений.

Использование абстракций при решении проблем с помощью моделей часто состоит в применении того или иного математического аппарата. Некоторые динамические системы можно описать в виде систем линейных дифференциальных и алгебраических уравнений и получить решение аналитически. Однако, использование чисто аналитических методов при моделировании сложных реальных систем, к которым можно отнести ГТС, сталкивается с серьезными трудностями: классические математические модели, допускающие аналитическое решение, в большинстве случаев к реальным задачам не применимы.

Способы решения подобных задач предлагает такое направление программирования как имитационное моделирование. Имитационное моделирование – это разработка программных моделей реальных или гипотетических систем, реализация этих программ на компьютере и анализ результатов компьютерных экспериментов по исследованию поведения моделей. Имитационное моделирование имеет существенное преимущество перед аналитическим, когда:

- отношение между переменными в моделях нелинейны, и поэтому аналитическую модель трудно или невозможно построить;

- модель содержит вероятностные компоненты;
- для понимания поведения системы требуется визуализация динамики происходящих в ней процессов;
- модель содержит много параллельно функционирующих взаимодействующих компонентов.

Имитационная модель это программная система, отражающая структуру и поведение моделируемого объекта или явления во времени. Технология имитационного моделирования позволяет использовать как аналитический, так и вероятностный способ моделирования. Кроме того построение моделей может производиться на основе экспериментальных показателей, когда ни один из аппаратов моделирования не дает удовлетворительных результатов.

## Литература

1. Бондарик, Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии / Г.К. Бондарик. – М. : Недра, 1981.
2. Коренько, С.А. Некоторые проблемы совершенствования системы управления союзными программами космических исследований / С.А. Коренько, А.А. Кравцов, О.И. Семенов // ИНФОРМАТИКА. – 2010. – № 10.
3. Бусел, И.А. Некоторые аспекты комплексной информатизации систем управления качеством строительной продукции / И.А. Бусел, О. И. Семенов, В.А. Лебедев // Тезисы докл. на 1-ом международном форуме проектировщиков и строителей «Геотехника и высотное до-мостроение» 10-11 октября 2011 г., Минск, Беларусь.
4. Клир, Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач / Дж. Клир. – М. : Радио и связь, 1990.
5. Энциклопедия кибернетики. – Киев : Главная редакция украинской советской энциклопедии, 1974.
6. Бир, Стаффорд. Кибернетика и управление производством / Стаффорд Бир. – М. : Наука, 1965.
7. Система менеджмента (административного управления) качества. Требования : ISO 9001: 2000 (ГОСТ Р-2001).
8. Управление проектами : международный стандарт «Руководство по управлению проектами» : ISO 21500:2012. – Проектный комитет ISO/PS236.