

Научная статья

УДК 004.9, 624.131

DOI 10.25205/1818-7900-2021-19-3-70-82

Разработка методики перехода к технологиям информационного моделирования в инженерных изысканиях (на примере инженерно-экологических изысканий)

**Антон Сергеевич Флеенко¹
Александр Федорович Демьяненко²**

^{1,2} Российский университет транспорта (РУТ – МИИТ)
Москва, Россия

¹ fleenkospb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2829-9361>

² afdco89@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2859-7852>

Аннотация

Технология информационного моделирования становятся одним из эффективных инструментов работы с данными. Однако до сих пор не существует конкретных рекомендаций по переходу к использованию цифровых моделей на этапе изысканий. Целью работы выступает поиск и оценка путей интеграции процедур информационного моделирования с процессами, протекающими в системах инженерных изысканий и проектирования. В статье разработана и охарактеризована с применением методов системного анализа, форсайт-исследования и риск-менеджмента методика модернизации инженерных изысканий в указанном контексте. Изменения связей, состава и результатов, описание этапов внедрения рассмотрены на примере инженерно-экологического блока. Авторы считают, что на фоне формирования нормативной правовой базы информационного моделирования в России наиболее результативным направлением является представление итога инженерных изысканий в виде стандартных технических отчетов, дополненных цифровыми моделями по видам изысканий.

Ключевые слова

информационное моделирование, цифровая информационная модель, инженерные изыскания, инженерно-экологические изыскания, системный анализ, риск-менеджмент, форсайт-исследование

Для цитирования

Флеенко А. С., Демьяненко А. Ф. Разработка методики перехода к технологиям информационного моделирования в инженерных изысканиях (на примере инженерно-экологических изысканий) // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2021. Т. 19, № 3. С. 70–82. DOI 10.25205/1818-7900-2021-19-3-70-82

© Флеенко А. С., Демьяненко А. Ф., 2021

ISSN 1818-7900 (Print). ISSN 2410-0420 (Online)

Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2021. Том 19, № 3. С. 70–82

Vestnik NSU. Series: Information Technologies, 2021, vol. 19, no. 3, pp. 70–82

Development of a Methodology for the Transition to Information Modeling Technologies in Engineering Surveys (On the Example of Engineering and Environmental Surveys)

Anton S. Fleenko¹, Alexander F. Demianenko²

^{1,2} Russian University of Transport (MIIT)
Moscow, Russian Federation

¹ fleenkospb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2829-9361>

² afdco89@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2859-7852>

Abstract

Information modeling technology also known as BIM is becoming an important part of working with data in various fields of activity. At the same time, there are still no specific recommendations for the transition to the use of digital models at the survey stage. Although engineering survey data is the basis for further actions within the life cycle of objects. The article characterizes the methodology for the modernization of engineering surveys in the context of information modeling, operating with the methods of systems analysis, foresight research and risk management. The combination of these methods allows you to identify ways of development and characterize them. All changes in the engineering survey system are described using the example of the engineering and environmental section. This is due to the fact that environmental engineering surveys use information from other sections of the survey and show reactions to changes in the system. The authors believe that under existing conditions, the most effective direction is the presentation of the results of engineering surveys in a standard form, provided that they are supplemented with a set of digital models by type of survey. In this case, it is assumed that the role of information modeling will gradually increase.

Keywords

information modeling, digital information model, engineering surveys, engineering and environmental surveys, system analysis, risk management, foresight research

For citation

Fleenko A. S., Demianenko A. F. Development of a Methodology for the Transition to Information Modeling Technologies in Engineering Surveys (On the Example of Engineering and Environmental Surveys). *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2021, vol. 19, no. 3, p. 70–82. (in Russ.) DOI 10.25205/1818-7900-2021-19-3-70-82

Используемые термины

ВМ-проектирование (building information modeling, BIM, технология информационного моделирования) – совокупность инструментов, процессов и технологий, благодаря которым формируются компоненты цифровой модели, использующейся в процессе строительства с целью экономии финансов и времени, а также упрощения процессов за счет одновременной работы и визуализации объекта [1].

Цифровая информационная модель объекта – совокупность взаимосвязанных сведений, документов и материалов об объекте, формируемых в электронном виде на этапах выполнения инженерных изысканий, осуществления архитектурно-строительного проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта, эксплуатации и (или) сноса объекта капитального строительства¹.

Инженерная цифровая модель местности – совокупность взаимосвязанных инженерно-геодезических, инженерно-геологических, инженерно-гидрометеорологических, инженерно-экологических, инженерно-геотехнических данных и данных о территории объекта, представленных в цифровом виде для автоматизированного решения задач управления процессами².

¹ СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла».

² Там же.

Модель данных экологических наблюдений – цифровая модель, содержащая в своем составе данные инженерно-экологических изысканий³.

Введение

Технологии информационного моделирования подразумевают представление данных в единой комплексной автоматизированной цифровой среде, часто визуализированной в трехмерном виде. В цифровой информационной модели с обширной базой данных, характеризующей объект и его составные части, возможна одновременная работа нескольких специалистов по ее изменению и дополнению. Информационное моделирование (далее ИМ), зародившись в строительной сфере, исходно было связано с системами, состоящими из виртуальных аналогов реальных элементов зданий. В настоящее время сфера применения данной технологии всё больше расширяется – цифровые модели начинают использоваться в качестве инструмента углубленной систематизации информации и повышения эффективности разработки и реализации любых проектов.

Авторы статьи полагают весьма перспективным применение ИМ в области инженерных изысканий в целом и инженерно-экологических изысканий в частности. Вместе с тем приходится констатировать, что ни отечественных, ни зарубежных исследований в этой области применения ИМ практически нет. В связи с этим заявляемая в этой статье цель научной работы, обозначаемая как поиск и оценка путей интеграции процедур ИМ с процессами, протекающими в системах инженерных изысканий и проектирования, представляется актуальной.

Разработка комплексной модели инженерных изысканий и ее развитие с учетом внедрения технологии ИМ

Для достижения поставленной цели использовались методы системного анализа: композиция и декомпозиция, моделирование и последующая оценка разработанных моделей. Процедура изысканий, в частности инженерно-экологических, сложна по структуре и функциям. Описание системы инженерных изысканий (далее системы) может быть осуществлено с помощью построения комплексной модели, включающей в себя характеристику внешней среды, входных и выходных связей (в рамках модели «черного ящика»), а также состава и структуры системы.

В качестве внешней среды по отношению к системе рассматриваются мегасистема организации, инициирующей процесс изысканий, и окружающая среда, представленная природными компонентами и социоэкономическими образованиями, такими как общественные организации, муниципальные образования и государственные структуры. Мегасистема организации представляет собой проектно-изыскательское предприятие, целевой функцией которого является разработка мегапроекта – проектных решений, содержащих в своем составе полный спектр информации: от изыскательской до технико-технологической и сметно-финансовой.

Из внешней среды в систему поступают средства производства, финансовые, трудовые и информационные ресурсы. Ограничениями для работы системы выступают природно-климатические особенности территории изысканий (сроки проведения изысканий), правовые (нормативно-правовые акты, регламентирующие изыскательскую деятельность) и технические (согласованное задание на проектирование, устанавливающее сроки и объемы работ) условия производства работ.

³ Требования к информационным моделям капитального строительства. Часть 6. Требования к представлению результатов инженерных изысканий для прохождения экспертизы при использовании технологии информационного моделирования // ГАУ г. Москвы «Московская государственная экспертиза». Редакция 1.0. М., 2019. 54 с.

Результатом работы системы является проектно-сметная информация по инженерному обеспечению мегапроекта. Это итоговая документация в виде технических отчетов и графических материалов по видам инженерных изысканий. Таким образом, основным выход системы как часть мегапроекта оказывается ее входом в мегасистему.

Определение состава и структуры инженерных изысканий осуществляется на основе теории организаций [2] и нормативно-правовых документов в области инженерных изысканий⁴. Система состоит из двух крупных модулей: функционального (предназначен для выполнения целевой функции системы – разработки проекта) и обеспечивающего (подразумевает гарантию ее выполнения посредством предоставления необходимых материально-технических, финансовых, инструментальных ресурсов и принятия организационно-управленческих решений). В рамках данного исследования наибольший интерес представляет функциональный модуль системы (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Состав и характеристика функционального модуля системы инженерных изысканий

Table 1

Composition and characteristics of the functional module of the engineering survey system

| Подсистема | Функция | Производные |
|---|--|---|
| Инженерно-геодезические изыскания (далее ИГДИ) | Получение топографо-геодезических данных и информации о ситуации и рельефе местности | Рельеф и геоположение |
| Инженерно-геологические и инженерно-геотехнические изыскания (далее ИГИ / ИГТИ) | Получение информации об инженерно-геологических и инженерно-геотехнических особенностях территории | Геологические, гидрогеологические и геотехнические данные |
| Инженерно-гидрометеорологические изыскания (далее ИГМИ) | Получение информации о гидрометеорологических особенностях территории | Гидрологические, метеорологические данные |
| Инженерно-экологические изыскания (далее ИЭИ) | Получение информации о состоянии окружающей среды и возможных источниках загрязнения | Данные экологических наблюдений |

Описание абиотической составляющей – рельефа, геологических, геотехнических и гидрологических особенностей территории изысканий – отнесено к функциям подсистем ИГДИ, ИГИ / ИГТИ и ИГМИ. Сведения о характере рельефа и пространственном положении объекта исследования – производные ИГДИ – используются при разработке технической документации другими подсистемами функционального модуля. Отличительной чертой ИЭИ является применение в процессе изучения абиотической и биотической составляющей производных всех указанных подсистем.

⁴ СП 47.13330.2016 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения».

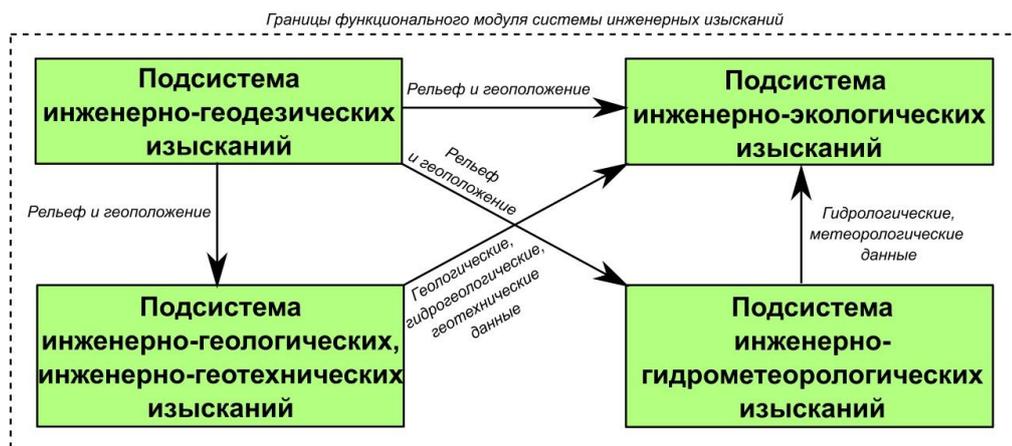


Рис. 1. Структура функционального модуля системы инженерных изысканий
 Fig. 1. The structure of the functional module of the engineering survey system

На основе изложенного выше разработана комплексная модель инженерных изысканий (рис. 2). Использование ИМ в инженерных изысканиях обуславливает модернизацию компонентов системы, в связи с чем представленная модель претерпевает ряд изменений.

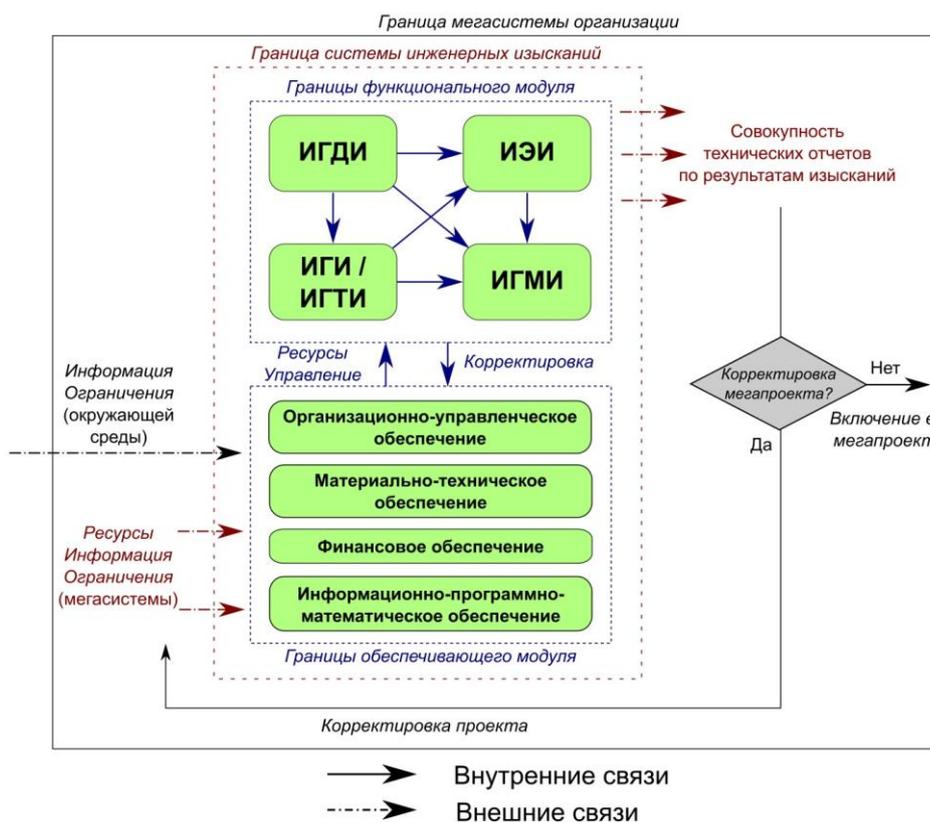


Рис. 2. Комплексная модель инженерных изысканий
 Fig. 2. Complex model of engineering survey

Обновленная модель функционирования системы инженерных изысканий должна позволять получать в качестве выходных результатов технические отчеты, графические данные и трехмерную сводную модель инженерных изысканий. При этом очевидно, что входные параметры должны быть дополнены специальными требованиями к ИМ (дополнительные ограничения) и перечнем необходимого для работы программного обеспечения (дополнительные ресурсы).

Состав и структура инженерных изысканий остаются прежними, так как ИМ не предполагает создание новых подсистем. При этом изменяется содержание связей в рамках функционального модуля системы: основной единицей, характеризующей их, становятся элементы ИМ – цифровая модель рельефа (производная ИГДИ), модели данных гидрометеорологических, геолого-геотехнических и экологических наблюдений (производные ИГМИ, ИГИ / ИГТИ и ИЭИ соответственно).

Стоит отметить, что осуществление менеджмента ИМ (формирование сводной информационной модели инженерных изысканий и контроль создания ее частей) рассматривается как внешнее воздействие на систему со стороны мегасистемы.

Инженерно-экологические изыскания в контексте комплексной модели инженерных изысканий и внедрения технологий ИМ

Используя принцип иерархичности систем, рассмотрим подсистему ИЭИ в качестве отдельной системы. В таком случае для системы инженерно-экологических изысканий (далее подсистемы) рассмотренная выше система инженерных изысканий выступает как один из факторов внешней среды.

К входным параметрам для подсистемы инженерно-экологических изысканий относятся входы системы инженерных изысканий. Кроме того, на нее воздействуют другие подсистемы функционального модуля, предоставляющие сведения о рельефе, геологических и гидрологических особенностях участка изысканий. Результат функционирования подсистемы ИЭИ приводит к появлению в мегапроекте сведений об инженерно-экологическом состоянии территории проектирования в виде технического отчета.

В составе технического отчета⁵ по результатам инженерно-экологических изысканий выделяют пояснительную записку и графические материалы (табл. 2). Экологическая информация, содержащаяся в пояснительной записке, включает в себя оценку геоэкологического состояния территории, описание особенностей почвы и растительного покрова, состава фауны, а также вероятности возникновения опасных экзогенных геологических процессов и гидрологических явлений. Характеристика современного и прогнозируемого экологического состояния территории основана на зонировании территории по принципу наличия участков ограничений хозяйственной деятельности, загрязнения компонентов среды и предполагаемой деградации почвенного и растительного покрова в процессе дальнейших работ на исследуемом участке. Графическая часть визуализирует представленную в пояснительной записке информацию.

Процесс создания технического отчета по результатам ИЭИ представлен в виде схемы формирования экологического обеспечения проекта (рис. 3). Пояснительная записка содержит информацию, необходимую для атрибутирования и описания графических материалов, а графические материалы дополняют пояснительную записку данными о пространственном расположении объекта и описываемых в тексте объектов, процессов и явлений.

⁵ СП 47.13330.2016 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения»; СП 11-102-97 «Инженерно-экологические изыскания для строительства».

Таблица 2

Состав инженерно-экологического обеспечения проекта

Table 2

The composition of the engineering and environmental support of the project

| Элемент | Описание |
|-----------------------|---|
| Пояснительная записка | Текстовая часть отчета по результатам ИЭИ, содержащая экологическую информацию в соответствии с нормативно-правовыми актами, регулируемыми состав и содержание отчета |
| Графические материалы | Картосхемы, выполненные в двумерном виде с использованием ГИС, дополняющие и раскрывающие пояснительную записку |

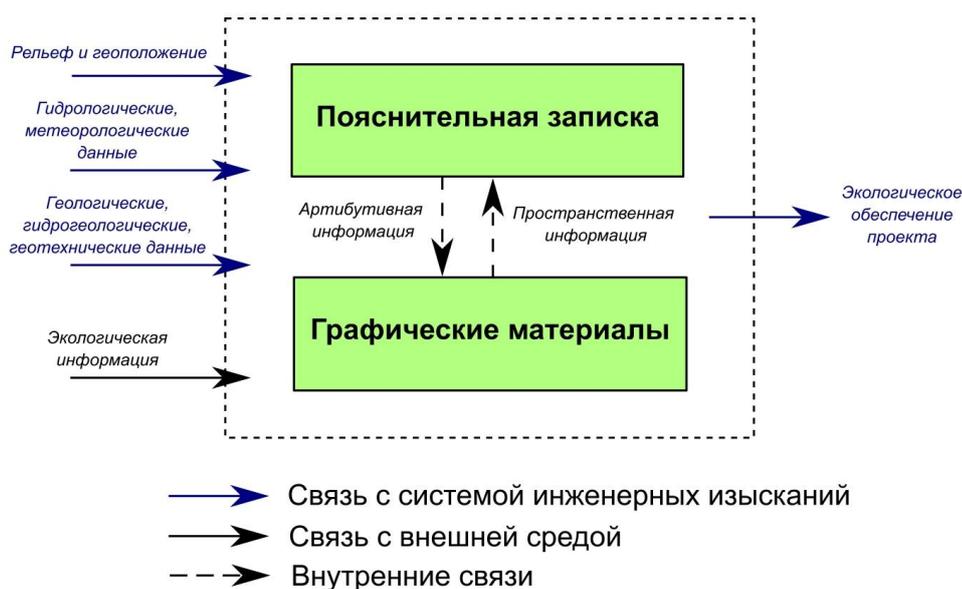


Рис. 3. Схема формирования экологического обеспечения проекта
 Fig. 3. Scheme for the formation of the environmental support of the project

Внедрение ИМ в процесс ИЭИ приводит к изменению выходных параметров подсистемы – в составе инженерно-экологического обеспечения проекта выделяется модель данных экологических наблюдений как часть сводной цифровой модели инженерных изысканий. В соответствии с этим трансформируются входные и выходные параметры подсистемы аналогично рассмотренным ранее входам и выходам системы инженерных изысканий.

Рассмотрено несколько вариантов состава экологического обоснования проекта в случае внедрения технологии ИМ. В первом варианте модель данных экологических наблюдений разрабатывается на основе графических материалов и выступает в качестве дополнительной составляющей экологического обеспечения проекта (рис. 4, а). Второй вариант предусматривает формирование модели данных экологических наблюдений как основы для создания графических материалов в традиционном (двумерном) и трехмерном видах (рис. 4, б).

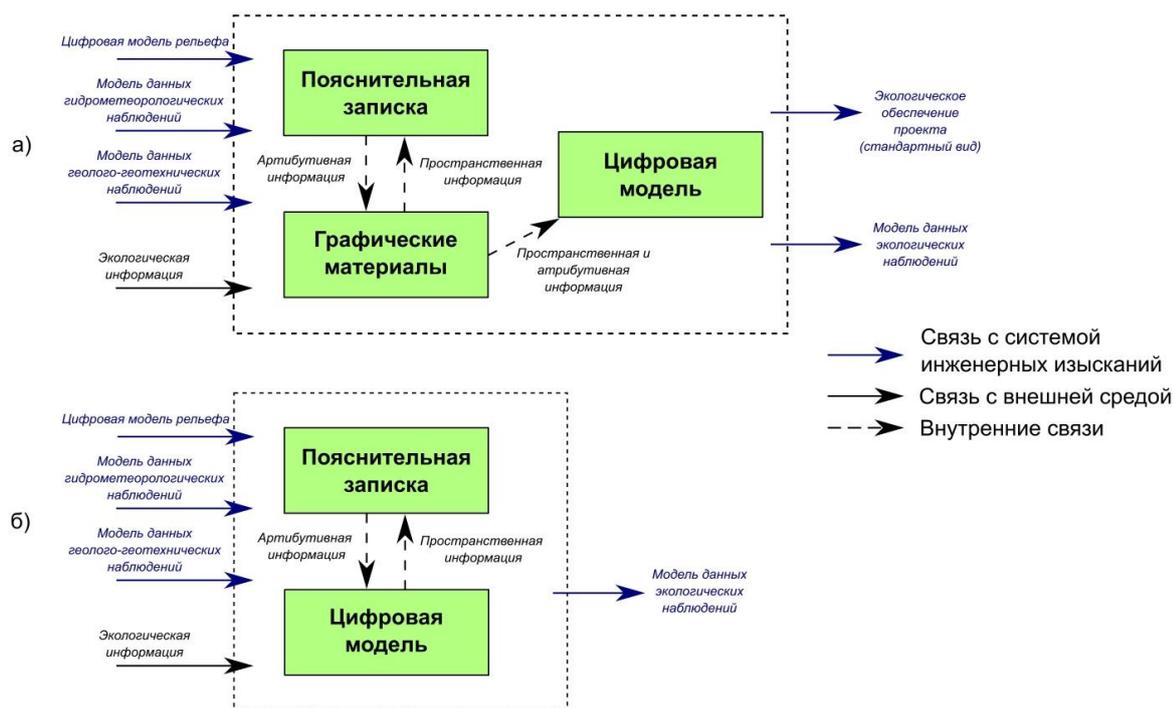


Рис. 4. Схема формирования инженерно-экологического обеспечения проекта с учетом внедрения технологии ИМ (а – первый вариант, б – второй вариант)
 Fig. 4. Scheme of the formation of engineering and environmental support of the project, taking into account the introduction of BIM (a – first option, b – second option)

Построение и анализ плана-сценария развития системы инженерно-экологических изысканий с учетом внедрения ИМ

Применение системного анализа позволило выявить особенности системы инженерных изысканий и подсистемы инженерно-экологических изысканий, охарактеризовать их изменения при внедрении технологии ИМ в процесс работы. Эффективный переход от исходного к желаемому состоянию систем необходимо выполнять с учетом оценки рисков, имеющихся ресурсов и возможностей. Решение этой задачи возможно благодаря использованию комплекса методов форсайт-исследования [3] и риск-менеджмента [4]. Идея заключается в построении плана-сценария внедрения технологии ИМ с определением узловых точек – этапов, на которых необходимо осуществить выбор между альтернативными вариантами развития на основе оценки рисков, возможностей и имеющихся ресурсов.

Узловые точки и направления развития в плане-сценарии внедрения технологий ИМ в ИЭИ (рис. 5) выделены на основе анализа нормативно-правовой базы в сфере инженерных изысканий и ИМ, а также зарубежного и отечественного опыта информационного моделирования.

В рамках исследования выделено две узловые точки внедрения ИМ в процесс ИЭИ: выбор итогового состава экологического обеспечения проекта и выбор программного обеспечения для его достижения. При этом в зависимости от принятия решений формируется три варианта итогового состояния системы – первые два основаны на модернизации системы, а третий представляет собой возврат к исходному состоянию.

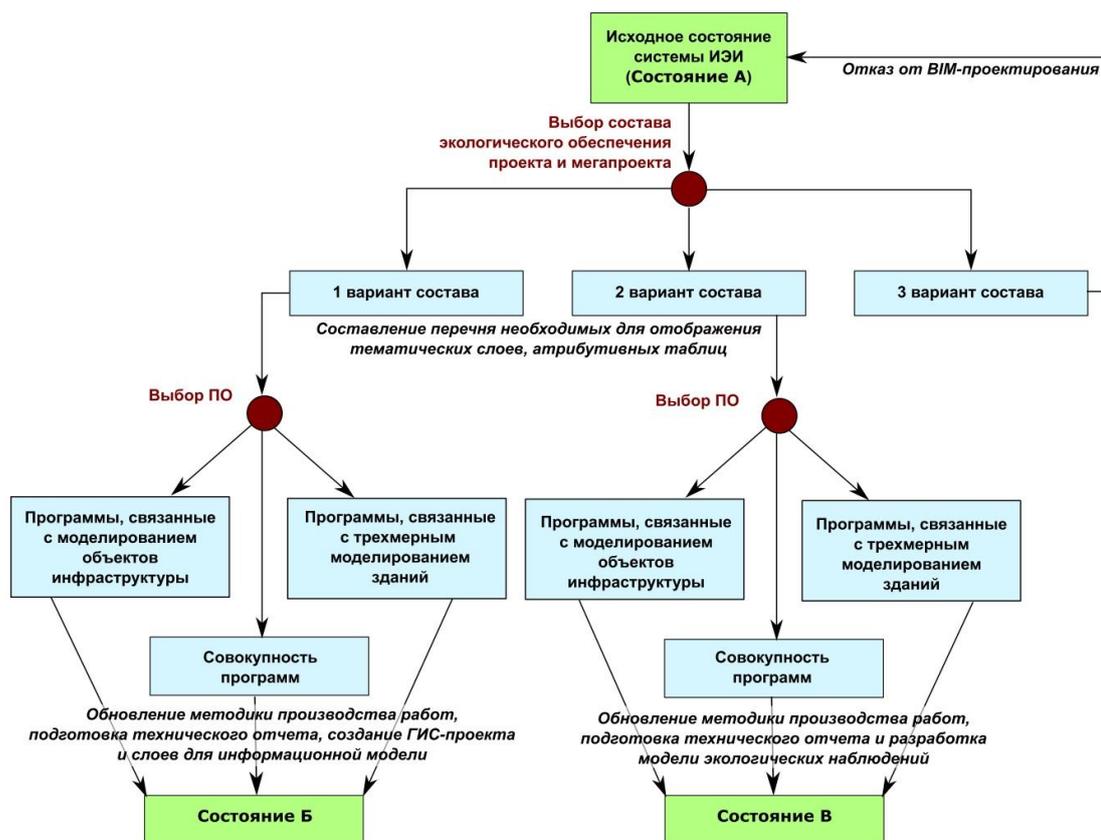


Рис. 5. План-сценарий внедрения технологии информационного моделирования в инженерно-экологические изыскания

Fig. 5. Scenario plan for the introduction of BIM in engineering and environmental surveys

В оценку рисков и возможностей в ходе принятия решений по выбору приемлемого для воплощения варианта (табл. 3) входит характеристика их содержания, вероятности возникновения, возможных путей управления ими, а также наиболее уязвимый из выделенных путей развития системы.

Наиболее уязвимым в узловой точке 1 является третий путь, подразумевающий возврат к исходному состоянию А. Данное заключение связано с предполагаемым изменением законодательства в пользу BIM-проектирования, а также с маловероятными положительными изменениями внутри системы в случае отказа от технологий ИМ.

Второй путь развития, ведущий к состоянию В, связан с высоким риском увеличения времени проектирования и возможности получения отрицательного заключения экспертов, а также общей массивностью при прочих равных факторах.

Преимуществом первого пути внедрения технологии ИМ является возможность возврата к исходному состоянию системы А или планомерного развития до состояния В. Таким образом, следует принять решение по выбору первого пути внедрения технологии ИМ как наиболее приемлемого из представленных.

Таблица 3

Оценка рисков и возможностей при выборе направления развития

Table 3

Assessment of risks and opportunities when choosing the direction of development

| Содержание риска / возможности | | Вероятность (по вариантам) | Пути управления | Уязвимый вариант |
|---|---|--|--|------------------|
| <i>Узловая точка 1: выбор желаемого комплекса моделей</i> | | | | |
| Риски | Получение отрицательного заключения Главгос-экспертизы РФ | 1, 3 – низкая 2 – средняя | 1. Разработка документации в двух видах: стандартный технический отчет и инженерная цифровая модель местности. 2. Обратная связь с экспертами в рамках ИМ | 2 |
| | Изменение законодательства в области ИМ | 3 – критическая 1, 2 – средняя | 1. Пилотное проектирование. 2. Подготовка кадров. 3. Обратная связь со специалистами, разрабатывающими нормативную документацию | 3 |
| | Неверная оценка стоимости работ | 1,2 – средняя 3 – низкая | 1. Пилотное проектирование. 2. Подготовка кадров. 3. Изучение опыта ИМ | 1, 2 |
| | Рост времени работы над проектами | 1 – средняя 2 – высокая 3 – низкая | | 2 |
| Возможности | Рост объемов выполненных работ | 1, 2 – средняя 3 – низкая | 1. Пилотное проектирование. 2. Подготовка кадров | 3 |
| | Рост качества выпускаемой продукции | | 1. Обратная связь с заказчиками. 2. Повышение доли BIM-проектов | |
| | Рост количества заказов | | | |

Окончание табл. 3

| Содержание риска / возможности | | Вероятность (по вариантам) | Пути управления | Уязвимый вариант |
|--|---|--|--|-----------------------|
| <i>Узловая точка 2: выбор программного обеспечения</i> | | | | |
| Риски | Необходимость предоставления модели в другом ПО | Все – средняя | 1. Мониторинг рынка заказов. 2. Использование при разработке ИМ формата IFC с открытой спецификацией | Все |
| | Отсутствие достаточного количества лицензий ПО | Все – средняя | 1. Определение количества сотрудников, задействованных в разработке ИМ. 2. Выделение резервов на закупку ПО | Все |
| | Низкая совместимость BIM- и ГИС-систем | 1.1, 2.1 – низкая 1.2, 1.3, 2.2, 2.3 – средняя | 1. Обратная связь с разработчиками программ. 2. Анализ альтернативных вариантов программного обеспечения | 1.2, 1.3, 2.2, 2.3 |
| | Массивность файлов и сложность файловой структуры | 1.1, 1.2, 1.3 – средняя 2.1, 2.2, 2.3 – высокая | 1. Создание облачных хранилищ и серверных дисков для хранения. 2. Разделение BIM-проектов на этапы | 2.1, 2.2, 2.3 |

Из трех вариантов используемого программного обеспечения наиболее эффективным представляется работа с набором программ, в этом случае следует необходимая оценка возможностей по оснащению системы необходимым программным обеспечением. На наш взгляд, наиболее выгодным как с точки зрения оценки рисков и возможностей, так и с точки зрения использования ресурсов организации становится выбор пути 1.1. Он предполагает формирование пояснительной записки, графических материалов и модели данных экологических наблюдений с использованием программного обеспечения, основанного на проектировании инфраструктуры в рамках ИМ.

Выводы

В ходе исследования разработана методика перехода к ИМ в рамках инженерных изысканий на примере блока инженерно-экологических изысканий, начальное и конечные состояния функционирования которого определены и описаны с помощью методов системного анализа. Пути внедрения ИМ установлены благодаря форсайт-исследованию, а риск-менеджмент позволил обосновать выбор наиболее эффективного направления.

В методике выделены следующие ключевые этапы:

- 1) построение комплексной модели текущего состояния системы изысканий;
- 2) характеристика изменений в системе при внедрении технологии ИМ;
- 3) создание плана-сценария внедрения технологии ИМ с выделением альтернативных путей развития системы;
- 4) выбор наиболее эффективного варианта развития системы с помощью оценки рисков, возможностей и доступных ресурсов в узловых точках развития.

В итоге при отсутствии дополнительных ограничений и в условиях зарождения нормативной правовой базы ИМ в России выглядит наиболее эффективным представлением результатов изысканий в виде стандартных технических отчетов, дополненных цифровыми моделями по видам изысканий, с постепенным усилением роли информационного моделирования. При этом рекомендуется использовать программное обеспечение трехмерного моделирования инфраструктуры.

Список литературы

1. **Sacks R., Eastman Ch., Lee G., Teicholz P.** BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. 3rd ed. USA: Jhon Wiely and Sons, Inc., 2018, 659 p. DOI 10.1002/9781119287568
2. **Иванова Т. Ю.** Теория организации: Учебник. 4-е изд. М.: КНОРУС, 2012. 432 с.
3. **Кинэн М.** Технологический Форсайт: Международный опыт // Форсайт. 2009. Т. 3, № 3. С. 60–68. DOI 10.17323/1995-459x.2009.3.60.68
4. **Капустина Н. В.** Теоретико-методологические подходы риск-менеджмента: Монография. М.: ИНФРА-М, 2016. 140 с.

References

1. **Sacks R., Eastman Ch., Lee G., Teicholz P.** BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. 3rd ed. USA: Jhon Wiely and Sons, Inc., 2018, 659 p. DOI 10.1002/9781119287568
2. **Ivanova T. Yu.** Teoriya organizatsii [Organization theory] Textbook. 4th ed. Moscow, KNORUS, 2012, 432 p (in Russ.)
3. **Keenan M.** Tekhnologicheskii Forsayt: mezhdunarodnyy opyt [Technology Foresight: International Experience]. *Foresight-Russia*, 2009, vol. 3, no. 3, pp. 60–68. (in Russ.). DOI 10.17323/1995-459x.2009.3.60.68

4. **Kapustina N. V.** Teoretiko-metodologicheskie podhody risk-menedzhmenta [Theoretical and methodological approaches to risk management]. Monograph. Moscow, INFRA-M, 2016, 140 p. (in Russ.)

Информация об авторах

Антон Сергеевич Флеенко, магистрант второго года обучения
Александр Федорович Демьяненко, доктор технических наук, профессор
Author ID 310010

Information about the Authors

Anton S. Fleenko, 2nd year Master Student
Alexander F. Demianenko, Doctor of Sciences (Techniques), Professor
Author ID 310010

*Статья поступила в редакцию 10.06.2021;
одобрена после рецензирования 01.07.2021; принята к публикации 01.07.2021
The article was submitted 10.06.2021;
approved after reviewing 01.07.2021; accepted for publication 01.07.2021*