

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2022, №3 Том 9 / 2022, No 3, Vol 9 <https://resources.today/issue-3-2022.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/21NZOR322.pdf>

DOI: 10.15862/21NZOR322 (<https://doi.org/10.15862/21NZOR322>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Козеева, И. О. Трехмерное моделирование городского пространства на основе геоинформационных технологий / И. О. Козеева // Отходы и ресурсы. — 2022. — Т. 9. — № 3. — URL: <https://resources.today/PDF/21NZOR322.pdf> DOI: 10.15862/21NZOR322

For citation:

Kozeeva O.O. 3D Urban design based on geographic information technologies. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*, 9(3): 21NZOR322. Available at: <https://resources.today/PDF/21NZOR322.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.15862/21NZOR322

Козеева Ольга Олеговна

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»

Филиал в г. Калуга, Калуга, Россия

Старший преподаватель, аспирант кафедры ИУК2 «Информационные системы и сети»

E-mail: blueelectricat@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4704-2614>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=927509

Трехмерное моделирование городского пространства на основе геоинформационных технологий

Аннотация. Геоинформационные системы являются одним из инструментов решения задач градостроительной деятельности при проведении работ по территориальному планированию, архитектурно-строительному проектированию, строительству, реконструкции и эксплуатации зданий и сооружений. В процессе выполнения инженерно-строительных работ необходимо учитывать множество различных факторов: требования к обеспечению доступной среды жизнедеятельности для различных групп населения, влияние техногенных факторов на экологическую обстановку, что приводит к необходимости реализации автоматизированных решений планирования урбанистического и индустриального ландшафта, которые позволяют выполнять комплексный анализ исследуемых объектов и взаимосвязей между ними. Данная статья является частью диссертационного исследования, целью которого является снижение затрат при строительстве объектов города и оптимизация инженерной инфраструктуры посредством повышения эффективности проведения первичных инженерно-строительных изысканий с помощью интегрированных цифровых технологий. Поставленная цель достигается решением задачи исследования возможностей применения современных геоинформационных технологий в соответствии с существующими нормами и стандартами проведения инженерно-строительных изысканий и методологией развития цифровизации в градостроительной деятельности. В работе исследованы возможности применения трехмерной модели, которая позволяет сформировать единую среду описания пространственно распределенных подземных и наземных объектов, а поскольку в нормативной документации среди метрик, характеризующих взаимное расположение объектов, присутствуют расстояния в свету как по горизонтали, так и по вертикали, то подобная модель, представленная в трех измерениях, обеспечивает возможность выполнения расчетных работ одновременно по ряду критериев, а на основе структурированных данных об объектах различных уровней города и информационных потоках возможно реализовать автоматизированные решения широкого ряда

прикладных задач, обеспечивая высокую точность и достоверность проводимых расчетов. Таким образом, в данной статье рассмотрена реализация программного построения вариантов расположения объектов в контексте городского пространства в трехмерной форме с помощью средств разработки среды трехмерного моделирования с учетом стандартов проведения инженерно-строительных изысканий.

Ключевые слова: геоинформационные системы; подземные инженерные коммуникации; инженерная цифровая модель местности; градостроительная деятельность; цифровые технологии; информационные технологии; инженерно-строительные изыскания

Введение

Геоинформационные системы (ГИС) являются одним из актуальных инструментов решения задач градостроительной деятельности при проведении работ по территориальному планированию, архитектурно-строительному проектированию, строительству, реконструкции и эксплуатации зданий и сооружений [1–4].

Данная статья является частью диссертационного исследования, целью которого является снижение затрат при строительстве объектов города и оптимизация инженерной инфраструктуры посредством повышения эффективности проведения первичных инженерно-строительных изысканий с помощью интегрированных цифровых технологий. Разрабатываемая в рамках данной работы система формирует среду многоуровневого моделирования городского пространства, объединяющую в себе данные из разнородных источников, что позволяет сократить время на проведение проектных работ и повысить эффективность использования городского пространства. Точность позиционирования объектов в пространстве является ключевым фактором, определяющим допустимость проведения строительных работ. В рассматриваемой ГИС используется трехмерная модель города, полученная современными фотограмметрическими методами получения трехмерных данных, что обуславливает возможность ее применения для проектирования городского пространства. Кроме того, при разработке модели города было учтено, что каждый объект городской системы может относиться не только к различным уровням инфраструктуры, что обусловлено, например, административно-территориальным положением в том числе и связанных с ним обслуживающих структур, но и иметь сложную характеристику с точки зрения наличия разных атрибутивных особенностей, например, принадлежности к объектам культурного или социального значения, уровню экологической безопасности, что позволяет корректно систематизировать объекты города.

Трехмерная модель формирует единую среду описания пространственно распределенных подземных и наземных объектов, а поскольку в нормативной документации среди метрик, характеризующих взаимное расположение объектов, присутствуют расстояния в свету как по горизонтали, так и по вертикали, то подобная модель, представленная в трех измерениях, обеспечивает возможность выполнения расчетных работ одновременно по ряду критериев, а на основе структурированных данных об объектах различных уровней города и информационных потоках возможно реализовать автоматизированные решения широкого ряда прикладных задач, обеспечивая высокую точность и достоверность проводимых расчетов.

Кроме того, важной задачей является обеспечение соответствия стандартам и нормам проведения инженерно-строительных изысканий, следовательно, также необходимо выполнить исследование актуальной документации, регулирующей градостроительную деятельность, и применить базовые принципы, заложенные в ней, при разработке геоинформационной системы проектирования города.

Методы

Согласно СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96 в состав инженерных изысканий входит:

- создание опорной геодезической сети;
- создание инженерно-топографических планов;
- съемка подземных коммуникаций и сооружений;
- трассирование линейных объектов;
- проектирование размещения площадных объектов;
- оценка различных аспектов (экологические, гидрографические).

Кроме того, также принято разделять изыскания на экономические и технические (инженерные) [5]. В соответствии с этим необходимо предусмотреть определение экономической целесообразности строительства сооружения в конкретном месте сравнением различных вариантов расположения с точки зрения затрат на подведение инженерных коммуникаций различного уровня. Технические изыскания в системе предусматривают анализ пространственно-координатных характеристик объекта строительства для определения наиболее оптимального расположения с точки зрения обеспеченности его различными видами инфраструктуры: инженерными коммуникациями, транспортом, доступности объектов социального назначения. В процессе проведения инженерных изысканий при строительстве объектов и сооружений проводится камеральное трассирование линейных объектов и планирование расположения площадных объектов, а также выполняется оценка участка предполагаемого строительства [5; 6].

Оптимальный вариант трассы находится путем технико-экономического сравнения различных вариантов. В качестве наиболее оптимального варианта принимается тот, который представляет собой кратчайшее расстояние между начальной и конечной точками с учетом обхода или наилучшего пересечения естественных и искусственных препятствий. Таким образом формируется несколько альтернативных вариантов расположения инженерных сетей и осуществляется анализ показателей по каждому варианту трассы на основе технико-экономического сравнения [5].

Формализуя процесс проектирования городского пространства с использованием программных средств, можно выделить следующие этапы:

1. Постановка целей.
2. Анализ текущих условий среды.
3. Моделирование расположения объектов.
4. Конфигурация параметров планирования.
5. Реализация сценария проекта.
6. Оценка сценария и обратная связь от пользователя системы.

Постановка целей включает в себя определение круга решаемых задач при анализе проблематики предметной области. На их основе выполняется формирование структуры сценариев моделирования, в результате которого генерируются варианты проектирования и их оценка.

С помощью полученных данных выбирается предпочтительный вариант расположения объектов при согласовании принимаемых проектных решений. При выборе места расположения объектов необходимо исходить из комплексной оценки местности, высокой плотности инженерных и транспортных магистральных сетей города и насыщенности общественными объектами, а также зонирования территории города, состояния окружающей среды и ее влияния на условия жизни и здоровья населения.

В данной статье рассматривается этап моделирования расположения объектов на основе автоматизации первичных инженерных изысканий с использованием инженерной цифровой модели местности (ИЦММ). ИЦММ формируется на основе сбора, систематизации, интерпретации и анализа материалов инженерных изысканий: топографо-геодезических, аэрофотосъемочных, землеустроительных и других фондовых (архивных) материалов и данных прошлых лет, материалов дистанционного зондирования Земли, рекогносцировочного обследования территории и других результатов исследований [5].

Топографическая основа модели формируется на основе использования цифровой аэрофотосъемки, стереотопографическим, комбинированным аэрофототопографическим методами, а также сочетания различных методов фиксации пространственно-координатных данных. Используемые методы обеспечивают необходимую точность съемки ситуации и рельефа. Работы по съемке и обследованию подземных коммуникаций входят в состав топографической съемки. Планы подземных инженерных коммуникаций и сооружений составляют по данным исполнительных чертежей, материалам исполнительной и контрольной геодезических съемок, а также по результатам съемки и полевого обследования подземных коммуникаций и сооружений.

ИЦММ позволяет осуществлять автоматизированное камеральное трассирование и предварительный выбор оптимальных вариантов прохождения трассы линейных объектов с последующей камеральной укладкой трассы, камеральным построением профилей и поперечников по материалам съемки и подготовкой информации по планово-высотному обоснованию для геодезического обеспечения строительства [5; 6].

Результаты

В рамках реализации системы, направленной на повышение эффективности градостроительной деятельности, был сформирован обобщенный алгоритм работы (рис. 1).

Алгоритм состоит из следующих основных этапов:

1. Инициализация процедуры моделирования расположения объекта: извлечение данных и формирование дескрипторов объектов модели (блоки 1–11).
2. Генерация вариантов расположения объекта в городской среде (блоки 12–22).
3. Анализ сформированных вариантов расположения объекта в городской среде и сохранение сценария моделирования (блоки 23–29).

Система, разрабатываемая в соответствии с представленным алгоритмом, обеспечивает поддержку принятия решений при выборе места расположения объектов в городском пространстве выполнением сравнительного анализа альтернативных вариантов размещения объектов, реализация которого заложена в модуле оценки альтернатив. Дескриптивная модель объектов городского пространства отображает их атрибуты, формируя инфологическую модель базы данных. Информация о множестве разнородных объектов города унифицирована и сведена в единый формат для возможности дальнейшей передачи и обработки.

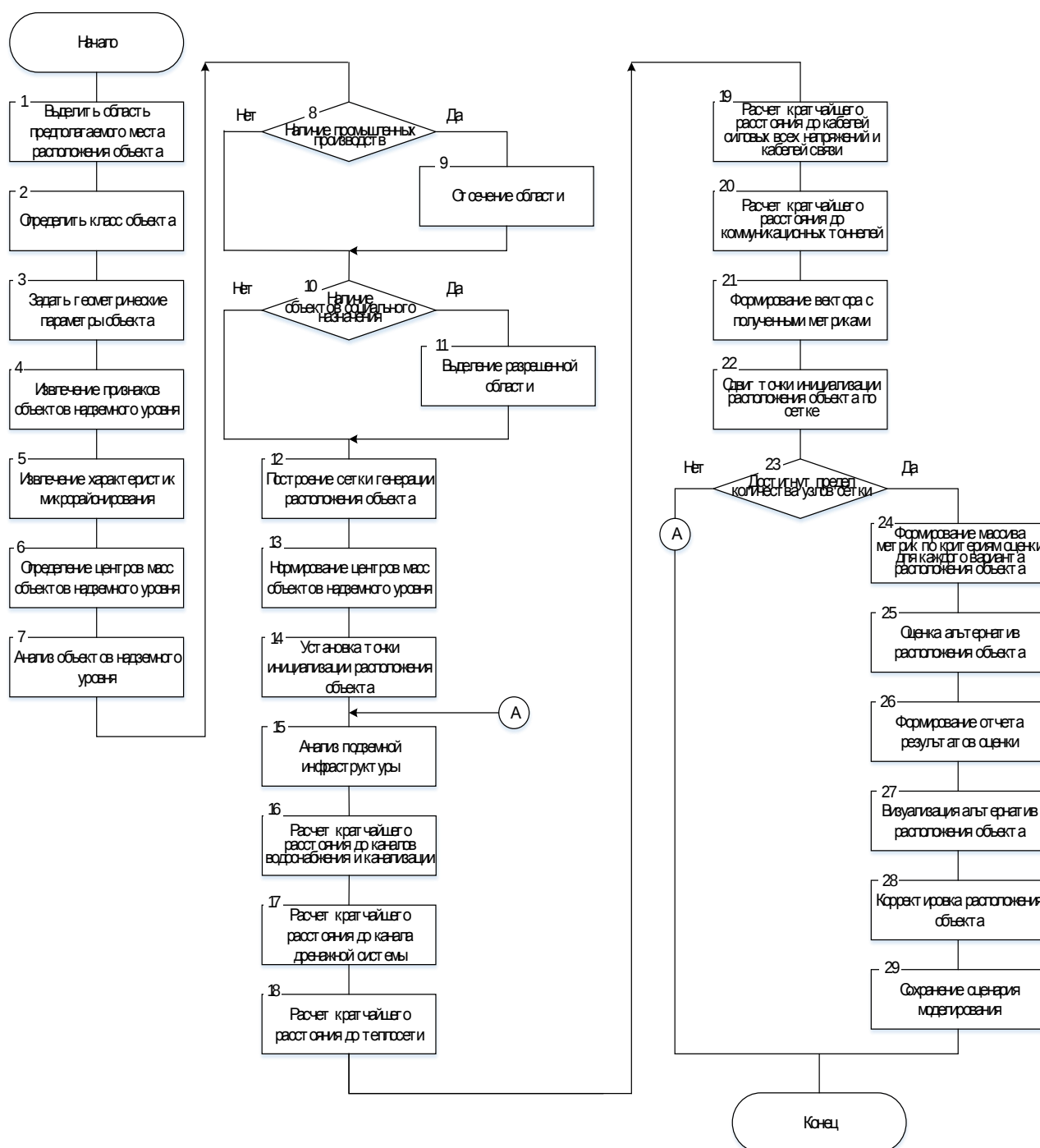


Рисунок 1. Обобщенный алгоритм функционирования системы (рисунок автора)

Основная идея алгоритма трехмерного моделирования городского пространства состоит в построении сетки генерации расположения объектов. Пользователем выбирается территория для выбора места желаемого размещения объекта путем выделения области на трехмерной модели. При этом для выделения используется тип области «Прямоугольник». Кроме того, пользователю необходимо также ввести ориентировочные параметры объекта: А — длину, В — ширину, С — высоту. На основании этих данных выполняется построение объемного примитива, соответствующего заданным параметрам, и строится сетка генерации расположения объекта (рис. 2).

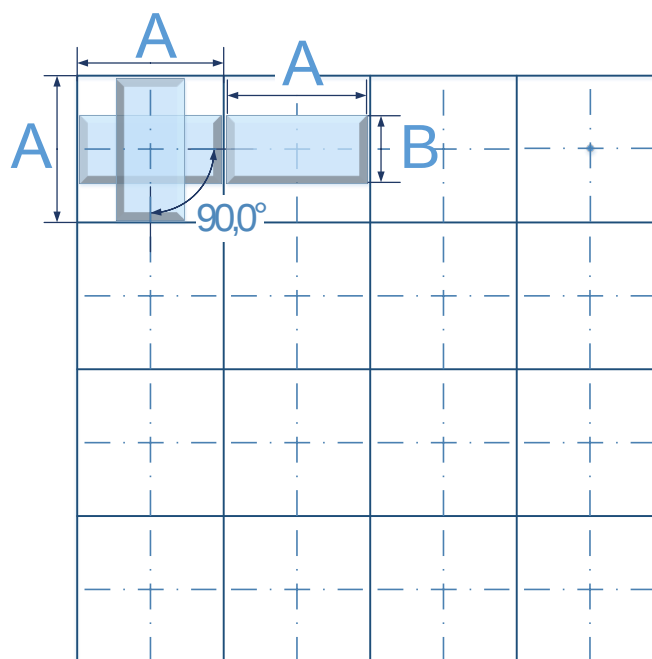


Рисунок 2. Сетка генерации расположения объекта на выбранной местности (рисунок автора)

Количество узлов формируемой сетки (1):

$$N = \text{round} \left(\frac{S_{\text{area}}}{S_{\text{obj}}} \right), \quad (1)$$

где S_{area} — площадь выбранной области;

S_{obj} — площадь объекта.

Таким образом сетка разбивается на квадраты со сторонами, равными большей стороне основания примитива. Для расширения вариативности расположений объекта выполняется его поворот на 90 градусов в плоскости для каждого из узлов сетки, и для каждой из этих позиций выполняется измерение расстояний до других объектов в соответствии с критериями. Расстояние отсчитывается от центра масс примитива объекта до точки нахождения ближайших линейных и площадных объектов. Непосредственно координаты каждого из вариантов расположения соответствуют точкам в трехмерной модели — узлам данной сетки. В ней отсекаются области размещения промышленных объектов и их санитарно-защитной зоны и включаются области необходимой близости объектов социального назначения. Для каждого из узлов сетки рассчитываются метрики по выделенным критериям. Кратчайшие расстояния до подземных инженерных коммуникаций рассчитываются путем перебора всех доступных сетей в масштабе модели. Предусмотрена проверка допустимости варианта расположения, например, отсутствия пересечения с существующими объектами. В случае, если размещение объекта не проходит верификацию, проводится перерасчет метрик до минимизации функции ошибки. В ходе работы программы формируется массив векторов, содержащих различные комбинации кратчайших путей до объектов инженерной инфраструктуры, и по умолчанию выбирается вектор с большим количеством минимумов.

Так, модель городского пространства, представленная в трех измерениях, обеспечивает возможность выполнения расчетных работ одновременно по ряду критериев, например, учитывая расстояние по горизонтали в свету от подземных коммуникаций до фундаментов

зданий и сооружений, а также взаимное расстояние по вертикали в свету между различными видами подземных коммуникаций.

Подведение сети коммуникаций к объекту производится способом прямоугольных координат по узлам геодезической сетки. При приращении координат проводится проверка допустимости пролегания канала коммуникации через данную точку, то есть отсутствие в данных координатах каких-либо объектов, и рассчитывается расстояние до других видов коммуникаций. В случае невозможности построения наиболее прямолинейного варианта трассы, выполняется ее постепенное построение с обходом препятствий сопряжением прямых.

При этом на трассах электропередач и канализации горизонтальные и вертикальные кривые не проектируются, и трасса представляет собой пространственную ломаную линию.

Если расстояние между различными видами коммуникаций не удовлетворяет нормам строительных стандартов, то происходит циклическая проверка возможности переноса каналов коммуникаций. Например, если расстояние по горизонтали (в свету) от канала водоснабжения до фундамента здания составляет менее 5 метров, то производится увеличение данной метрики при проверке взаимного расположения водопровода и других видов коммуникаций (теплосети, кабелей силовых всех напряжений и кабелей связи и так далее). Кроме того, при всех видах построений предусматривается проверка коллизий, то есть пересечения объектов.

Все операции представляют собой простые операции построения геометрических примитивов и подсчета необходимых метрик в среде разработки Bentley Microstation [7–9] на языке программирования VBA [10; 11].

Так, функция построения прямой представлена следующим фрагментом кода:

```
Sub CreateLine(pStart As Point3d, pEnd As Point3d)
    Dim oLine As LineElement
    Set oLine = CreateLineElement2(Nothing, pStart, pEnd)
    ActiveModelReference.AddElement oLine
End Sub
```

Данная функция принимает в качестве параметров координаты точек начала и конца прямой:

```
pStart = Point3dFromXYZ(10, 20, 30)
pEnd = Point3dFromXYZ(70, 40, 20)
```

Вращение объекта в трехмерном пространстве является более сложной операцией. Вращение может быть представлено как операция преобразования положения объекта в трехмерном пространстве, состоящего из смещения (перемещения по прямой) и непосредственно вращения (поворот вокруг оси) [12; 13].

Смещение Δ из одной точки $p_0(p_{0x}, p_{0y}, p_{0z})$ пространства в другую $p_1(p_{1x}, p_{1y}, p_{1z})$ определяет следующее выражение (2):

$$p_1 = p_0 + \Delta, \quad (2)$$

Математически вращение может быть описано матричным методом, который позволяет выполнять ряд различных преобразований в трехмерном пространстве [12; 13]. В общем виде матрица преобразований обладает размерностью 4×4 (рис. 3):

$$M = \begin{matrix} & \begin{matrix} OX & OY & OZ \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{matrix} \end{matrix}$$

Рисунок 3. Матрица преобразований в трехмерном пространстве (рисунок автора)

Преобразования представлены локализовано (рис. 4):

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Рисунок 4. Распределение в матрице преобразований (рисунок автора)

Здесь:

- матрица 3x3 определяет изменения масштаба, сдвиг и вращение;
- матрица 1x3 определяет смещение;
- матрица 3x1 определяет преобразования в перспективе;
- матрица 1x1 определяет общее изменение масштаба.

Отсюда определяется вращение как произведение матриц R_x , R_y , R_z [12; 13]:

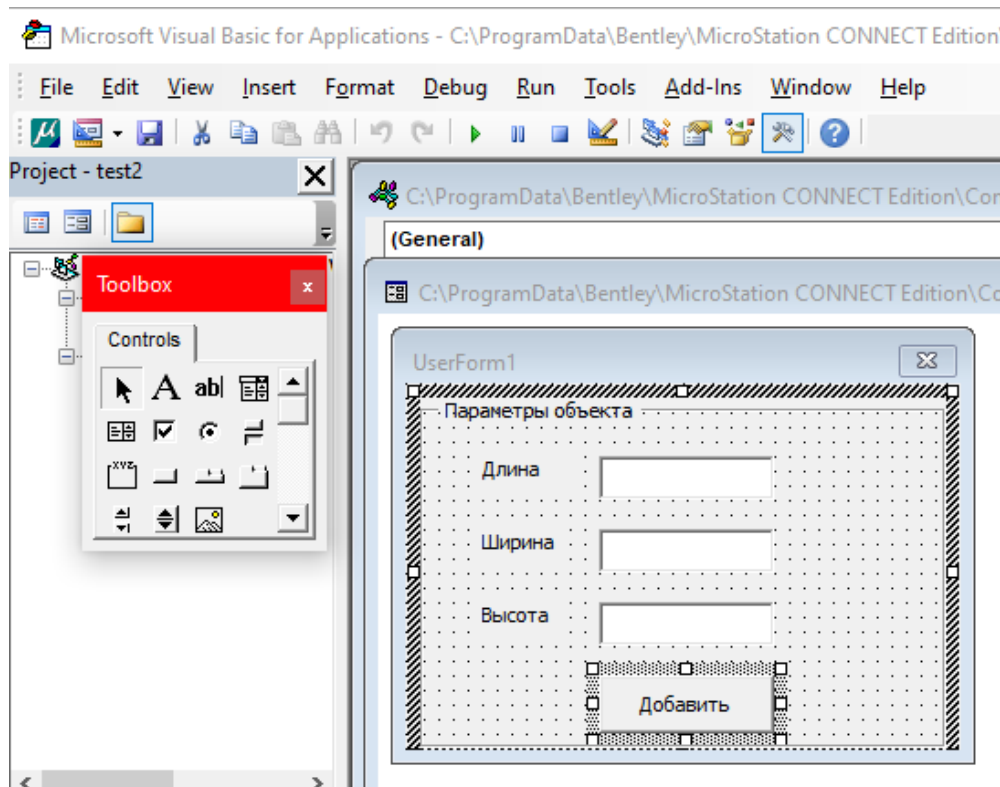
$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}, R_y = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix}, R_z = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

В программе можно сформировать матрицу вращения, используя метод VBA `Matrix3dFromAxisAndRotationAngle()`, где в качестве осей вращения используются оси x, y, z. Также можно использовать метод `Matrix3dFromVectorAndRotationAngle(axis, radians)`. В данном случае в первую очередь вычисляется вектор `<Point3d>`, который будет использоваться в качестве оси вращения. Данный вектор проходит через центр масс объекта ортогонально опорной плоскости и определяется функцией `SetAxis()`.

Фрагмент кода формирования матрицы вращения, которая реализует поворот объекта на 90 градусов:

```
Const angle1 As Double = 90
Dim r1 As Double
r1 = Radians(angle1)
Dim oLine As Vector3d
Set oLine = SetAxis()
Dim axis As Point3d
axis = Point3dSubtract(oLine.StartPoint - oLine.EndPoint)
Dim rotation3D As Matrix3d
rotation3D = Matrix3dFromVectorAndRotationAngle(axis, r1)
currObj.Rotation = rotation3D
```

Для построения трехмерных объектов в скрипте VBA вызываются встроенные функции Microstation. Так, для формирования объекта с параметрами, которые должен задать пользователь, реализовано простейшее диалоговое окно (рис. 5).



*Рисунок 5. Реализация интерфейса
пользователя в среде разработки Microstation VBA (рисунок автора)*

При нажатии на кнопку «Добавить» срабатывает событие "PLACE SLAB ICON" и вызывается метод построения трехмерных объектов, в который передаются параметры «Длина», «Ширина», «Высота», вводимые пользователем в соответствующие текстовые поля:

```
Sub CommandButton1_Click(startPoint as Point3d, endPoint as Point3d)
Dim objLength As Double
Dim objWidth As Double
Dim objHeight As Double
Dim point As Point3d, point2 As Point3d
Dim lngTemp As Long

objLength = CDbl(TextBox1.Value)
objWidth = CDbl(TextBox2.Value)
objHeight = CDbl(TextBox3.Value)

CadInputQueue.SendKeyin "PLACE SLAB ICON "
'SetCExpressionValue "tcb->ms3DToolSettings.block.height.value",
(ActiveModelReference.UORsPerMasterUnit *objHeight), "SOLIDMODELING"
'SetCExpressionValue "tcb->ms3DToolSettings.block.width.value",
ActiveModelReference.UORsPerMasterUnit *objWidth, "SOLIDMODELING"
'SetCExpressionValue "tcb->ms3DToolSettings.block.length.value",
ActiveModelReference.UORsPerMasterUnit *objLength, "SOLIDMODELING"
' Передать точку данных в текущую команду
CadInputQueue.SendDataPoint point, 1
point.X = startPoint.X
point.Y = startPoint.Y
```

```
point.Z = startPoint.Z  
CadInputQueue.SendDataPoint point, 1  
point.X = endPoint.X + objWidth  
point.Y = startPoint.Y  
point.Z = startPoint.Z  
CadInputQueue.SendDataPoint point, 1  
point.X = endPoint.X + objWidth  
point.Y = endPoint.Y + objLength  
point.Z = startPoint.Z  
CadInputQueue.SendDataPoint point, 1  
point.X = endPoint.X + objWidth  
point.Y = endPoint.Y + objLength  
point.Z = endPoint.Z + objHeight  
CadInputQueue.SendDataPoint point, 1  
  
CommandState.StartDefaultCommand  
End Sub
```

Аналогичным образом в системе реализованы операции по построению вариантов расположения объектов города в трехмерном виде.

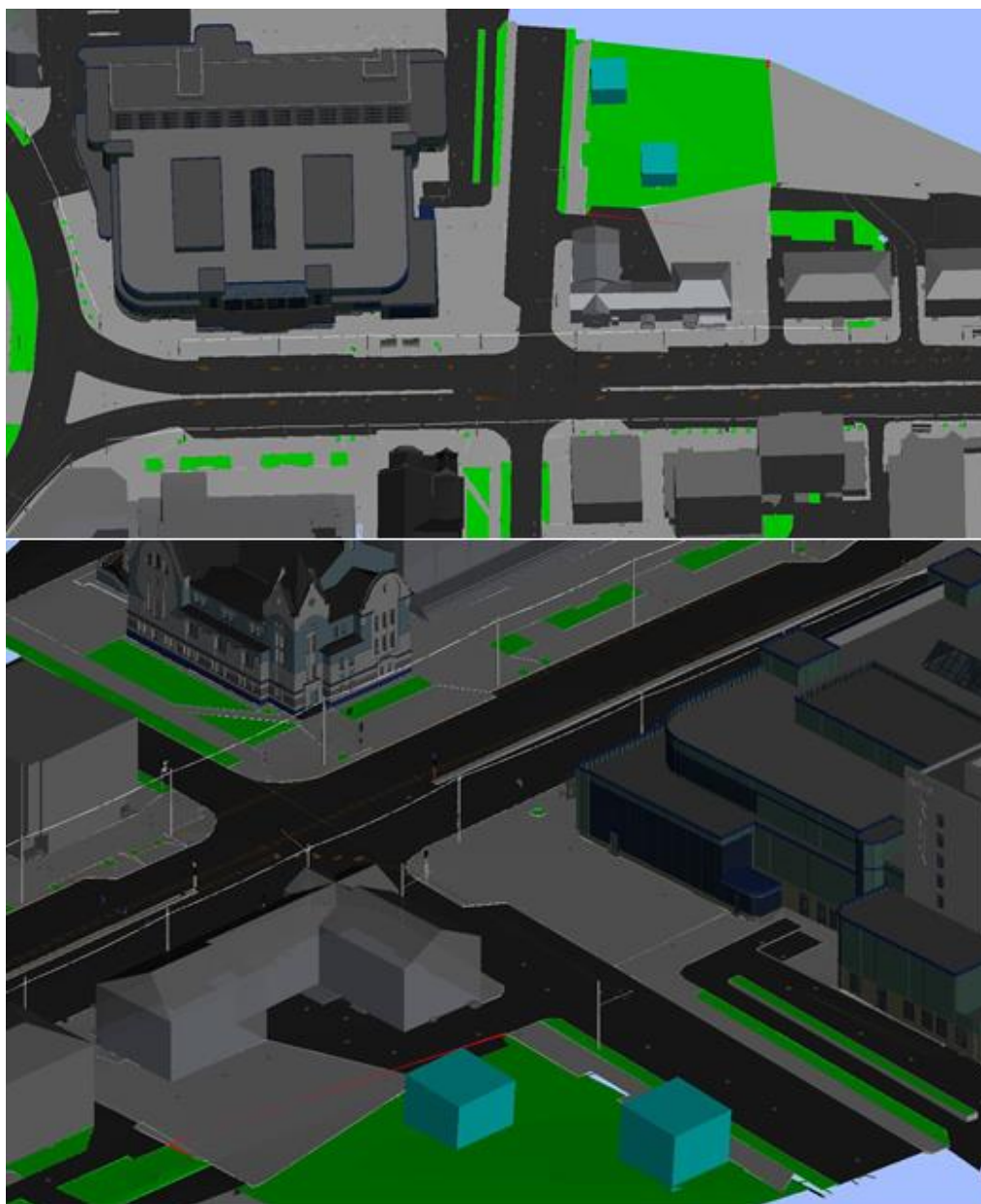
Таким образом, разработанная геоинформационная система в целом включает в себя средства по генерированию вариантов расположения объектов в контексте городской среды, а также их оценке на основе многокритериального анализа. В ходе выполнения построений, расчетов метрик по заданным критериям, проверки отсутствия коллизий выполняется построение объектов на трехмерной модели.

На рисунке 6 показана первоначальная модель города с выбранной областью для построения вариантов расположения объекта.



Рисунок 6. Выбор местности на трехмерной модели (рисунок автора)

На рисунке 7 показан результат апробации работы системы по построению объектов на трехмерной модели города:



*Рисунок 7. Отображение вариантов
расположения объекта на трехмерной модели (рисунок автора)*

Таким образом, трехмерная модель не только позволяет выполнять точные расчеты необходимых характеристик в продольном и поперечном профиле, но и отображать результаты работы программы по проектированию вариантов расположения объектов, что позволяет визуально оценить их в контексте городской среды.

Заключение

Существующее программное обеспечение предоставляет широкий ряд возможностей для автоматизированного проектирования генеральных планов промышленных предприятий, сооружений, строительных площадок, объектов архитектуры и градостроительства, жилищно-гражданских объектов, позволяя актуализировать процессы инженерного проектирования в соответствии с современными направлениями информатизации.

Однако, в целях развития существующих программных решений для решения задач градостроительства необходимо обеспечить интеграцию трехмерного моделирования в системах автоматизированного проектирования (САПР), технологии информационного моделирования зданий (BIM), формирующего многоуровневую модель города, а также методов интеллектуальной обработки данных и применение системного подхода к проектированию.

На решение данной задачи направлены исследования, проводимые в данной работе, целью которых является формирование подхода к разработке программного решения автоматизации комплекса задач проектирования объектов городского пространства — геоинформационная система, формирующая единое пространство, агрегирующее разнородные данные, в том числе информацию об инфраструктуре подземных инженерных коммуникаций. Данная система служит для автоматизации инженерно-строительных изысканий для выбора площадки (трассы) размещения объектов капитального строительства, камерального трассирования вариантов прохождения трассы по полосе местности. Инженерная цифровая модель местности с данными и оценками развития опасных процессов на территории также позволяет проводить изыскания в районах развития опасных природных и техногенных, оценку происходящих процессов, формировать предложения по совершенствованию методов и технологии дальнейшего проведения инженерных изысканий.

Таким образом, в работе продемонстрирован принцип применения цифровых технологий при проектировании геоинформационной системы, направленной на оптимизацию процесса выбора расположения объектов городской среды; разработан обобщенный алгоритм выбора места расположения объекта на основе трехмерной модели города; выполнена программная реализация проектирования площадных и линейных объектов в трехмерном виде и апробация полученного решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Елисеева А.В. Классификация информационных технологий в геодезии / А.В. Елисеева, Е.В. Берднова // Специалисты АПК нового поколения: Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Саратов, 08–12 апреля 2019 года / ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»; под редакцией Е.Б. Дудниковой. — Саратов: ООО "ЦеСАин", 2019. — С. 164–168.
2. Иванова И.Ю. Использование ГИС в газораспределительной организации для анализа структуры газораспределительной сети / И.Ю. Иванова // Приоритетные направления научных исследований. Анализ, управление, перспективы: сборник статей Международной научно-практической конференции: в 2 ч., Ижевск, 27 января 2022 года. — Ижевск: Общество с ограниченной ответственностью "ОМЕГА САЙНС", 2022. — С. 29–31.
3. Малиновский М.А. Проблемы и перспективы применения BIM-технологий для создания виртуальных моделей городов в формате 3D ГИС / М.А. Малиновский, А.В. Ершов, И.Э. Аленин // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2021. — Т. 7. — № 1. — С. 223–231.
4. Евстратова Л.Г. О возможной интеграции методов фотограмметрии и BIM-технологии // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2018. Т. 1. № 4. С. 14–18.

5. Шубин, М.А. Инженерные изыскания для строительства / М.А. Шубин; Волгоградский государственный технический университет. — г. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2016. — 109 с. — ISBN 978-5-9948-2217-3. — EDN XRBKCB.
6. Шубин, М.А. Картографическое обеспечение мониторинга инженерно-геологических процессов на основе ГИС-технологий / М.А. Шубин // Природные системы и ресурсы. — 2018. — Т. 8. — № 4. — С. 64–69. — DOI 10.15688/nsr.jvolsu.2018.4.8. — EDN FJJZIS.
7. Бентли К. MicroStation v8i: подробности от первого лица / К. Бентли // САПР и графика. — 2009. — № 3(149). — С. 50–53.
8. Божко А.Н. Система автоматизированного проектирования MicroStation V8/XM / А.Н. Божко, Д.М. Жук, В.Б. Маничев; А.Н. Божко, Д.М. Жук, В.Б. Маничев. — Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. — ISBN 978-5-7038-3390-2.
9. Летникова, Д.В. Применение AUTOCAD civil 3D, landprof, MICROSTATION V8, при формировании проекта планировки и межевания территории / Д.В. Летникова, А.С. Мизина, А.А. Хорина // Научные достижения и открытия современной молодёжи: сборник статей VI Международной научно-практической конференции, Пенза, 17 января 2019 года. — Пенза: "Наука и Просвещение", 2019. — С. 55–57.
10. Зуйков А.В. О возможностях анализа геометрии AUTOCAD средствами языка VBA / А.В. Зуйков, О.Н. Калачев // Семьдесят первая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием: Сборник материалов конференции. В 3-х частях, Ярославль, 18–20 апреля 2018 года. — Ярославль: Ярославский государственный технический университет, 2018. — С. 168–171.
11. Ожгибесов О.А. Использование скрипта в MS Visual Basic for Applications для автоматизации рабочих процессов интегрированного моделирования / О.А. Ожгибесов, Е.В. Соболева // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. — 2020. — Т. 2. — С. 307–313.
12. Брусин В.А. Матрицы как линейные операторы // Соросовский образовательный журнал. — 2000. — Т. 6. — № 1.
13. Мирмович Э.Г., Усачёва Т.В. Алгебра кватернионов и вращения в трёхмерном пространстве // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. — 2009. — № 1. — С. 71–77.

Kozeeva Olga Olegovna

Bauman Moscow State Technical University (National Research University)

Kaluga branch, Kaluga, Russia

E-mail: bluelectricat@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4704-2614>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=927509

3D Urban design based on geographic information technologies

Abstract. The urban geographic information system includes a wide range of different types of complex data collected from various sources and provides a solution for city planning, architectural and construction design. The complex structure of the city determines the complex nature of information models and data flows in them. In order to increase the efficiency of existing processes in various areas and directions of urban space planning the state-of-art digital technologies are widely used. The article describes geographic information system that forms a multi-level urban space modeling environment combining data from heterogeneous sources, so it make it possible to reduce time costs for designing and improvement of urban space. The implementation of such a system implies the use of modern digital technologies that capture the geographic information of objects and the development of algorithms for multi-criteria assessment of the generated alternatives for the location of urban objects and infrastructure facilities. The purpose of the work is to increase the efficiency of primary engineering and construction surveys based on geoinformation technologies, which are widely used to solve various problems including preventing environmental issues caused by industrial activity. One of the key features of the system is the accounting of underground utilities, which makes it possible to form a comprehensive assessment of the location of buildings and structures while ensuring accuracy that meets the requirements of engineering and construction surveys, due to modern photogrammetry methods, which resulted in a three-dimensional model of the city. Also, the multi-level nature of the model allows one to choose the location of objects, satisfying the conditions for the inclusion of new objects in the existing infrastructure in terms of the availability of utilities, as well as the context of the urban environment.

Keywords: geographic information systems; underground utilities; digital terrain model; urban planning; digital technologies; information technologies; engineering and construction research