

УДК 004.925.8:332.334

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-117-130

Построение трехмерных моделей объектов магистрального трубопровода по данным лазерного сканирования для формирования границы отвода земель

Д. В. Долгополов¹, Т. И. Кузнецов¹, А. Г. Ахундов¹, А. И. Барышев¹, В. А. Мелкий²✉

¹ Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта (ООО «НИИ Транснефть»), г. Москва, Российская Федерация

² Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Южно-Сахалинск, Российская Федерация

e-mail: vamelkiy@mail.ru

Аннотация. Цель настоящего исследования – выбор и формализация методических подходов к построению трехмерных моделей объектов магистральных трубопроводов по данным лазерного сканирования для формирования границы отвода земель. В исследовании использованы методы геопространственного моделирования, которые обеспечили получение параметров объектов мониторинга трубопроводной системы по данным лазерного сканирования. Сеть магистральных трубопроводов (МТ) образует сложную природно-техническую систему, в которой участки имеют значительную протяженность и подвержены воздействию разнообразных природных и техногенных процессов, что осложняет выполнение наблюдений как за объектами системы, так и за динамикой процессов, влияющих на ее состояние. При организации геотехнического мониторинга объектов трубопроводных систем следует использовать геоинформационное моделирование, которое формируется в первую очередь при условии соблюдения принципов единства измерений и динамичности. В статье рассматриваются вопросы уровня детализации трехмерных геоинформационных моделей, создаваемых по данным лазерного сканирования. Предложены методические и технологические подходы к построению трехмерных моделей объектов магистральных трубопроводов на основе базисных элементов моделирования и иерархических классификаторов предметной области, также рассматривается возможность автоматизации построения трехмерных моделей объектов мониторинга по данным лазерного сканирования. Модели, получаемые при использовании предлагаемого подхода, обладают математической точностью конструктивных элементов, что обеспечивает высокую скорость их загрузки и работы как в настольных приложениях, так и в корпоративных web-порталах, а также для использования при формировании границы отвода земель.

Ключевые слова: землепользование, трехмерная цифровая модель, единое геоинформационное пространство, лазерное сканирование, уровень детализации, магистральный трубопровод, геотехнический мониторинг

Для цитирования:

Долгополов Д. В., Кузнецов Т. И., Ахундов А. Г., Барышев А. И., Мелкий В. А. Построение трехмерных моделей объектов магистрального трубопровода по данным лазерного сканирования для формирования границы отвода земель // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 4. – С. 117–130. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-117-130

Введение

Технологии дистанционного зондирования (ДЗ) в последнее время стремительно раз-

виваются и используются для решения большого перечня задач в рамках обеспечения надежной эксплуатации магистральных трубопроводов, в том числе для формирования

границы отвода земель. Использование данных ДЗ при построении геопространственных моделей дает возможность определить параметры, характеризующие текущее состояние объектов трубопроводной системы, необходимые для осуществления контроля качества при выполнении строительных работ и обеспечения информацией о соответствии параметров построенного или реконструированного МТ эксплуатационным требованиям, а также для анализа влияния трубопровода на природную среду и протекающие процессы и формирование границы отвода земель. Разработанные и апробированные методы геопространственного моделирования позволяют получить актуальную информацию об измеряемых параметрах, свидетельствующих о состоянии объектов мониторинга в составе трубопроводной системы, определить количественные характеристики, указывающие на определенные стадии динамических природно-техногенных процессов, влияющих на объекты инфраструктуры, с целью прогноза их дальнейшего развития и предотвращения возможных аварийных ситуаций [1].

Современные методы ДЗ и геоинформационного моделирования обладают целым рядом достоинств: обеспечивают высокий уровень детализации получаемых данных, оперативность осуществляемого мониторинга, большую скорость обработки данных и возможность ее автоматизации, а также позволяют производить съемки объектов в труднодоступных местах [1]. Технологии ДЗ трубопроводных систем постоянно совершенствуются, в том числе путем разработки методик проведения обследований с использованием беспилотных авиационных систем и лазерных сканеров наземного и воздушного базирования.

Постановка проблемы

Настоящее исследование проводилось с целью выявления и формализации методологических подходов к трехмерному геоинформационному моделированию объектов магистральных трубопроводов по данным лазерного сканирования. Основой методологического подхода при массовом сборе инфор-

мации может служить формирование базисных трехмерных цифровых моделей с различным уровнем детализации или проработки [2], использующих данные лазерного сканирования, в том числе полученные с беспилотных летательных аппаратов (рис. 1).

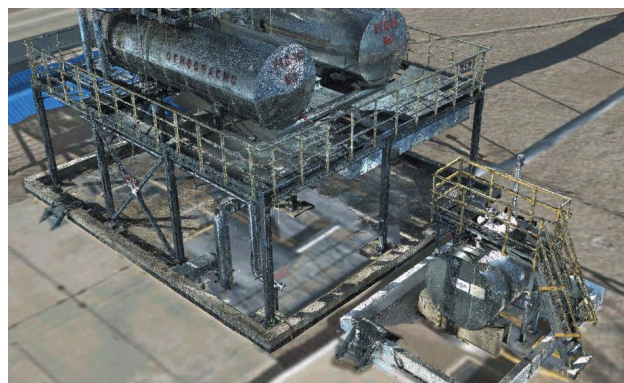


Рис. 1. 3D-модель резервуара для хранения топлива, построенная по данным лазерного сканирования

По данным лазерного сканирования строятся трехмерные цифровые модели объектов, рельефа и местности, которые являются основой для создания цифровых двойников объектов в коридоре трассы МТ и применяются для анализа ситуации при решении различных производственных задач в процессе строительства и обслуживания трубопроводных систем [1]:

- при проведении мониторинга планово-высотного положения трубопроводов;
- для определения планово-высотного положения объектов нефтеперекачивающих станций с использованием трехмерных цифровых моделей сооружений;
- при пользовании технологиями виртуальной и дополненной реальности для осуществления строительного контроля, выполнения авторского надзора на объектах строительства и реконструкции [3];
- при выполнении сбора и обработки информации об объектах капитального строительства на всех их жизненных этапах для координации входных данных, организации совместного производства и хранения данных на всех этапах жизненного цикла в соответствии с ГОСТ (ГОСТ Р 57563-2017/ISO/TS 12911:2012 Моделирование информационное в строитель-

стве. Основные положения по разработке стандартов информационного моделирования зданий и сооружений. – М. : Стандартинформ, 2017. – 33 с. Применение установлено: Федеральным законом от 29.06.2015 № 162-ФЗ. – <https://docs.cntd.ru/document/1200146763>. – Текст : электронный [4];

– в целях анализа текущего состояния строительства и выработки компенсирующих мероприятий в соответствии с СП 333.1325800 (СП 333.1325800 Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. – М. : Стандартинформ, 2021. – 189 с. Применение установлено: требованиями Федеральных законов от 27.12.2002 № 184-ФЗ и от 30.12.2009 № 384-ФЗ. – <https://docs.cntd.ru/document/573514520>. – Текст : электронный);

– для осуществления контроля объемов производимых земляных работ, соблюдения габаритов и охранных зон при подведении инженерных коммуникаций в соответствии с СП 333.1325800 с учетом их фактического местоположения [5];

– для проведения проверок производимых строительных работ на предмет соответствия проектной документации, требованиям технических регламентов к строительству, реконструкции объектов, а также соответствия нормативов, предусмотренных СП 471.1325800.2019 (СП 471.1325800.2019 Информационное моделирование в строительстве. Контроль качества производства строительных работ. – М., 2019. – 63 с. Применение установлено: требованиями Федеральных законов от 27.12.2002 № 184-ФЗ и от 30.12.2009 № 384-ФЗ. – <https://docs.cntd.ru/document/564543308>. – Текст : электронный);

– для наполнения единой системы идентификации в рамках строительного производства, эксплуатации, обеспечивающей выполнение задач логистики, хранения, учета, расходования, освоения и утилизации материалов, изделий и оборудования соответствии с СП 471.1325800;

– в целях проверки соответствия фактических геометрических параметров зданий, сооружений, инженерных сетей строящегося объекта проектным параметрам в соответствии с СП 471.1325800 [4];

– для проведения реверс-инжиниринга – уточнения габаритов, конфигурации и функций объектов и их элементов для технического обслуживания или модернизации (при отсутствии конструкторской документации);

– для обеспечения информацией при формировании цифровых двойников;

– для определения параметров, необходимых для оценки состояния основных конструктивных показателей, обеспечивающих надежность и безопасность зданий и сооружений, производственно-технических комплексов, инженерных сетей, а также их соответствия требованиям технических регламентов и указаниям проектной документации в соответствии с СП 333.1325800;

– для выявления дефектов в конструкциях зданий и сооружений, не определенных в ходе проведения визуальных осмотров [6];

– картографирование объектов трубопроводной системы и прилегающей территории (коридора трассы);

– выявление и картографирование экзогенных геологических процессов в коридоре трассы трубопровода, оценка степени опасности и динамики природных процессов;

– мероприятий по формированию границ отвода земель.

Таким образом, трехмерные геоинформационные модели объектов трубопроводных систем востребованы для широкого круга задач.

Результаты

Методические основы построения трехмерных моделей объектов магистрального трубопровода по данным лазерного сканирования. Предлагаемые методические подходы к проведению трехмерного геоинформационного моделирования объектов природно-технических систем (ПТС) трубопроводного транспорта основаны на данных лазерного сканирования, получаемых в процессе мониторинга трасс магистральных трубопроводов. Для моделирования протяженных систем магистрального трубопровода, комплексного анализа данных за разные периоды мониторинга необходимо сформировать единое координатно-временное пространство. Формирование единого координатно-временного простран-

ства включает ряд мероприятий по формированию корпоративной системы координат, развитию опорной геодезической сети, созданию необходимого планово-высотного обоснования и размещению на трассе устройств определения высоты трубопровода подземной прокладки [7].

Эффективное функционирование единого координатно-временного пространства в геоинформационной модели, которое создается с целью сбора и обработки информации, необходимой для принятия управленческих решений, обеспечивается неукоснительным соблюдением принципов иденти-

фикации и интерпретируемости (рис. 2) [8]. Принцип идентификации позволяет определить способ распознавания объекта мониторинга в полученном при съемках облаке точек и его последующее моделирование. Принцип интерпретируемости заключается в предоставлении возможности выявления вполне определенной стадии состояния природно-технической системы и необходимой информации для оценки степени опасности протекающих процессов, реализации мероприятий землепользования в сформированном едином координатно-временном пространстве [8, 9].

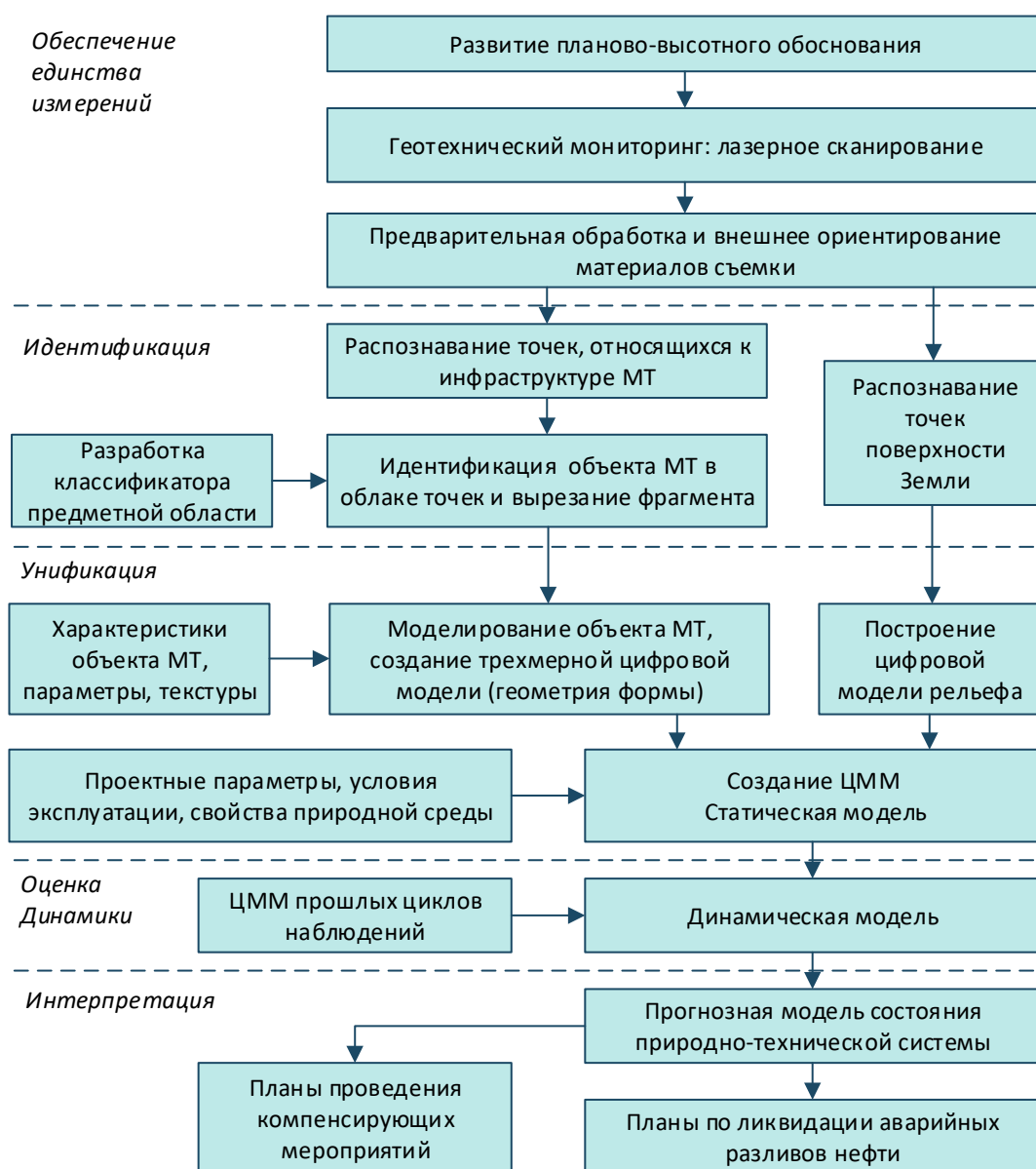


Рис. 2. Лазерное сканирование и геоинформационное моделирование как часть системы геотехнического мониторинга магистрального трубопровода (по [8] с дополнениями)

В процессе строительства и эксплуатации ПТС происходит постоянное взаимодействие технических узлов, агрегатов и иных инфраструктурных составляющих с компонентами окружающей среды: на МТ воздействуют геологические, гидрологические, атмосферные процессы, труба в свою очередь отдает тепло мерзлым грунтам и приводит к их оттаиванию, изменяет свое положение за счет линейного расширения или сжатия при изменении температуры. Трубопроводные системы претерпевают постоянные изменения, поэтому важным базовым принципом организации эксплуатации

объектов МТ и их инфраструктуры является принцип динамичности. Не менее важным является принцип унификации, которым руководствуются в процессе трехмерного геоинформационного моделирования магистральных трубопроводов. Его суть заключается в создании базисных единиц – элементов моделирования инфраструктуры трубопровода (унификации объектов моделирования) [8]. Такой подход предполагает обязательную классификацию объектов моделирования, которая часто является иерархической и наиболее показательной для площадочных объектов МТ (рис. 3).

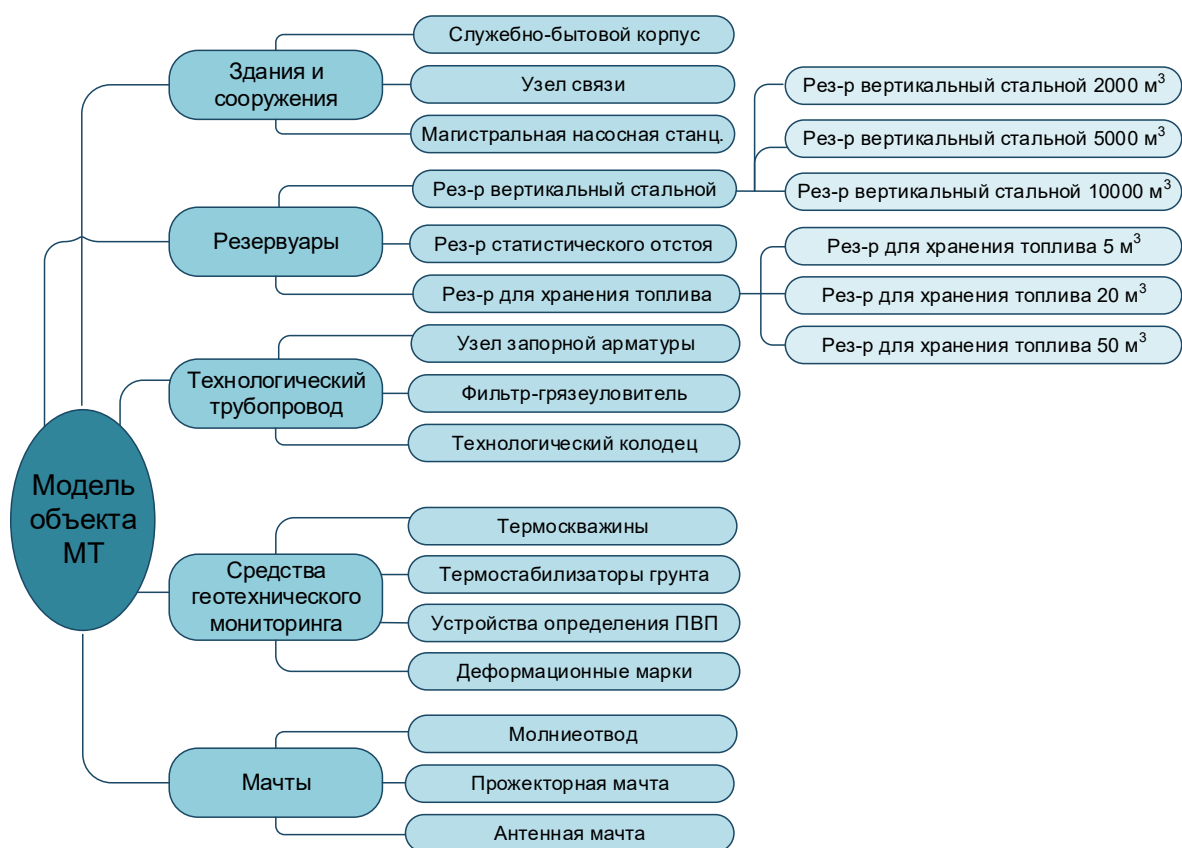


Рис. 3. Фрагмент иерархического классификатора для площадочных объектов магистрального трубопровода (по [10] с дополнениями)

Обсуждение

Принцип интерпретируемости предполагает однозначное определение технологического объекта в геопространственной модели с необходимыми параметрами и характеристиками. В то же время избыточная детализация увеличивает «вес» геопространственных моделей, что повышает требования к про-

граммным ресурсам при работе с 3D-сценами в специализированных ГИС [11–13]. Таким образом, для решения различных производственных задач необходимо учитывать различные требования к уровням детализации геопространственных моделей, в том числе требования к детализации геопространственных моделей в разрезе производственных задач (табл. 1).

Таблица 1

Уровни детализации 3D-моделей на разном этапе жизненного цикла объектов магистрального трубопровода в разрезе производственных задач

Этапы жизненного цикла	Производственная задача	Используемые в работе пространственные данные, информация, модели	Уровни детализации 3D-моделей
Предпроектное обследование объекта	Данные о пространственном положении	3D-модели объекта, точки лазерного отражения (ТЛО) объекта, ортофотоплан	LOD 100
Инженерные изыскания	Инженерно-геодезические изыскания	Цифровая модель рельефа (ЦМР), ТЛО, ортофотоплан, инженерно-топографический план	LOD 100-300
Архитектурно-строительное проектирование	Разработка проектной и рабочей документации	ВМ (ТИМ)-модели, твердотельные 3D-модели, ЦМР, ТЛО, ортофотоплан	LOD 400
Строительство и реконструкция объектов МТ	Строительный контроль	Контроль проектного планово-высотного положения (ПВП), объемов работ по цифровой модели местности (ЦММ), 3D-модели, ТЛО, ортофотоплану	LOD 400-500
	Оформление прав на земельные и лесные участки	Рабочая и исполнительная документации с использованием ЦММ, ЦМР, 3D-модели, ТЛО, ортофотоплану	LOD 300-500
Эксплуатация объекта	Контроль геометрических параметров объекта МТ	Геометрические параметры и ПВП зданий и сооружений; радиусы изгиба и перемещения трубных секций, определенные по 3D-модели, ЦМР, ТЛО	LOD 400-500
	Управление активами	Информационные системы с возможностью 3D-визуализации, в том числе 3D-моделей, ЦМР, ТЛО	LOD 100-500
	Обучение персонала	Тренажеры с дополненной реальностью, построенные на базе 3D-моделей, ЦМР, ТЛО	LOD 500
	Моделирование в области промышленной безопасности	3D-модели и ЦМР для моделирования в области промышленной безопасности	LOD 200-500
	Мероприятия по формированию границы отвода земель, ЗОУИТ	Исполнительная документация, построенная с использованием ЦММ, ЦМР, 3D-модели, ТЛО, ортофотоплана	LOD 300-500

Уровень детализации 3D-моделей, или уровень проработки, обозначается как LOD от английского LOD – Level of Development [14]. СП 333.1325800 дает следующее определение LOD: «Набор требований, определяющий полноту проработки элемента цифровой информационной модели. Уровень проработки задает минимальный объем геометрических, пространственных, количественных, а также любых атрибутивных данных, необходимых для решения задач информационного моделирования на конкретной стадии жизненного цикла объекта» (СП 333.1325800 Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. – М. : Стандартинформ, 2021. – 189 с. Применение установлено: требованиями Федеральных законов от 27.12.2002 № 184-ФЗ и от 30.12.2009 №

384-ФЗ. – <https://docs.cntd.ru/document/573514-520>. – Текст : электронный).

Методика моделирования предполагает уровень детализации от минимального LOD 100 до максимального LOD 500. На рис. 4 представлен пример трехмерной цифровой модели камеры пуска и приема средств очистки и диагностики (КПП СОД) с уровнем детализации LOD 400.

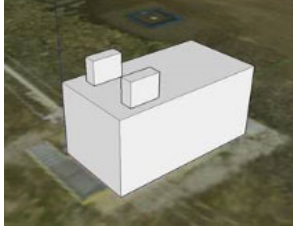
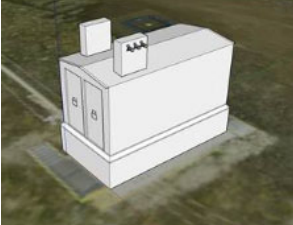


Рис. 4. Трехмерная цифровая модель КПП СОД в программном обеспечении nanoCAD с уровнем детализации LOD 400

Уровни проработки позволяют оптимизировать метод создания 3D-моделей, с достаточным уровнем детализации исходя из их назначения. Пример представления объектов с разным уровнем детализации приведен в табл. 2.

Таблица 2

Уровни детализации трехмерных геоинформационных моделей объектов магистрального трубопровода

Уровень детализации	Внешний вид		Описание геоинформационной модели
LOD 100			Внешний вид: точка, линия, полигон. Положение, граница. Без подземной части технологического трубопровода. Атрибуты: наименование
LOD 200			Внешний вид: 3D-модель в виде геометрического примитива: куб, цилиндр, сфера и т. п. Примерные размеры, положение на местности. Атрибуты: наименование, высота
LOD 300			Внешний вид: 3D-модель в виде нескольких геометрических примитивов (элементов). Точные размеры, пространственное положение. Атрибуты: наименование, высота
LOD 400			Внешний вид: детализированная трехмерная цифровая модель, без текстур. Атрибуты: наименование, высота, номер по генплану, класс технического объекта
LOD 500			Внешний вид: детализированная трехмерная цифровая модель, с текстурой. Атрибуты: наименование, высота, номер по генплану, класс технического объекта

Такой прием может использоваться и при создании нескольких вариантов одного объекта моделирования с разной степенью детализации, которые могут применяться в трехмерной ГИС. Суть приема заключается в отсутствии необходимости отображать высокодетализированные объекты, если в этом нет необходимости. Использование уровней де-

тализации при моделировании геопространства позволяет снизить требования к ресурсам программно-аппаратных комплексов при просмотре трехмерных моделей на экране.

В зависимости от решаемых задач в корпоративных информационных системах 3D-модели объектов МТ должны обладать необходимым уровнем детализации и набором атрибу-

тивной информации. Предлагаемые уровни детализации 3D-моделей объектов МТ соответствуют требованиям СП 333.1325800. Трехмерные модели объектов МТ с разным уровнем детализации могут быть использованы как в существующих, так и в перспективных геоинформационных системах, связанных с отображением трехмерных пространственных данных и семантики [15–17]. При этом уровень детализации 3D-моделей объектов МТ определяется задачами и этапами жизненного цикла объекта.

Метод автоматизированного построения трехмерных моделей

Работа с данными лазерного сканирования включает многочисленные операции, которые используются для решения разнообразных задач моделирования объектов местности, строений, трубопроводных систем и пр. При необходимости измерения объектов съемки сложной формы часто возникают проблемы в интерпретации этих объектов по плоскому изображению «облака точек». В таких случаях снижается эффективность обработки результатов трехмерной лазерной съемки. С целью устранения указанного недостатка А. П. Михайлов и М. Г. Синькова предложили производить наблюдения и измерения результатов трехмерной лазерной съемки по стереопаре изображений «облака точек» [18].

Исследованиям технологий построения 3D-моделей посвящены работы Т. А. Хлебниковой с соавторами. Трехмерные измерительные видеосцены могут быть построены по материалам аэрофотосъемки с использованием технологии фотограмметрического сгущения планового и высотного съемочного обоснования, которое осуществляется путем построения фотограмметрических сетей [19]. Тщательный подбор всех параметров при проектировании съемки блоков позволяет получить достаточную точность как сети в целом, так и последующих продуктов, создаваемых по данным фотограмметрического сгущения рабочего обоснования [20, 21].

Практический опыт создания 3D-моделей объектов МТ по данным лазерного ска-

нирования говорит нам о трудоемкости данных работ, технической сложности сохранения геометрических параметров объектов моделирования, а также низкой скорости отображения построенных моделей в web-порталах. Создание трехмерных моделей объектов МТ в большинстве случаев происходит путем встраивания геометрических примитивов в облако точек вручную. Подгонка геометрических примитивов разделяет облако точек на набор простых геометрических фигур (сфера, куб, цилиндр и др.). При определении местоположения элементов конструкции путем встраивания примитива работает человеческий фактор, что приводит к потере исходной точности данных лазерного сканирования в создаваемых моделях [22]. Для верификации точности построения модели и ее корректировки требуются дополнительные трудозатраты.

Для решения вышеописанных вопросов был разработан алгоритм автоматического трехмерного геоинформационного моделирования по данным лазерного сканирования. Благодаря автоматизированным вычислениям формируются трехмерные примитивы, элементы которых (плоскости, цилиндры и точки их пересечения) создаются по облаку точек математическими методами линейной регрессии и решением систем линейных алгебраических уравнений. В качестве исходных данных используется вырезанное облако точек, содержащее одно здание или сооружение. Вычисления, построение 3D-моделей и сохранение ее в файл выполняется полностью автоматически и занимает в среднем 30 секунд. Автоматизированному моделированию подлежат здания с прямоугольными стенами (рис. 5, а), односкатными или двухскатными крышами, в том числе козырьки крыш, цилиндрические объекты (резервуары) с возможностью моделирования плоской или конической крыши (рис. 5, б). Получаемая модель обладает математической точностью конструктивных элементов, а также минимальным их количеством, что обеспечивает высокую скорость загрузки и работы не только в настольных приложениях, но и в корпоративных web-порталах.

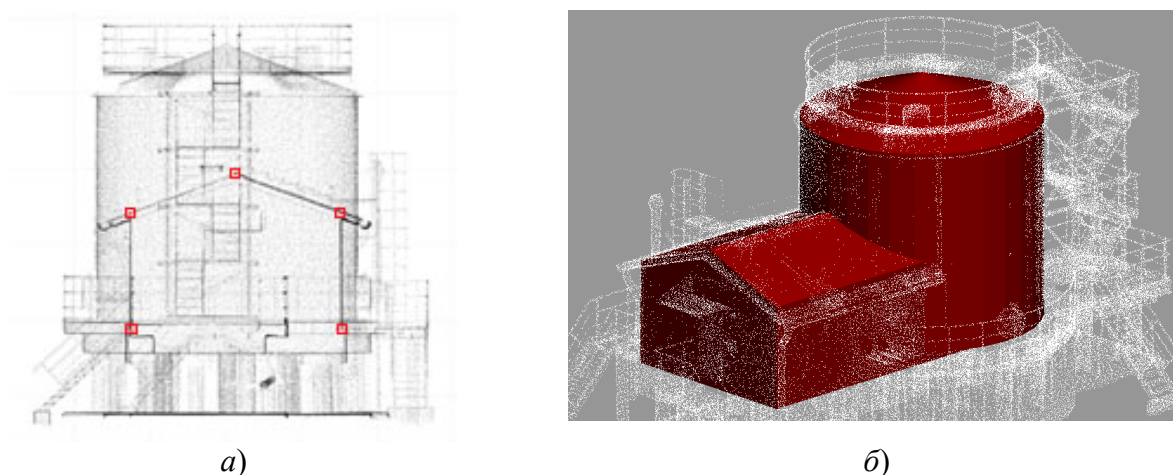


Рис. 5. Трехмерная цифровая модель, построенная по данным лазерного сканирования:
а) определение узловых точек; б) модель, построенная по облаку точек

Заключение

Лазерное сканирование, безусловно, наиболее перспективный метод получения данных для создания трехмерных геоинформационных моделей. Вместе с тем следует учитывать, что процесс моделирования объекта достаточно трудоемкий и длительный по времени, именно поэтому мы предлагаем предусмотреть разные уровни детализации.

Автоматизация процесса моделирования по облаку точек может существенно увеличить оперативность построения трехмерных моделей, поэтому это направление исследования представляется особенно интересным. Отдельно следует отметить, что построение моделей высоких уровней детализации может потребовать более плотных облаков точек, полученных в том числе методом наземного лазерного сканирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Долгополов Д. В. Теоретическое обоснование разработки технологий аэрокосмических исследований для создания геопространственных моделей систем трубопроводного транспорта : дис. ... доктора техн. наук : 1.6.19 / Долгополов Даниил Валентинович – Новосибирск, СГУГиТ, 2023. – 233 с.
2. Майоров А. А., Цветков В. Я., Андреева О. А. Трехмерное геоинформационное моделирование при массовом сборе информации // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2020. – № 2. – С. 229–236. – DOI 10.30533/0536-101X-2020-64-2-229- 236. – EDN XIKGPD.
3. Тихомиров А. Л., Пирожникова А. П. Разработка информационной модели системы теплоснабжения на различных этапах ее жизненного цикла // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. – 2022. – Т. 1. – № 3. – С. 35–42. – DOI 10.23947/2949-1835-2022-1-3-35-42. – EDN ZTEMYQ.
4. Курбатов В. Л., Римшин В. И., Шубин И. Л., Волкова С. В. Информационное моделирование и искусственный интеллект в современном строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве : учебное пособие. – М. : АСВ, 2023. – 420 с.
5. Бачурина С. С. Информационное моделирование: методология использования цифровых моделей в процессе перехода к цифровому проектированию и строительству. Ч. 2: Переход к цифровому проектированию и строительству. Методология. – М. : ДМК Пресс, 2021. – 128 с.
6. Боголюбов С. А., Галиновская Е. А., Кичигин Н. В., Ковалева Е. Л. Комментарий к Градостроительному кодексу Российской Федерации (постатейный). – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : КНОРУС : Проспект, 2016. – 749 с.

7. Воронов А. Г., Чужинин С. Н., Захаров А. А. и др. Устройство определения планово-высотного положения магистрального нефтепровода: Патент на полезную модель RU 182554 U1 Российская Федерация, МПК F17D 5/00. Заявка № 2018118608 от 21.05.2018: опубл. 22.08.2018; патентообладатели: Публичное акционерное общество «Транснефть» (ПАО «Транснефть»), Общество с ограниченной ответственностью «Транснефть – Восток» (ООО «Транснефть – Восток»), Общество с ограниченной ответственностью Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта (ООО «НИИ Транснефть»). – EDN RQPZAP.
8. Долгополов Д. В. Теоретическое обоснование принципов формирования геопространственных моделей трубопроводных систем // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2022. – Т. 66. – № 5. – С. 87–97. – DOI 10.30533/0536-101X-2022-66-5-87-97. – EDN RQMIUH.
9. Кузнецов Т. И., Макарычева Е. М., Барышев А. И., Покровская Е. А. Геоинформационные системы объектов магистральных трубопроводов, расположенных в сложных природно-климатических условиях // 16-я Международная конференция и выставка по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ «RAO/CIS Offshore 2023»: Труды, Санкт-Петербург, 26–29 сентября 2023 года. – СПб.: Перо, 2023. – С. 327–329. – EDN BIABCS.
10. Долгополов Д. В. Моделирование объектов трубопроводного транспорта по данным дистанционного зондирования // Геодезия и картография. – 2023. – Т. 84, № 5. – С. 43–51. – DOI 10.22389/0016-7126-2023-995-5-43-51. – EDN JYRXBC.
11. Кузнецов Т. И., Долгополов Д. В. Новые возможности для геотехнического мониторинга трубопроводных систем при использовании ГИС-технологий с 3D-визуализацией // Трубопроводный транспорт – 2017: Тезисы докладов XII Международной учебно-научно-практической конференции, Уфа, 24–25 мая 2017 года. – Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2017. – С. 122–123. – EDN ZEMDIR.
12. Макарычева Е. М., Кузнецов Т. И., Половков С. А., Барышев А. И., Покровская Е. А. 3D-ГИС для сопровождения работ по геотехническому мониторингу объектов магистральных трубопроводов // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2020. – Т. 10, № 4. – С. 342–351. – DOI 10.28999/2541-9595-2020-10-4-342-351. – EDN ONKIAZ.
13. Талапов В. В. Технология BIM: суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 410 с.
14. Franco J., Mahdi F. and Abaza H. Using building information modeling (BIM) for estimating and scheduling, adoption barriers // Universal Journal of Management, 2015). – V. 3. – P. 376–384. – DOI 10.13189/ujm.2015.030905.
15. Bernardini F., Mittleman J., Rushmeier H., Silva C., & Taubin G. The ball-pivoting algorithm for surface reconstruction // *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. – 1999. – V. 5 (4). – P. 349–359. DOI 10.1109/2945.817351.
16. Zlatanova S., Rahman A. A., Shi W. Topological models and frameworks for 3D spatial objects // *Computers & Geosciences*. – 2004. – V. 30. – No 4. – P. 419–428. – DOI 10.1016/j.cageo.2003.06.004.
17. Тихомирова Л. А. Законодательство в области промышленной безопасности: особенности и проблемы реализации: монография. – Казань: ТИСБИ, 2015. – 220 с. – EDN VUJMWZ.
18. Михайлов А. П., Синькова М. Г. Применение стереоскопического метода для наблюдения и обработки результатов трехмерного лазерного сканирования // Геодезия и картография. – 2003. – № 9. – С. 24–28.
19. Хлебникова Т. А. Технология построения измерительных трехмерных видеосцен по данным ЦММ: проблемы и пути решения // Геодезия и картография. – 2008. – № 2. – С. 44–46. – EDN IJNMRF.
20. Антипов И. Т., Зяткова Л. К., Хлебникова Т. А. Оценка точности измерительных трехмерных видеосцен // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2–1. – С. 52–57. – EDN UMZTQH.

21. Хлебникова Т. А., Опритова О. А. Исследования точности построения плотной цифровой модели по материалам съемки с БАС для целей моделирования геопространства // Нефтегазовый комплекс: проблемы и решения. Материалы первой национальной научно-практической конференции в рамках 22-й международной конференции и выставки «Нефть и газ Сахалина-2018» : сборник научных статей. Южно-Сахалинск. – 2020. – С. 53–54. – DOI 10.52606/9785888116036_53. – EDN SEINHL.

22. Долгополов Д. В., Мелкий В. А., Аврунев Е. И. Методы обработки данных, полученных в линейных координатах, для геоинформационного обеспечения аэрокосмического мониторинга трубопроводных систем // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 6. – С. 62–69. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-6-62-69. – EDN HGFQGG.

Об авторах

Даниил Валентинович Долгополов – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Центра мониторинга и геоинформационных систем объектов трубопроводного транспорта.

Тарас Иванович Кузнецов – заместитель директора Центра мониторинга и геоинформационных систем объектов трубопроводного транспорта.

Ариф Ганиматович Ахундов – ведущий научный сотрудник Центра мониторинга и геоинформационных систем объектов трубопроводного транспорта.

Александр Иванович Барышев – зав. лабораторией разработки и ведения геоинформационных систем и баз данных.

Вячеслав Анатольевич Мелкий – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории вулканологии и вулканопасности.

Получено 14.03.2025

© Д. В. Долгополов, Т. И. Кузнецов,
А. Г. Ахундов, А. И. Барышев, В. А. Мелкий, 2025

Three-dimensional geoinformation modeling of main pipeline facilities by laser scanning data to form the boundary of the allotment of land

D. V. Dolgoplov¹, T. I. Kuznetsov¹, A. G. Akhundov¹, A. I. Baryshev¹, V. A. Melkiy²

¹ Scientific Research Institute of Pipeline Transport, Moscow, Russian Federation

² Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch RAS,
Yuzhno-Sakhalinsk, Russian Federation

e-mail vamelkiy@mail.ru

Abstract. The aim of this study is to select and formalize methodological approaches to constructing three-dimensional models of main pipeline facilities based on laser scanning data to form the boundary of land allotment. The study used geospatial modeling methods that provided parameters of pipeline system monitoring objects by laser scanning data. The network of main pipelines (MT) forms a complex natural and technical system, in which the sections have a significant length and are exposed to various natural and man-made processes, which complicates the observation of both the objects of the system and the dynamics of processes affecting its condition. When organizing geotechnical monitoring of pipeline system facilities, geoinformation modeling should be used, which is formed primarily subject to compliance with the principles of uniformity of measurements and dynamism. The article considers the issues of the level of detail of three-dimensional geoinformation models created by laser scanning data. Methodological and technological approaches to geoinformation modeling of trunk pipeline objects based on basic modeling elements and hierarchical classifiers of the subject area are

proposed, possibility of automating the modeling of monitoring objects based on laser scanning data is also considered. The models obtained using the proposed approach have mathematical precision of structural elements, which ensures high speed of their loading and operation both in desktop applications and in corporate Web portals, and also for use in forming the boundary of the allotment of land.

Keywords: land use zone, three-dimensional digital model, unified geographic information space, laser scanning, level of detail, main pipeline, geotechnical monitoring

REFERENCES

1. Dolgoplov, D. V. (2023) Theoretical justification for the development of aerospace research technologies for the creation of geospatial models of pipeline transport systems: Dissertation ... Doctor of Technical Sciences: 1.6.19. / Dolgoplov Daniil Valentinovich. *Novosibirsk, SGUGiT* 233 p. [in Russian].
2. Maiorov, A. A., Tsvetkov, V. Ya., Andreeva, O. A. (2020) Three-dimensional geoinformation modeling by mass information gathering. *Izvestia vuzov «Geodesy and Aerophotosurveying»*, 64(2), 229–236, DOI 10.30533/0536-101X-2020-64-2-229- 236 EDN XIKGPD [in Russian].
3. Tikhomirov, A. L., Pirozhnikova, A. P. (2022) Development of an information model of a heat supply system at various stages of the life cycle. *Modern trends in construction, urban and territorial planning*, 1(3), 35–42, DOI 10.23947/2949-1835-2022-1-3-35-42 EDN ZTEMYQ [in Russian].
4. Kurbatov V. L., Rimshin V. I., Shubin I. L., Volkova S. V. (2023) *Informatsionnoe modelirovanie i iskusstvennyy intellekt v sovremennom stroitel'stve i zhilishchno-kommunal'nom khozyaystve: uchebnoe posobie* [Information modeling and artificial intelligence in modern construction and housing and communal services: a textbook]. Moscow: ASV Publ., 420 p. [in Russian].
5. Bachurina, S. S. (2021) *Informatsionnoe modelirovanie: metodologiya ispol'zovaniya tsifrovyykh modeley v protsesse perekhoda k tsifrovomu proektirovaniyu i stroitel'stvu. Ch. 2: Perekhod k tsifrovomu proektirovaniyu i stroitel'stvu. Metodologiya* [Information modeling: methodology of using digital models in the process of transition to digital design and construction. Part 2: Transition to digital design and construction. Methodology]. Moscow: DMK Press., 128 p. [in Russian].
6. Bogolyubov, S. A., Galinovskaya, E. A., Kichigin, N. V., Kovaleva, E. L. (2016) *Kommentariy k Gradostroitel'nomu kodeksu Rossiyskoy Federatsii (postateynnyy)*. [Commentary to the Urban Planning Code of the Russian Federation (article-by-article)]. 5th ed., revised and add. Moscow: KNORUS : Prospekt, 749 p. [in Russian].
7. Voronov, A. G., Chuzhinov, S. N., Zakharov, A. A., et al. (2018) Device for determining the planned-altitude position of a trunk oil pipeline: *Patent for Utility Model RU 182554 U1 Russian Federation*, F17D 5/00. Application No. 2018118608 dated 21.05.2018; published 22.08.2018; patent holders: Transneft Public Joint Stock Company (PJSC Transneft), Transneft – Vostok Limited Liability Company ("Transneft – Vostok" LLC), Pipeline Transport Research Institute Limited Liability Company (Research Institute Transneft LLC) EDN RQPZAP [in Russian].
8. Dolgoplov, D. V. (2022) Theoretical substantiation of the principles of formation of geospatial models of pipeline systems. *Izvestia Vuzov. "Geodesy and Aerophotosurveying"*, 66(5), 87–97, DOI 10.30533/0536-101X-2022-66-5-87-97 EDN RQMIUH [in Russian].
9. Kuznetsov, T. I., Makarycheva, E. M., Baryshev, A. I., Pokrovskaya, E. A. (2023) Geoinformation systems of trunk pipeline facilities located in complex natural and climatic conditions. In *16-ya Mezhdunarodnaya konferenciya i vystavka po osvoeniju resursov nefi i gaza Rossijskoj Arktiki i kontinental'nogo shel'fa stran SNG «RAO/CIS Offshore 2023» : Trudy* [Proceedings 16th International Conference and Exhibition on the Development of Oil and Gas Resources of the Russian Arctic and the CIS Continental Shelf "RAO/CIS Offshore 2023", St. Petersburg, September 26–29, 2023]. St. Petersburg: Pero Publishing House. (Pp. 327–329) EDN BIABCS [in Russian].

10. Dolgoplov, D. V. (2023) Modeling of pipeline transportation facilities based on remote sensing data. *Geodezia i Kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 84(5), 43–51, DOI 10.22389/0016-7126-2023-995-5-43-51 EDN JYRXBC [in Russian].
11. Kuznetsov, T. I., Dolgoplov, D. V. (2017) New opportunities for geotechnical monitoring of pipeline systems using GIS technologies with 3D visualization. In *Truboprovodnyy transport – 2017 : Tezisy dokladov XII Mezhdunarodnoy uchebno-nauchno-prakticheskoy konferentsii, Ufa, 24–25 maya 2017 goda [Pipeline transport – 2017: Abstracts of reports of the XII International educational-scientific-practical conference, Ufa, May 24–25, 2017]*. Ufa: Ufa State Petroleum Technological University, (pp. 122–123) EDN ZEMDIR [in Russian].
12. Makarycheva, E. M., Kuznetsov, T. I., Polovkov, S. A., Baryshev, A. I., Pokrovskaya, E. A. (2020) 3D-GIS for supporting works on geotechnical monitoring of trunk pipeline facilities. *Science and technologies of pipeline transportation of oil and oil products*, 10(4), 342–351, DOI 10.28999/2541-9595-2020-10-4-342-351 EDN ONKIAZ [in Russian].
13. Talapov, V. V. (2015) *Tekhnologiya BIM: sut' i osobennosti vnedreniya informatsionnogo modelirovaniya zdaniy [BIM technology: the essence and features of the introduction of building information modeling]*. Moscow: DMK Press., 410 p. [in Russian].
14. Franco, J., Mahdi, F. and Abaza, H. (2015). Using building information modeling (BIM) for estimating and scheduling, adoption barriers, *Universal Journal of Management*, 3, 376–384. DOI 10.13189/ujm.2015.030905.
15. Bernardini, F., Mittleman, J., Rushmeier, H., Silva, C., & Taubin, G. (1999) The ball-pivoting algorithm for surface reconstruction. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 5(4), 349–359, DOI 10.1109/2945.817351.
16. Zlatanova, S., Rahman, A. A., Shi, W. (2004). Topological models and frameworks for 3D spatial objects. *Computers & Geosciences*, 30(4), 419–428, DOI 10.1016/j.cageo.2003.06.004.
17. Tikhomirova, L. A. (2015) *Zakonodatel'stvo v oblasti promyshlennoy bezopasnosti: osobennosti i problemy realizatsii : monografiya [Legislation in the field of industrial safety: features and problems of implementation : monograph]*. Kazan : TISBI Publ., 220 p. EDN VUJMWZ [in Russian].
18. Mikhailov, A. P., Sin'kova, M. G. (2003). Application of stereoscopic method for observation and processing of results of three-dimensional laser scanning. *Geodezia i kartografiya*, 9, 24–28 [in Russian].
19. Khlebnikova, T. A. (2008). The construction technology of 3D measurement videoscenes on digital terrain model data: problems and solution means. *Geodezia i kartografiya*, 2, 44–46. EDN IJNMRF [in Russian].
20. Antipov, I. T., Zyat'kova, L. K., Khlebnikova, T. A. (2012) Evaluation of the accuracy of measuring three-dimensional video scenes. *Izvestia Vuzov. "Geodesy and Aerophotosurveying"*, 2–1, 52–57. EDN UMZTQH [in Russian].
21. Khlebnikova T. A., Opritova O. A. (2020) Investigation of the accuracy of constructing a dense digital model based on survey data from databases for the purposes of geospatial modeling. *Oil and gas complex: problems and solutions. Proceedings of the first national scientific and practical conference within the framework of the 22nd International Conference and exhibition "Sakhalin Oil and Gas-2018": collection of scientific articles*. Yuzhno-Sakhalinsk, Pp. 53–54 DOI: 10.52606/9785888116036_53 EDN SEINHL [in Russian].
22. Dolgoplov, D. V., Melkiy, V. A., Avrunev, E. I. (2024) Methods of processing data obtained in linear coordinates for geoinformation support of aerospace monitoring of pipeline systems. *Bulletin of SSUGiT (Siberian State University of Geosystems and Technologies)*, 29(6), 62–69, DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-6-62-69 EDN HGFQGG [in Russian].

Author details

Daniil V. Dolgopolov – D. Sc., Leading Researcher, Center for Monitoring and Geoinformation Systems of Pipeline Transport Facilities.

Taras I. Kuznetsov – Deputy Director of the Center for Monitoring and Geoinformation Systems of Pipeline Transport Facilities.

Arif G. Akhundov – Leading Researcher of the Center for Monitoring and Geoinformation Systems of Pipeline Transport.

Aleksandr I. Baryshev – Head of the Laboratory for Development and Maintenance of Geoinformation Systems and Databases.

Vyacheslav A. Melkiy – D. Sc., Leading Researcher, Laboratory of Volcanology and Volcanic Hazard.

Received 14.03.2025

© *D. V. Dolgopolov, T. I. Kuznetsov,
A. G. Akhundov, A. I. Baryshev, V. A. Melkiy, 2025*