

УДК 69.059, 528.8

DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-6-35-43

*Л.В. ГИРЯ, Г.П. ТРОФИМОВ,**Донской государственный технический университет*

## ОБСЛЕДОВАНИЕ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ТРЕХМЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

**Аннотация.** При подготовке работ по реставрации и приспособлению под современное использование зданий и сооружений, относящихся к объектам культурного наследия, особое значение приобретает полнота и достоверность данных, полученных на этапе их обследования. При проведении обмерных работ важно зафиксировать полный спектр геометрических параметров изучаемого объекта, что способствует повышению качества всей последующей деятельности по его реставрации.

Целью статьи является обобщение полученного опыта по выполнению лазерного сканирования на реальных объектах строительства, относящихся к памятникам архитектуры, что позволит в будущем выработать наиболее полные методические рекомендации, учитывающие и предупреждающие возможные ошибки при проведении данного вида работ.

Использованы следующие материалы и методы: сбор с последующей обработкой технических данных о процессе формирования облака точек здания или сооружения во время проведения обследования; анализ этапов работ на примерах проведения трехмерного сканирования, в том числе с использованием фотограмметрии с помощью БПЛА DJI Mavic 3 и лазерного сканирования сканером Faro Focus S150.

В результате представлены отдельные технические рекомендации для производства работ по трехмерному сканированию зданий и сооружений. Рассмотрены фактические этапы формирования готового облака точек объекта обследования с указанием ключевых факторов, имеющих влияние на скорость и качество производства работ.

**Ключевые слова:** лазерное сканирование, фотограмметрическая съемка, обследование зданий и сооружений, памятники архитектуры

**Для цитирования:** Гиря Л.В., Трофимов Г.П. Обследование памятников архитектуры с использованием современных технологий трехмерного сканирования // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 6. С. 35–43.

DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-6-35-43

*L.V. GIRYA, G.P. TROFIMOV,**Don State Technical University*

## LASER 3D SCANNING OF ARCHITECTURAL MONUMENTS

**Abstract. Purpose:** Summarizing the experience in laser 3D scanning of real construction sites relating to architectural monuments. **Methodology:** Data collection and processing of the point cloud formation of a building during the survey. Analysis of the work stages of three-dimensional scanning, including photogrammetry with DJI Mavic 3 UAV and laser scanning provided by a Faro Focus S150 scanner. **Research findings:** Technical recommendations are given to laser 3D scanning of buildings. The formation stages of the point cloud of buildings are considered with identification of the key factors affecting the scanning speed and quality. **Practical implications:** The methodology is proposed for laser 3D scanning of cultural heritage

objects. The proposed developments can serve as the basis for creating a full-fledged methodology for laser 3D scanning of construction objects in the future. *Originality:* During building restoration and their adaptation to modern conditions, it is important to obtain complete and reliable data on the building examination. It is important to record the most complete range of geometric parameters of the object, that improves the quality of restoration.

**Keywords:** laser 3D scanning, photogrammetric survey, building examination, architectural monuments

**For citation:** Giryа L.V., Trofimov G.P. Obsledovanie pamyatnikov arkhitektury s ispol'zovaniem sovremennykh tekhnologii trekhmernogo skanirovaniya [Laser 3D scanning of architectural monuments]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2022. V. 24. No. 6. Pp. 35–43.  
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-6-35-43

### Введение

Трёхмерное сканирование объектов культурного наследия с использованием различных типов сканеров – наиболее актуальный и современный метод сбора данных о памятниках градостроительства и архитектуры из применяемых сегодня. В настоящее время множество организаций, занимающихся обследованием объектов культурного наследия, в той или иной степени используют в своей работе трёхмерное сканирование.

Результатом трёхмерного сканирования является облако точек – набор из множества единичных элементов (точек) с фиксированными пространственными координатами. Среди самых распространенных методов создания облаков точек следует назвать лазерное сканирование и фотограмметрическую съемку. Однако именно лазерное сканирование с использованием современных высокоточных приборов предоставляет в распоряжение исследователей наиболее точную и качественную пространственную информацию о геометрии объекта.

Несмотря на то, что лазерное сканирование при обследовании объектов культурного наследия уже применяется достаточно широко, нормативная база по данному виду работ практически отсутствует. Методические указания по производству работ сводятся к инструкциям различных производителей сканеров и программного обеспечения и не всегда согласуются между собой. В настоящей статье предпринята попытка обобщить полученный опыт применения лазерных сканеров на объектах культурного наследия Ростовской области с целью дальнейшей разработки практических указаний и полноценной методики производства работ по лазерному сканированию зданий и сооружений.

Авторы опирались на исследования, связанные с лазерным сканированием в строительстве [1–3], для оценки альтернативных способов получения информации. Современные взгляды на проблему натурного обследования памятников приведены в работах при сохранении объектов культурного наследия [4–8]. Важность применения современных информационных технологий в строительстве отмечена в трудах [9–12].

### Материалы и методы исследований

По своей сути лазерное сканирование зданий и сооружений – одна из методик проведения обмерных работ. Однако полнота и точность получаемых дан-

ных таковы, что использование этой технологии в обследовании объектов культурного наследия позволяет получить целый ряд преимуществ, среди которых:

1) возможность обращения к облаку точек для уточнения тех или иных геометрических параметров объекта в любой момент времени на любом этапе проведения работ;

2) снижение сроков и стоимости работ по реконструкции и приспособлению памятников архитектуры;

3) сокращение сроков проведения обследования и последующего проектирования;

4) повышение безопасности проведения работ по обследованию, т. к. геометрические данные о труднодоступных участках объекта поступают без необходимости физического приближения.

Работы по проведению сканирования делятся на два основных этапа:

А. Полевые работы.

Б. Камеральная обработка данных.

При этом полевые работы следует разделять на предварительные, включающие осмотр объекта, разработку и согласование схемы установки станций сканирования, и непосредственно работы по сканированию.

Во время предварительных полевых работ в зависимости от целей и требований, предъявляемых к обследованию, определяются необходимые технические параметры будущего сканирования. Среди базовых параметров для проведения работ по сканированию объектов культурного наследия можно выделить:

1) разрешение сканирования;

2) качество сканирования;

3) цветность сканирования;

4) количество станций сканирования на единицу площади объекта.

### Результаты и их анализ

Порядок выполнения работ по лазерному сканированию объектов культурного наследия включает в себя:

А) На этапе полевых работ:

1. Определение конечной цели проведения работ по сканированию.

Подход к проведению сканирования, используемые приёмы и методы, а также настраиваемые параметры сканирования напрямую зависят от целей, определяемых техническим заданием. Именно комплексное понимание планируемых результатов ещё на этапе подготовки к проведению работ по сканированию может существенно ускорить сам процесс производства работ. Это достигается при помощи исключения из зон сканирования излишних частей и элементов объекта, подбора оптимальных параметров сканера для различных зон и т. д.

2. Разработка схемы установки станций сканирования на планах здания, реже – на разрезах и фасадах объекта.

Обязательным пунктом подготовки работ по сканированию является разработка схемы установки станций сканирования. Схема может разрабатываться с использованием черновых планов здания при отсутствии исходной документации по объекту. Далее схема согласовывается с заказчиком, что позволяет избежать ситуаций, при которых доступ к тем или иным зонам ска-

нирования может быть затруднен. В процессе производства работ рекомендуется нумеровать станции сканирования на схеме в соответствии с фактическим программным номером станции сканера, что в дальнейшем облегчает камеральную обработку данных, а также позволяет каталогизировать исходные данные по сканированию для различных объектов.

3. Определение необходимости использования дополнительных методов сканирования, таких как аэрофотограмметрическая съемка и т. п.

В зависимости от конечной цели проведения работ по сканированию могут применяться различные методы сканирования, комбинируемые с использованием лазерного сканера. Основным вид таких методов – это аэрофотограмметрическая съемка. Аэрофотограмметрическая съемка может применяться для создания облаков точек труднодоступных для лазерного сканирования частей зданий, таких как покрытия и кровли сложной формы, а также для создания ортофотопланов местности для привязки обследуемого объекта к ней. Облако точек, создаваемое дополнительными средствами сканирования, может выдаваться как отдельный элемент, дополняющий основные работы, так и в дальнейшем сшиваться с общим облаком точек по объекту.

4. Определение зон объекта и соответствующих станций, на которых необходимо выставление повышенного и пониженного качества и разрешения сканирования.

При разработке схемы установки станций сканирования либо после её согласования рекомендуется определять типы станций по необходимому качеству и разрешению съемки. Чем выше задаваемое качество сканирования и его разрешение, тем больше времени требуется на его реализацию, тем больший объем данных будет занимать итоговый файл сканирования и тем сложнее последующая камеральная обработка данных. Поэтому на практике становится нерациональным выставление повышенных параметров на перевязочных станциях, в коридорах без архитектурных элементов и т. п.

Вместе с тем при обследовании объектов культурного наследия на отдельных участках могут находиться сложные, высоко детализованные архитектурные элементы, такие как потолочная лепнина, барельефы и пр. В данных зонах повышенные параметры сканирования являются необходимыми для качественной фиксации всех деталей в облаке точек.

5. Определение параметров качества, цветности и разрешения для различных зон и соответствующих станций сканирования.

После разбивки станций сканирования на группы по принципу повышенного и пониженного качества следует определить конкретные технические параметры сканирования для различных групп станций. Данный этап напрямую связан с характеристиками и возможностями используемого оборудования.

В общем случае определяется различная дальность сканирования для станций сканирования, установленных в помещениях и на открытых пространствах (со стороны фасадов). Далее задается разрешение (количество точек сканирования по отношению к площади) для различных станций. В отдельных типах сканеров также задается параметр качества, влияющий на время выполнения единичного измерения последующей обработки.

Параметры разрешения и качества имеют свои фиксированные численные величины и могут быть различны в зависимости от конкретной модели сканера и его возможностей. Для станций, позиционированных на участках объекта, включающих сложные архитектурные элементы, выбираются повышенные показатели качества и разрешения, что, в свою очередь, увеличивает время сканирования на данных станциях. На перевязочных станциях, установленных в местах сопряжения станций высокого разрешения будущего облака точек (дверные проёмы, узкие коридоры и т. п.), а также в местах с минимальным количеством фиксируемой пространственной информации (плоские, однотонные поверхности), выбираются пониженные параметры качества и разрешения, что ускоряет работы по сканированию в целом.

Б) На этапе камеральной обработки:

1. Ручная либо автоматическая сшивка данных из различных станций сканирования между собой.

Базовая камеральная обработка данных сканирования предполагает первичную автоматическую сшивку облака точек по загруженным данным станций сканирования. Автоматическую сшивку часто целесообразно проводить не по всему объекту в целом, а укрупнённо, по этажам, отдельным объемам здания, отдельным конструкциям. Только после этого из укрупнённых элементов сшивается итоговое облако. Такой подход позволяет избежать лишних ошибок. Но автоматическая обработка данных не всегда производится должным образом и всё же может содержать в себе ошибки, поэтому рекомендуется ручная проверка результатов после автоматической обработки.

2. Определение необходимости сшивки облаков точек из различных источников между собой.

Для получения наиболее качественного и полноценно проработанного облака точек при обследовании объектов культурного наследия может возникнуть необходимость сшивки между собой данных из различных источников сканирования, таких как лазерные сканеры, аэрофотограмметрическая съёмка и т. п. Такая обработка возможна, однако по опыту проведения подобных работ на объектах культурного наследия Ростовской области с использованием такого ПО, как Autodesk ReCap, FARO Scene и Agisoft Metashape, можно заключить, что именно работы по сшивке данных из различных источников являются наиболее трудозатратными и несут наибольшее количество потенциальных ошибок исполнения. В связи с этим необходимость выполнения такой сшивки следует рассматривать индивидуально.

3. Установка параметров прореживания облака точек, его плотности и формата сохранения данных.

В зависимости от пространственной сложности объекта сканирования, его наполненности архитектурными деталями и характеристик оборудования, используемого при сканировании, могут быть выбраны различные подходы к прореживанию облака точек. Данная процедура выполняется специализированным программным обеспечением (например, FARO Scene) и предназначена для устранения шумов и дефектов в облаке сканирования, а также для оптимизации облака в целом. Фактически устанавливаемые характеристики прореживания напрямую зависят от устанавливаемых в ходе производства

работ параметров качества и разрешения и могут в значительной степени меняться в зависимости от исходных характеристик сканера и от задач, стоящих перед обследованием.

#### 4. Определение типа выходных данных.

Итогом проведения работ по лазерному сканированию того или иного объекта может быть как комплексное облако точек, так и отдельные облака по различным зонам и участкам здания или сооружения, например отдельные поэтажные съемки, фасады без привязки к внутреннему пространству и т. п. Кроме того, в случае необходимости по облаку точек подготавливаются высокоточные ортофотоснимки, которые в дальнейшем используются для изготовления обмерных чертежей. Тип выходных данных определяется в зависимости от исходного технического задания.

В стандартном сценарии результатом работ является комплексно сшитое облако по всему объекту, а также ключевые ортофотоснимки, используемые для дальнейшего проектирования, такие как планы этажей, виды на фасады, продольный и поперечный разрезы и т. п. Однако с целью сокращения времени камеральной обработки и, соответственно, стоимости работ допускается исключение из результатов сканирования отдельных типов выходных данных, если это не имеет существенного значения для последующего их использования.

На рис. 1 показан пример выполненного облака точек по итогам лазерного сканирования объекта культурного наследия регионального значения «Ансамбль церкви Святых Дмитрия и Серафима». На рис. 2 можно увидеть результаты дополнительного метода сканирования аэрофотограмметрической съемки, используемые для уточнения параметров кровли здания в итоговом облаке.



Рис. 1. Облако точек по итогам лазерного сканирования объекта культурного наследия регионального значения «Ансамбль церкви Святых Дмитрия и Серафима», Ростовская область

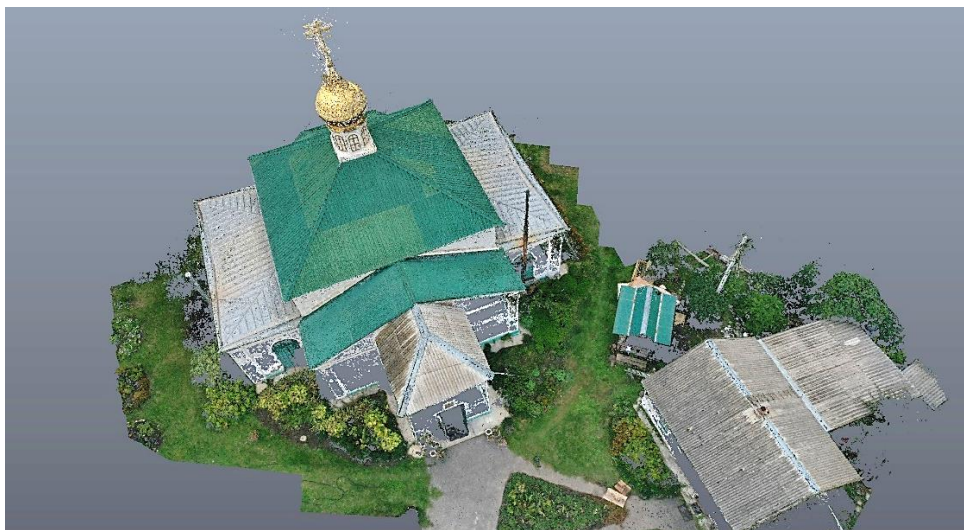


Рис. 2. Облако точек по итогам аэрофотограмметрии объекта культурного наследия регионального значения «Ансамбль церкви Святых Дмитрия и Серафима», Ростовская обл., использованное для уточнения параметров кровли здания в итоговом облаке

### Выводы

Систематизация полученного опыта проведения работ по лазерному сканированию объектов культурного наследия Ростовской области помогает понять закономерности при их проведении и учесть допущенные ошибки. Повсеместное внедрение данного метода при обследовании зданий с одновременным отсутствием стандартизованного подхода к выполнению работ по сканированию осложняет проектным организациям дальнейшее использование результатов сканирования в своей работе, негативно влияет на сроки изыскательских и проектных работ.

Технология лазерного сканирования зданий и сооружений имеет огромный потенциал для упрощения и ускорения как работ по обследованию объектов культурного наследия, так и работ по дальнейшему проектированию реставрации и приспособления под современное использование этих объектов. Но для полноценной реализации этого потенциала необходима выработка стандартизованного подхода к проведению данного типа работ и, главное, к форме и формату выходных данных. Обобщение полученного в ходе фактического выполнения подобных работ опыта позволит создать полноценные методические рекомендации и нормативные документы по вопросам проведения лазерного сканирования, что, в свою очередь, является весомым фактором, имеющим влияние на качество результата всей цепочки работ по реставрации памятников архитектуры. На основе приведённых в статье принципов уже возможна выработка подхода к проведению лазерного сканирования того или иного объекта строительства, однако для формирования полноценных методических указаний требуется дальнейшее изучение затронутых в статье вопросов.

Сохранение объектов культурного наследия для будущих поколений – задача, значение которой трудно переоценить. И грамотное применение сов-

ременных технологий, способных повысить качество её выполнения, является необходимым условием.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Спириденко А.А., Горина А.В., Хахулина Н.Б. 3D лазерное сканирование строительных конструкций // Студент и наука. 2018. № 4 (7). С. 54–61.
2. Новик Ю.С., Губеладзе О.А. Перспективы использования лазерного сканирования для обследования памятников архитектурного наследия // Современные исследования. 2018. № 4 (8).
3. Шевченко Г.Г., Гура Д.А., Акопян Г.Т. Применение наземного лазерного сканирования в строительстве и BIM-технологиях // Научные труды КубГТУ. 2018. № 2. С. 251–260.
4. Оминин С.В., Олехнови Я.А. Сравнение способов получения массива информации в виде облака точек при выполнении картографических работ // Недели науки : сб. материалов Всероссийской конференции (4–10 апреля 2022 г.). Санкт-Петербург : СПбПУ, 2022. Ч. 2. С. 433–436.
5. Незвицкая Т.В. К вопросу об эволюции подходов к сохранению памятников деревянного зодчества // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. № 4. С. 9–22.
6. Ширкин В.В., Лапунова К.А. Натурное обследование памятников архитектуры // Научно-образовательные дискуссии: фундаментальные и прикладные исследования. Ростов-на-Дону, 2021. С. 20–23.
7. Михайлов А.В. Определение предметов охраны для объектов культурного наследия на примере больничных комплексов Санкт-Петербурга // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета : сб. трудов конференции.. 2019. Т. 21. № 3. С. 20–37.
8. Гинзбург А.В., Казисова М.Е. Особенности проектирования объектов культурного наследия с применением BIM-технологий // Системотехника строительства. Киберфизические строительные системы. Москва : МИСИ-МГСУ, 2019. С. 131–134.
9. Соина Н.С. Виртуальная реконструкция крепости Суджук-Кале // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 3. С. 75–84.
10. Barazzetti L., Gianinetti M., Scaioni M. Automatic processing of many images for 2D/3D modelling // Digital transformation of the Design, Construction and Management Processes of the Built Environment. 2020.
11. Rocha G., Mateus L., Fernández J., Ferreira V. A Scan-to-BIM methodology applied to heritage buildings // CIAUD, Lisbon School of Architecture. 2020.
12. Khalil A., Stravoravdis S. H-BIM and the domains of data investigations of heritage buildings current state of the art // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2019. V. XLII-2/W11.

#### REFERENCES

1. Spiridenko A.A., Gorina A.V., Khakhulina N.B. 3D laser scanning of buildings [Laser 3D scanning of buildings]. *Student i nauka*. 2018. No. 4 (7). (rus)
2. Novik Yu.S., Gubeladze O.A. Perspektivy ispol'zovaniya lazernogo skanirovaniya dlya obsledovaniya pamyatnikov arkhitekturnogo naslediya [Prospects of laser scanning for examination of architectural monuments]. *Sovremennye issledovaniya*. 2018. (rus)
3. Shevchenko G.G., Gura D.A., Akopyan G.T. Primenenie nazemnogo lazernogo skanirovaniya v stroitel'stve i BIM tekhnologiyakh [Application of laser 3D scanning in construction and BIM technologies]. *Nauchnye trudy KubGTU*. 2018. No. 2. (rus)
4. Ominin S.V., Olekhnovi Ya.A. Sravnenie sposobov polucheniya massiva informatsii v vide oblaka toчек pri vypolnenii kartograficheskikh rabot [Comparison of ways to obtain data array in the form of a point cloud during cartographic works]. In: Nedeli nauki: sb. materialov Vserossiiskoi konferentsii (*Proc. All-Russ. Sci. Conf. 'Scientific Weeks'*). Saint-Petersburg, 2022. Pp. 433–436. (rus)



5. *Nezvitskaya T.V.* K voprosu ob evolyutsii podkhodov k sokhraneniyu pamyatnikov derevyanogo zodchestva [Toward evolution of approaches to preservation of wooden architecture]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2020. No. 4. Pp. 9–22. (rus)
6. *Shirkin V.V., Lapunova K.A.* Naturnoe obsledovanie pamyatnikov arkhitektury [Field inspection of architectural monuments]. In: Nauchno-obrazovatel'nye diskussii: fundamental'nye i prikladnye issledovaniya [Scientific and educational discussions: Fundamental and applied research]. Rostov-on-Don, 2021. (rus)
7. *Mikhailov A.V.* Opredelenie predmetov okhrany dlya ob'ektov kul'turnogo naslediya na primere bol'nichnykh kompleksov Sankt-Peterburga [Security of cultural heritage objects on the example of hospital complex of Saint-Petersburg]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2019. V. 21. No. 3. Pp. 20–37. (rus)
8. *Ginzburg A.V., Kazisova M.E.* Osobennosti proektirovaniya ob'ektov kul'turnogo naslediya s primeneniem BIM-tehnologii [Design of cultural heritage objects using BIM technologies]. In: Sistemotekhnika stroitel'stva. Kiberfizicheskie stroitel'nye sistemy [Construction system engineering. Cyberphysical construction systems]. Moscow, 2019. (rus)
9. *Soina N.S.* Virtual'naya rekonstruktsiya kreposti sudzhuk-kale [Virtual reconstruction of Sudzhuk-Kale Fortress]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2020. V. 22. No. 3. Pp. 75–84. (rus)
10. *Barazzetti L., Gianinetto M., Scaioni M.* Automatic processing of many images for 2D/3D modelling. Digital transformation of the Design. Construction and Management Processes of the Built Environment. 2020.
11. *Rocha G., Mateus L., Fernández J., Ferreira V.* A Scan-to-BIM methodology applied to heritage buildings. CIAUD, Lisbon School of Architecture. 2020.
12. *Khalil A., Stravoravdis S.* H-BIM and the domains of data investigations of heritage buildings current state of the art. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2019. V. XLII-2/W11.

#### Сведения об авторах

*Гиря Лидия Владимировна*, канд. техн. наук, доцент, Донской государственный технический университет, 344000, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, [Giryal@inbox.ru](mailto:Giryal@inbox.ru)

*Трофимов Георгий Павлович*, магистрант, Донской государственный технический университет, 344000, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, [G.P.Trofimoff@gmail.com](mailto:G.P.Trofimoff@gmail.com)

#### Authors Details

*Lidiya V. Giryal*, PhD, A/Professor, Don State Technical University, 1, Gagarin Sq., 344000, Rostov-on-Don, Russia, [Giryal@inbox.ru](mailto:Giryal@inbox.ru)

*Georgiy P. Trofimov*, Graduate Student, Don State Technical University, 1, Gagarin Sq., 344000, Rostov-on-Don, Russia, [G.P.Trofimoff@gmail.com](mailto:G.P.Trofimoff@gmail.com)