

ВОССТАНОВЛЕНИЕ КАРКАСНОЙ МОДЕЛИ 3D-ОБЪЕКТА ПО БУМАЖНОМУ АРХИВНОМУ ЧЕРТЕЖУ

С.А. Роменский¹, С.И. Ротков¹, Ю.П. Бурцев², В.В. Проворов², В.А. Тюрина¹,
М.М. Смычѣк¹, А.В. Назаровская¹

¹ Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Нижний Новгород, Россия

² АО «ЦНИИ «Буревестник», г. Нижний Новгород, Россия

В статье описано практическое применение автоматизированной информационной технологии преобразования бумажного чертежа в электронную 3D-модель изделия (каркасное представление). Данное преобразование актуально для CALS- и BIM-идеологии проектирования и производства объекта в связи с необходимостью использовать безбумажное представление информации, сопровождающей изделие в процессе его жизненного цикла. Описаны все стадии процесса, необходимого для восстановления каркасной модели изделия вида «деталь» по реальному производственному бумажному чертежу. Важными этапами этого сложно формализуемого процесса являются: процедура сканирования чертежа и дальнейшая векторизация его растрового представления, обработка полученного векторного изображения и выделение из него ортогональных проекций изделия во внутренней системе параметризации, анализ проекционных видов и устранение погрешностей, преобразование полученных данных к виду точечной 3D-модели объекта и, наконец, преобразование точечной модели в предварительную каркасную модель. Параллельно оценивалось время, затрачиваемое на автоматизированное получение каркасной модели и получение этой же модели интерактивно. Чертежи реальных промышленных изделий вида «деталь» для тестирования разработанной технологии были предоставлены АО «ЦНИИ «Буревестник», алгоритмы перечисленных выше этапов, связанных с обработкой векторного представления данных, разработаны на кафедре инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования ННГАСУ.

Ключевые слова: растровый формат, векторный формат, точечная модель, каркасная модель, геометрическое моделирование, ортогональные проекции, внутренняя параметризация

Введение

Современный подход к проектированию предполагает, что любое изделие должно иметь информационную поддержку в процессе своего существования (жизненного цикла). Такую поддержку можно осуществлять при помощи совокупности различных систем, объединенных единой базой данных и формирующих электронную модель изделия (ЭМИ). Возможность автоматически создавать 3D-модели объектов в процессе проектирования полностью соответствует современной идеологии CALS-технологий [1]. Для реализации такого подхода системам геометрического моделирования требуется выполнять процессы обработки данных сразу в двух пространствах измерений, так, чтобы между трехмерной моделью объекта (3D-моделью) и его изображением (2D-моделью) была взаимно однозначная связь (3D → 2D). К сожалению, большинство систем предоставляют только связь 3D → 2D, что существенно ограничивает скорость работы конструктора, так как затрудняет использование классических методов проектирования. Ключевым моментом при проектировании

изделия является незаменимая роль технического чертежа, так как он содержит всю информацию о проектируемом объекте, полностью соответствует государственному стандарту и является универсальным международным графическим языком, общим для специалистов смежных профессий, и к тому же легко формируется в электронном виде. На предприятиях накопилось огромное количество чертежей на бумажных носителях, которые лежат в основе процесса проектирования и технологической подготовки производства. Создание технологии, позволяющей выполнять автоматическую генерацию трехмерных моделей по техническому чертежу (на бумажных или электронных носителях), позволило бы во много раз сократить время разработки объектов различного назначения и задействовать в процессе проектирования архивные бумажные чертежи. Поэтому разработка математического и программного обеспечения системы автоматической реконструкции трехмерных моделей объектов по техническому чертежу продолжает оставаться актуальной задачей компьютерной геометрии и графики.

**Этапы технологии автоматической
генерации 3D-модели по бумажному
чертежу**

Альтернативой предлагаемой информационной технологии является только переконструирование как всего изделия, так и любой его части средствами систем геометрического моделирования, задающими геометрическую составляющую электронной модели изделия (ЭМИ). Перевод архивных чертежей с бумажного носителя в электронный растровый вид тоже не дает эффекта, так как позволяет получить сканированную растровую «картинку», которая может быть использована только в качестве подложки при перечерчивании архивного чертежа и не позволяет создать электронную 3D-модель детали или изделия. Кроме того, надо учесть тот факт, что чертеж на бумажном носителе может содержать в себе как ошибки геометрических построений, характерных для ручного способа построения изображений на поле чертежа, так и ошибки, связанные с деформацией во времени бумажного носителя, что априори дает ошибку геометрических данных при формировании ЭМИ.

Ниже описаны все стадии процесса, необходимого для восстановления каркасной модели изделия вида «деталь» по реальному производственному бумажному чертежу.

Пять примеров чертежей изделий вида «деталь», которые использовались при выполнении тестирования предложенной технологии, приведены на рис. 1–5.

**1. Процедура сканирования чертежа
и его векторизация**

Автоматизированный ввод исходных данных с бумажного носителя начинается с технологического этапа визуальной оценки их качества, в результате которого принимается решение о целесообразности его сканирования и выполнения последующих технологических этапов в автоматическом режиме, далее выполняются два технологических процесса: сканирование, переводящее исходные графические данные чертежа в растровый формат, и процесс векторизации.

В некоторых случаях требуется провести предварительные процедуры. Например, если контрастность отдельных элементов чертежа оценивалась как неудовлетворительная, что в конечном итоге могло приводить к заметным искажениям формируемой автоматически векторной модели, то проводится этап контрастирования.

Обязательным является этап бинаризации, в результате которого исходное растровое изображение переводится в бинарное растровое изображение проекционных видов. Далее при необходимости проводится этап фильтрации помех, а затем следует процесс векторизации и формирования сегментно-узловой модели [2].

**2. Обработка полученного векторного
изображения**

Данные в векторном формате проходят процедуру выделения из них ортогональных проекционных видов [3]. Первый этап формирования

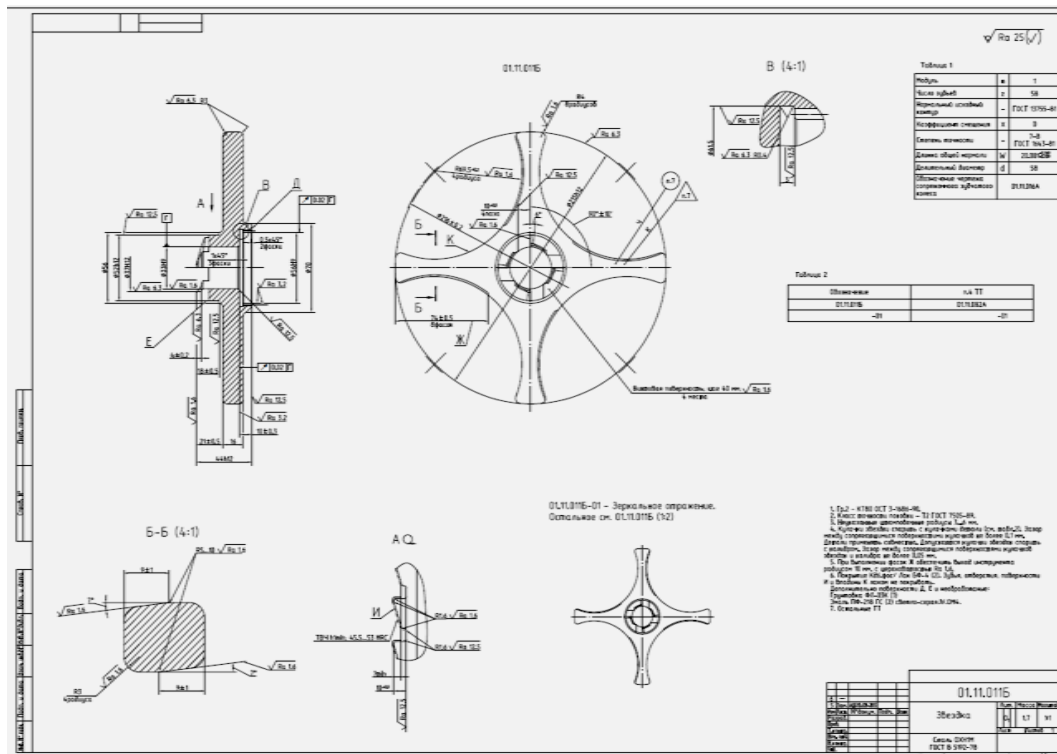


Рис. 1. Технический многовидовый чертеж детали «Звездка»

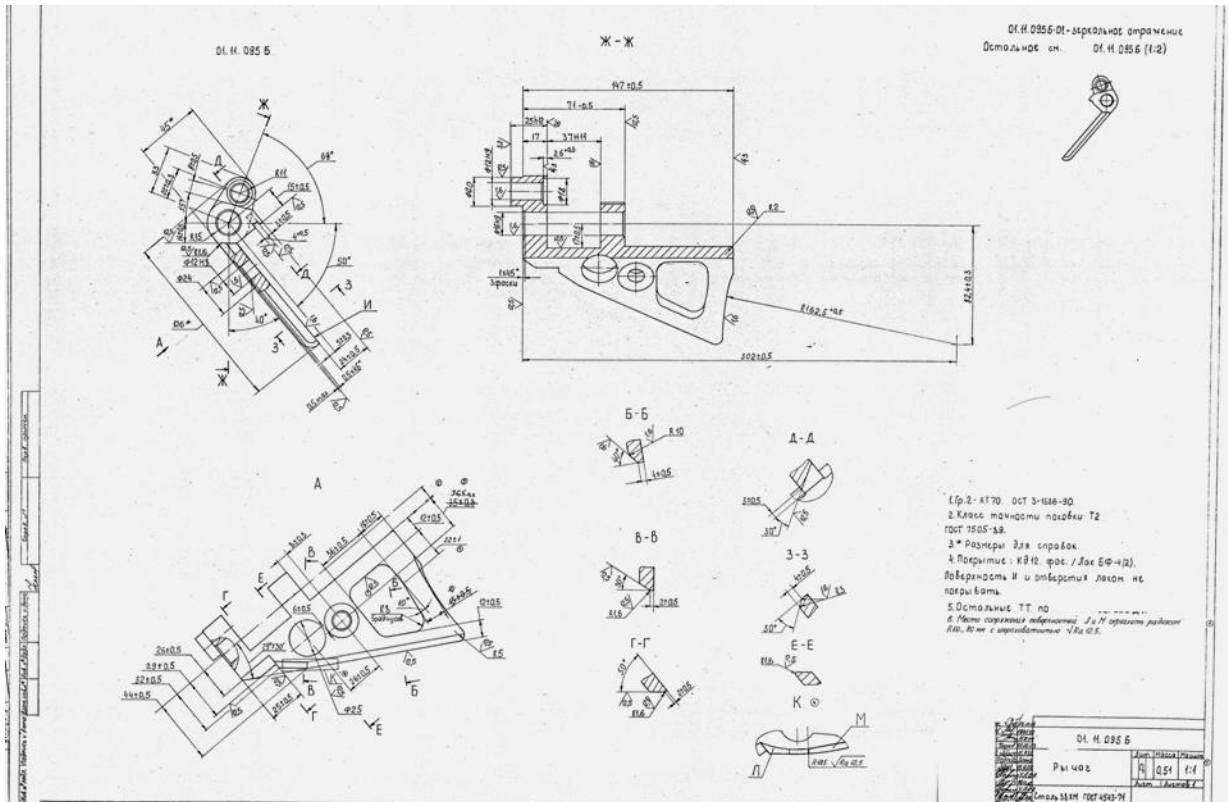


Рис. 2. Технический многовидовый чертёж детали «Рычаг_1»

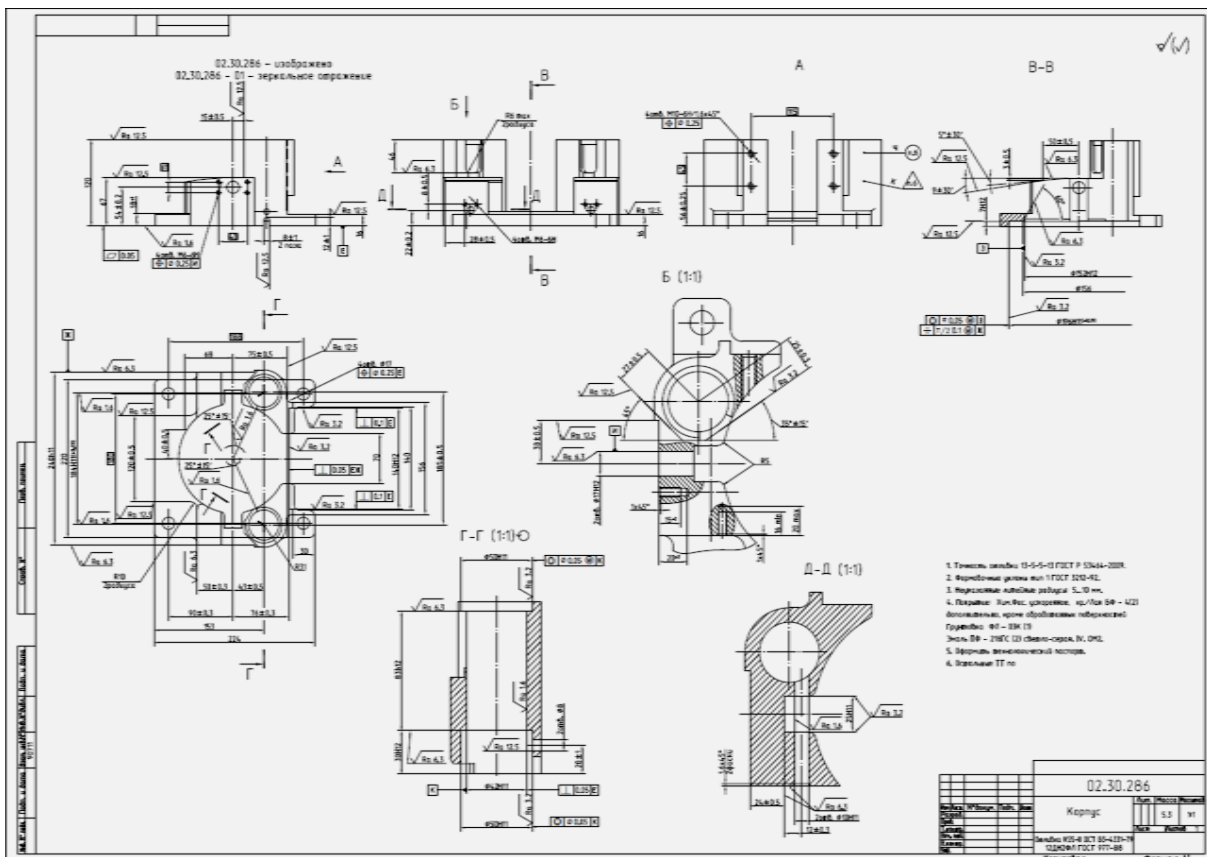


Рис. 3. Технический многовидовый чертёж детали «Корпус»

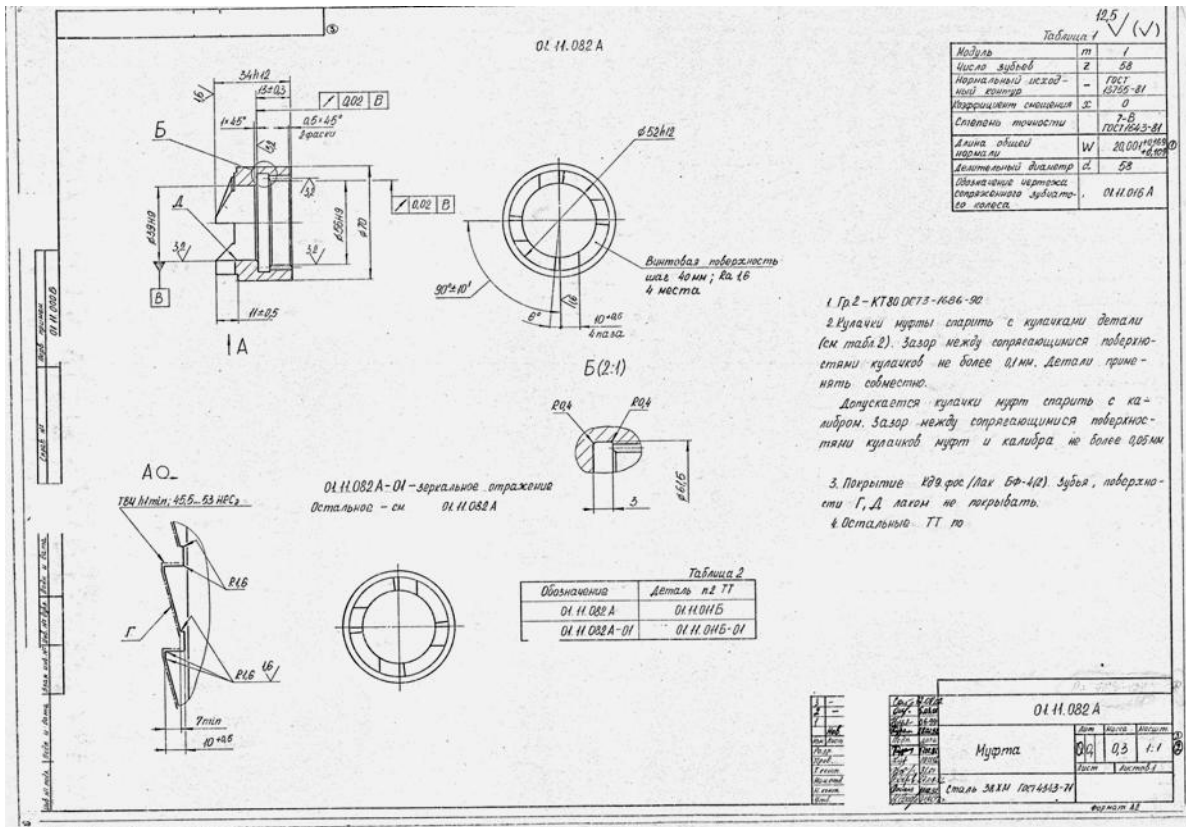


Рис. 4. Технический многовидовый чертёж детали «Муфта»

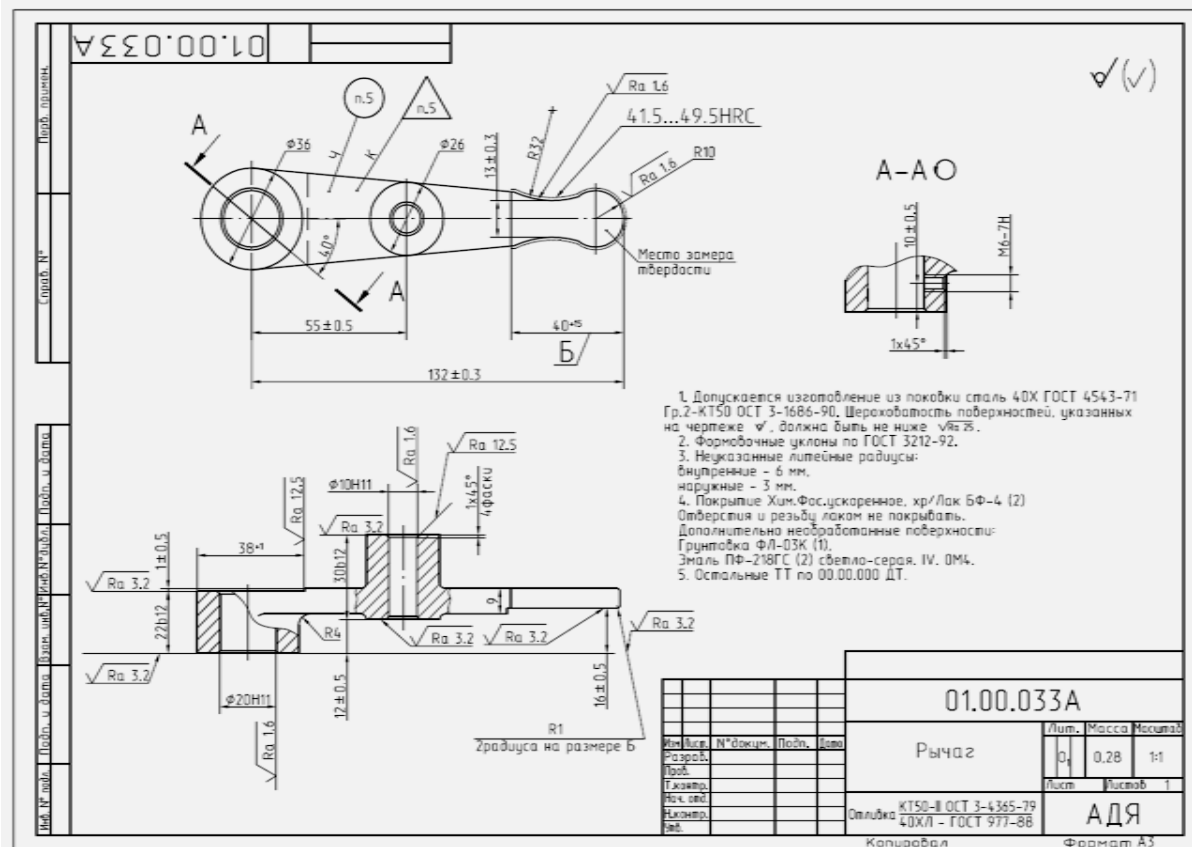


Рис. 5. Технический многовидовый чертёж детали «Рычаг_2»

Инженерная геометрия и компьютерная графика...

трехмерной каркасной модели – получение двумерной геометро-графической информации прикладной программой [4, 5]. Чтобы иметь возможность построения каркасной модели, необходимо привести отдельные проекционные изображения к единой системе координат. А именно, необходимо задать внутреннюю систему параметризации рассматриваемого изделия.

Любую проекцию трехмерной модели на плоскость можно представить в виде графа. Если на чертеже одновременно размещены несколько проекционных видов, то их можно выделить в компоненты связности этого графа. Но применение стандартных подходов к поиску компонент связности (таких как поиск в ширину или глубину, то есть обход всех вершин и ребер графа с пометкой пройденных вершин) не дадут конечный результат в виде проекционных видов. Почти в каждой трехмерной модели присутствуют отверстия, не связанные с внешней геометрией, и они выделяются в отдельные компоненты связности, если использовать, например, поиск в ширину.

В связи с вышеизложенным предлагается следующий подход к выделению нескольких проекционных видов на чертеже. При любом способе получения геометро-графической информации, будь то отсканированный чертеж или начерченный в одной из систем автоматизированного проектирования, для всех видов плоских кривых можно выделить область, внутрь которой эта кривая помещается. Пусть такой областью у нас будет прямоугольник, назовем его ограничивающим. Для вертикальных и горизонтальных отрезков этот прямоугольник вырождается в отрезок. Для каждой компоненты связности тоже запомним ограничивающий прямоугольник, расширяя его при добавлении новых объектов (при необходимости). Проверку же принадлежности объекта будем проводить по принципу: если ограничивающий прямоугольник объекта и ограничивающий прямоугольник компоненты связности имеют общую площадь или вершину или пересекаются их стороны, то объект входит в компоненты связности. Более подробная блок-схема данного процесса представлена на рис. 6.

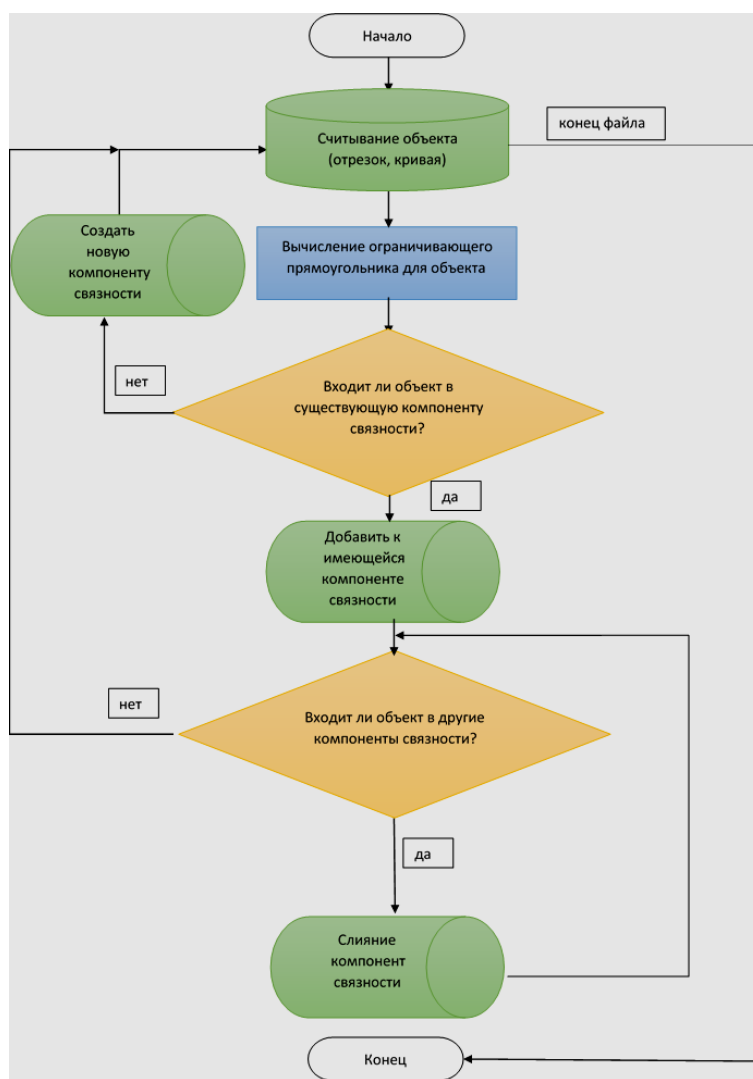


Рис. 6. Блок-схема выделения проекционных видов

При данном подходе для чертежа, содержащего несколько проекционных видов (эпюр Монжа, разрезы, сечения и т. д.), будут выделены в компоненты связности и обработаны все пришедшие в виде входной геометро-графической информации виды.

3. Преобразование точечной модели в предварительную каркасную модель

Следующим этапом получения трехмерной каркасной модели является построение точечной трехмерной модели. Точечная трехмерная модель представляет собой облако точек, никак не связанных между собой. Каждая точка задается своими координатами. В основе алгоритма получения координат точек лежат работы [1, 6–11].

Далее путем добавления массива ребер в точечную модель получается искомая предварительная каркасная трёхмерная модель.

Вычислительная сложность примененного алгоритма подробно описана в [12]. В данном исследовании алгоритм прошел дополнительное тести-

рование и в ходе анализа полученных данных был усовершенствован.

Демонстрация результатов работы алгоритма наглядно показана на рис. 7–11. Слева на каждом рисунке показана визуализация 3D-модели детали, полученной традиционными методами проектирования в системе геометрического моделирования Компас-3D, а справа – снимок экрана после проведенного автоматического восстановления каркасной модели объекта по описанной выше технологии.

В процессе тестирования алгоритма проводилось параллельное фиксирование и сравнение параметров математических моделей объектов, а также временных характеристик восстановления объектов.

В таблице приведены данные, полученные при восстановлении трехмерной каркасной модели на основе проекционных изображений, считанных с реальных производственных технических чертежей. Замеры времени были проведены на основе 10 циклов восстановления.

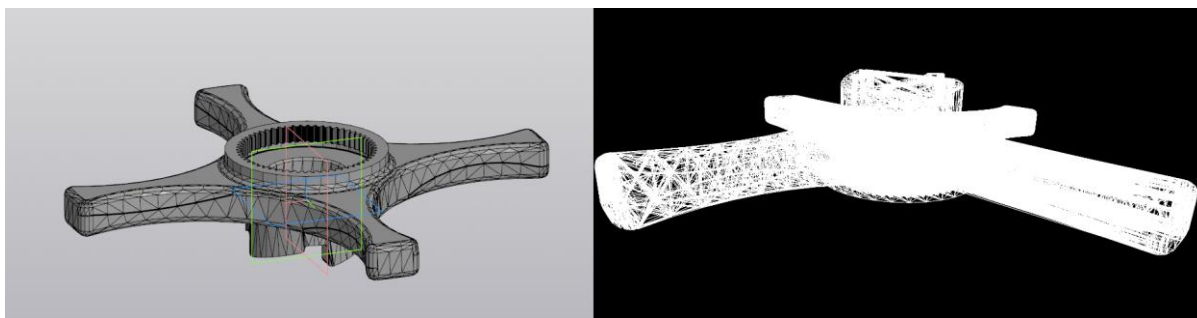


Рис. 7. Визуализация полученной каркасной модели детали «Звездка»

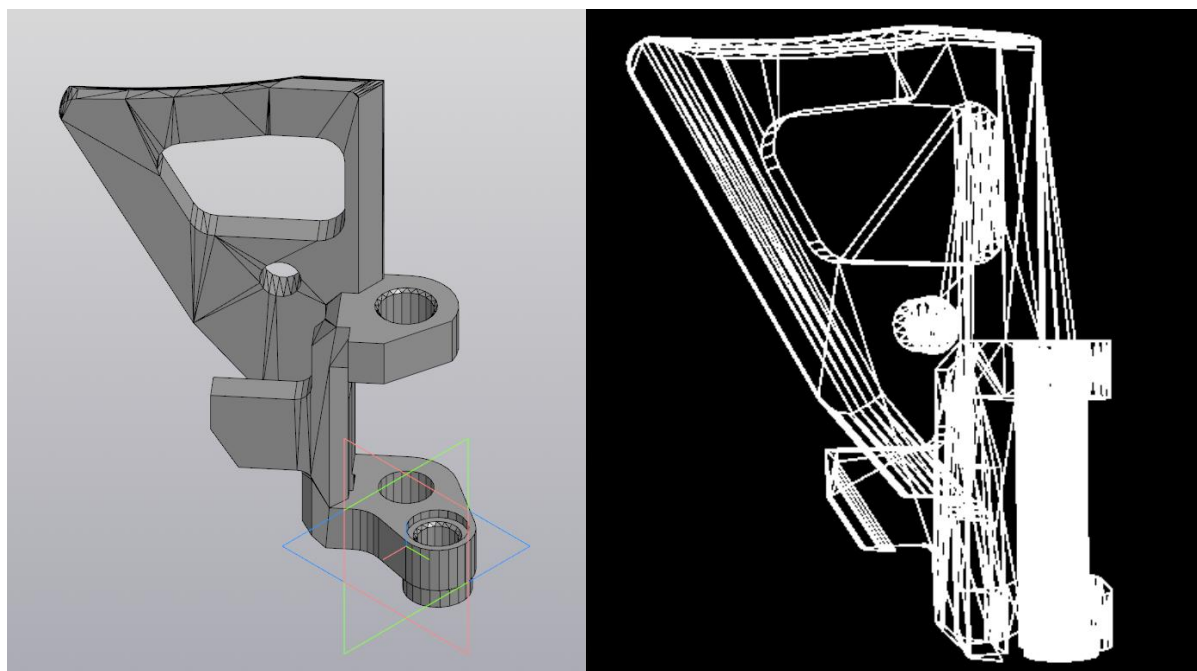


Рис. 8. Визуализация полученной каркасной модели детали «Рычаг_1»

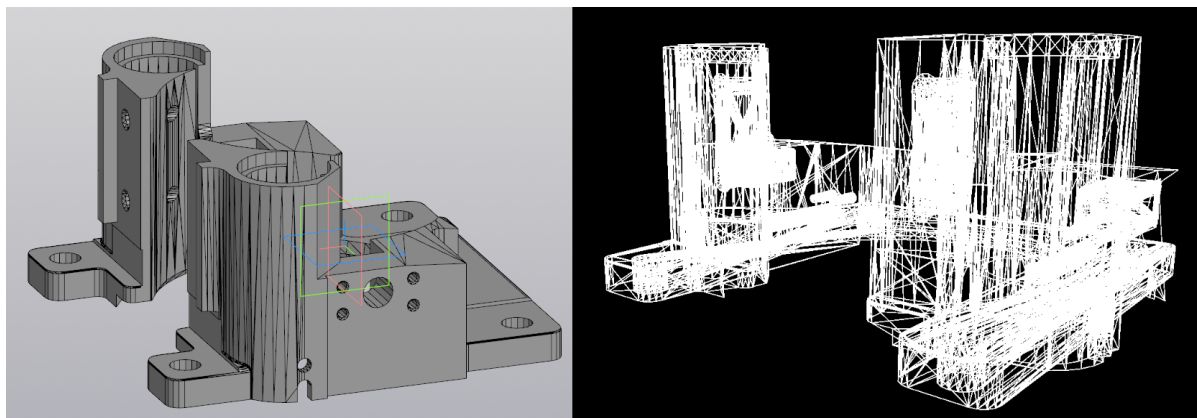


Рис. 9. Визуализация полученной каркасной модели детали «Корпус»

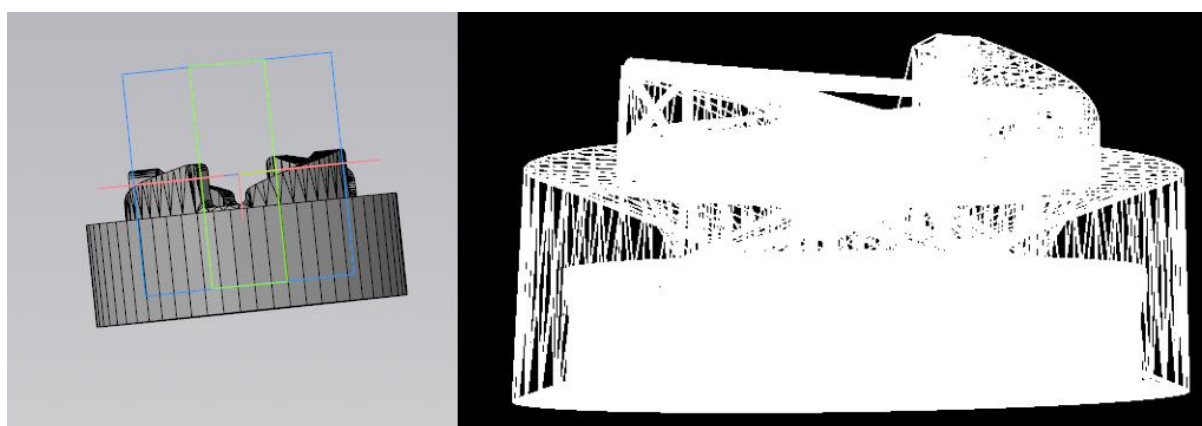


Рис. 10. Визуализация полученной каркасной модели детали «Муфта»

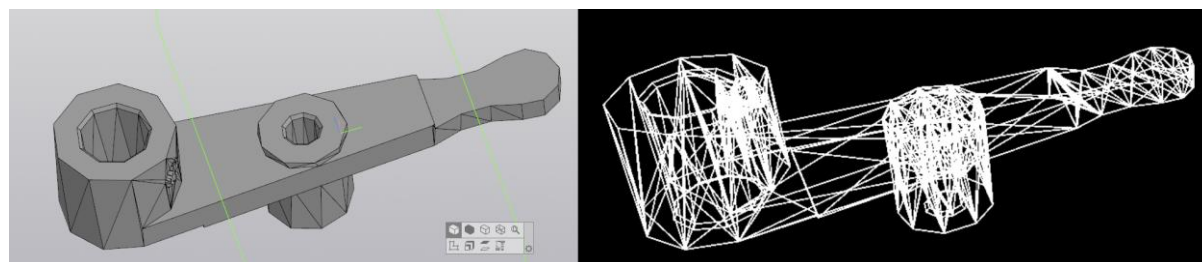


Рис. 11. Визуализация полученной каркасной модели детали «Рычаг_2»

Экспериментальные данные

Таблица

Наименование детали	Количество вершин на проекционных изображениях			Количество восстановленных трехмерных вершин	Общее время работы алгоритма, с	Время создания, с	
	Фронтальная проекция	Горизонтальная проекция	Профильная проекция			точечной модели	каркасной модели
Звездка	3116	3211	3116	5177	32,969	4,1624	28,806
Рычаг_1	641	472	641	705	0,6125	0,1109	0,5016
Корпус	1509	1257	1509	2016	4,5718	0,7905	3,7813
Муфта	1768	1721	1768	3061	9,1172	1,2909	7,8263
Рычаг_2	182	188	182	225	0,0921	0,0125	0,0796

Сравнение данных, представленных в таблице, с временными характеристиками формирования 3D моделей деталей, полученных традиционным способом проектирования (в ходе интерактивного моделирования), позволяет сделать однозначный вывод о преимуществе и перспективности автоматического восстановления моделей объектов по архивным (бумажным и электронным) техническим чертежам.

Дальнейшее преобразование предварительной каркасной модели в каркасную модель без ложных геометрических элементов и последующая генерация граничной модели основана на работах [1, 8, 10].

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-07-01024.

Литература

1. Ротков, С.И. Разработка средств геометрического моделирования и компьютерной графики пространственных объектов для САЛС-технологий: дис. ... д-ра техн. наук, 05.01.01 – Инженерная геометрия и компьютерная графика / С.И. Ротков. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 1999. – С. 300.

2. Автоматизированная технология преобразования чертежно-конструкторской документации на бумажных носителях в электронную 3D-модель объекта / Д.Ю. Васин, В.П. Громов, С.А. Роменский, С.И. Ротков // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2020): сб. тр. по материалам VI Международной конференции и молодежной школы: в 4 т.; под ред. В.А. Фурсова. Самара, 26–29 мая 2020 года. – Самара: Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 2020. – С. 997–1006. eLIBRARY ID: 43576705.

3. Распознавание компонент связности в задаче восстановления трехмерной модели по проекционным изображениям / Н.Д. Жилина, Т.В. Мошкова, С.А. Роменский и др. // GraphiCon: труды 29-й Междунар. конф. по компьютерной графике и машинному зрению – Брянск: Брянский государственный технический университет, 2019. – С. 185–187. DOI: 10.30987/graphicon-2019-1-185-187.

4. Роменский, С.А. Передача геометрической информации из системы автоматизированного проектирования в прикладную программу на примере САПР «Компас-График» //

Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM2015): сб. тр. конф. – М., 2015. – С. 97–100.

5. Тюрина, В.А. Автоматическое обнаружение геометрических ошибок на машиностроительных 2D-чертежах при формировании электронных архивов / В.А. Тюрина, Д.Ю. Васин, С.И. Ротков // Приволж. науч. журн. – 2015. – № 3(35). – С. 116–123.

6. Котов, И.И. Алгоритмы машинной графики / И.И. Котов, В.С. Полозов, Л.В. Широкова. – М., Машиностроение, 1977. – 232 с.

7. Автоматизированное проектирование. Геометрические и графические задачи / В.С. Полозов, О.А. Будеков, С.И. Ротков, Л.В. Широкова. – М.: Машиностроение, 1983. – 280 с.

8. Тюрина, В.А. Разработка методов преобразований каркасной модели в задаче синтеза образа 3D-объекта по его проекциям: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.А. Тюрина. – Н. Новгород, 2003. – 24 с.

9. Тюрина, В.А. Пути решения задачи восстановления образа объекта по многовидовому техническому чертежу: история и перспективы / В.А. Тюрина // Современные проблемы информатизации геометрической и графической подготовки инженеров: сб. материалов. Всерос. науч.-метод. конф. – Саратов. гос. техн. ун-т. Саратов, 2007.

10. Тюрина, В.А. Особенности этапа формирования каркасной модели 3D объекта в задаче автоматического синтеза электронной модели изделия по его техническому чертежу / В.А. Тюрина // Вестник ИжГТУ. – 2007. – № 2(34). – С. 8–11.

11. Алгоритм автоматизированного построения 3D-модели объекта по ортогональным проекциям с использованием системы Компас-3D / В.А. Тюрина, С.И. Ротков, Т.В. Мошкова и др. // Приволж. науч. журн. – 2014. – № 4(32). – С. 42–48.

12. Исследование временных характеристик алгоритма восстановления каркасной модели по проекционным изображениям / Т.В. Мошкова, С.А. Роменский, С.И. Ротков, В.А. Тюрина // GraphiCon: Труды 28-й Междунар. конф. по компьютерной графике и машинному зрению. – Томск: Нац. исслед. Том. политехн. ун-т, 2018. – С. 369–371.

Роменский Сергей Александрович, старший преподаватель кафедры инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (Нижний Новгород), romensky@nngasu.ru.

Ротков Сергей Игоревич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (Нижний Новгород), rotkov@nngasu.ru.

Бурцев Юрий Павлович, начальник службы информационных технологий, АО «ЦНИИ «Буревестник» (Нижний Новгород), burcev.yuri@burevestnik.com .

Проворов Владислав Валентинович, главный специалист конструкторского отделения, АО «ЦНИИ «Буревестник», (Нижний Новгород), provorov.vladislav@burevestnik.com.

Тюрина Валерия Александровна, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (Нижний Новгород), 55555_73@mail.ru.

Смычек Мария Михайловна, ассистент кафедры инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (Нижний Новгород), mariasmuchek@gmail.com.

Назаровская Агата Владимировна, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (Нижний Новгород), ng.forever.agn@gmail.com.

Поступила в редакцию 30 сентября 2022 г.

DOI: 10.14529/build220407

RESTORATION OF A WIREFRAME MODEL OF A 3D OBJECT FROM A PAPER ARCHIVE DRAWING

S.A. Romensky¹, romensky.serge@gmail.com

S.I. Rotkov¹, rotkov@nngasu.ru

Yu.P. Burtsev², burcev.yuri@burevestnik.com

V.V. Provorov², Provorov.Vladislav@burevestnik.com

V.A. Tyurina¹, 55555_73@mail.ru

M.M. Smychek¹, mariasmuchek@gmail.com

A.V. Nazarovskaya¹, ng.forever.agn@gmail.com

¹ Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russia

² JSC "Central Research Institute "Burevestnik", Nizhny Novgorod, Russia

The article describes the practical application of automated information technology for the transformation of a paper drawing into an electronic 3D model of a product (wireframe representation). This transformation is relevant for CALS and BIM ideology of design and production of an object. This is connected with the need to use a paperless presentation of information which accompanies a product during its life cycle. This article describes all the stages of the process required to restore a wireframe model of a "detail" product from a real production paper drawing. The important stages of this difficult formalized process are: scanning of drawing and further vectorization of its raster representation; processing the resulting vector image; extraction of orthogonal projections of the product from the resulting vector image in the internal parameterization system; analysis of projection views and elimination of errors; transformation of the data obtained to form a point 3D model of the object; and, finally, transformation of the point model into a preliminary wireframe model. Furthermore, the time spent on the automated creation of a wireframe model and obtaining the same model interactively was estimated. Drawings of real industrial products of the "detail" type were provided by JSC Central Research Institute "Burevestnik" in order to test the technology developed. The algorithms of the above stages associated with the processing of vector data representation were developed at the Department of Engineering Geometry, Computer Graphics and Computer-Aided Design of NNGASU.

Keywords: raster format, vector format, point model, wireframe model, geometric modeling, orthogonal projections, internal parameterization

References

1. Rotkov S.I. *Razrabotka sredstv geometricheskogo modelirovaniya i komp'yuternoy grafiki prostranstvennykh ob'ektov dlya CALS-tehnologiy. Diss. dokt. tekhn. nauk* [Development of Tools for Geometric Modeling and Computer Graphics of Spatial Objects for CALS Technologies: Doct. Sci. Diss.]. Nizhny Novgorod, 1999. 300 p.
2. Vasin D.Yu., Gromov V.P., Romenskiy S.A., Rotkov S.I. [Automated Technology for Converting Drawing and Design Documentation on Paper into an Electronic 3D Model of an Object], *Informatsionnye tekhnologii i*

nanotekhnologii (ITNT-2020): sb. nauch. tr. [Information technologies and Nanotechnologies (ITNT-2020): Collected Papers]. Samara, Samara University Publ., 2020, pp. 997–1006. (in Russ.)

3. Zhilina N.D., Moshkova T.V., Romenskiy S.A., Rotkov S.I., Tyurina V.A. [Recognition of Connected Components in the Problem of Restoring a Three-Dimensional Model from Projection Images]. *GraphiCon 2019: trudy 29-y Mezhdunar. konf. po komp'yuternoy grafike i mashinnomu zreniyu* [GraphiCon 2019: 29th International Conference on Computer Graphics and Vision. Conference Proceedings], 2019, no. 1, pp. 185–187. (in Russ.). DOI: 10.30987/graphicon-2019-1-185-187.

4. Romenskiy S.A. [Transfer of Geometric and Graphical Information from the Compass-Graph CAD to the Application Program] *Sistemy proektirovaniya, tekhnologicheskoy podgotovki proizvodstva i upravleniya etapami zhiznennogo tsikla promyshlennogo produkta (SAD/CAM/PDM - 2015): trudy mezhdunarodnoy konferentsii* [Systems of Design, Technological Preparation of Production and Management of Stages of the Life Cycle of an Industrial Product (CAD/CAM/PDM - 2015): International Conference Proceedings]. Moscow, OOO Analitik, 2015, pp. 97–100 (in Russ.)

5. Vasin D.Yu., Rotkov S.I., Tyurina V.A. [Automated Geometrical Error Detection in Machine-Building 2d-Drawings at Creating Electronic Archives]. *Privolzhsky Scientific Journal*, 2015, no. 3(35), pp. 116–123. (in Russ.)

6. Kotov I.I., Polozov V.S., Shirokova L.V. *Algoritmy mashinnoy grafiki* [Machine Graphics Algorithms]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1977. 232 p.

7. Polozov V.S., Budekov O.A., Rotkov S.I., Shirokova L.V. *Avtomatizirovannoe proektirovanie. Geometricheskie i graficheskie zadachi* [Computer-Aided Design. Geometric and Graphical Problems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1983. 280 p.

8. Tyurina V.A. *Razrabotka metodov preobrazovaniy karkasnoy modeli v zadache sinteza obraza 3D-ob"ekta po ego proektsiyam. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk.* [Development of Methods of Transformation of the Frame Model in the Task of Synthesizing the Image of a 3D Object by its Projections. Abstract of. Cand. Sci. Diss.]. N.Novgorod, 2003. 28 p.

9. Tyurina V.A. [Ways to Solve the Problem of Restoring the Image of an Object Based on a Multi-View Technical Drawing: History and Prospects] *Sovremennye problemy informatizatsii geometricheskoy i graficheskoy podgotovki inzhenerov: sb. materialov. konf.* [Modern problems of informatization of geometric and graphic training of engineers: Conference Proceedings]. Saratov, SSTU Publ., 2007 (in Russ.)

10. Tyurina V.A. [Features of the Stage of Formation of a 3D Object Frame Model in the Task of Automatic Synthesis of an Electronic Model of a Product According to its Technical Drawing]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2007, no. 2(34), pp. 8–11. (in Russ.)

11. Zhilina N.D., Lagunova M.V., Moshkova T.V., Rotkov S.I., Tyurina V.A. [Algorithm of Automated Construction of Object 3D-Models on Orthogonal Projections Using Kompas-3D System] *Privolzhsky Scientific Journal*, 2014, no. 4 (32), pp. 42–48 (in Russ.)

12. Moshkova T.V., Romenskiy S.A., Rotkov S.I., Tyurina V.A. [Investigation of the Time Characteristics of the Frame Model Reconstruction Algorithm Based on Projection Images] *GraphiCon: Trudy 28-y Mezhdunar. konf. po komp'yuternoy grafike i mashinnomu zreniyu* [GraphiCon 2018: 28th International Conference on Computer Graphics and Vision. Conference Proceedings], 2018, pp. 369–371. (in Russ.)

Received 30 September 2022

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Восстановление каркасной модели 3D-объекта по бумажному архивному чертежу / С.А. Роменский, С.И. Ротков, Ю.П. Бурцев и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2022. – Т. 22, № 4. – С. 66–75. DOI: 10.14529/build220407

FOR CITATION

Romenskiy S.A., Rotkov S.I., Burtsev Yu.P., Provovrov V.V., Tyurina V.A., Smychek M.M., Nazarovskaya A.V. Restoration of a wireframe model of a 3D object from a paper archive drawing. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2022, vol. 22, no. 4, pp. 66–75. (in Russ.). DOI: 10.14529/build220407