

**Александров Александр Алексеевич** – Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте АО «НИИАС», Ростовский филиал; e-mail: aa.alexandrov@vniias.ru; г. Ростов-на-Дону, Россия; тел.: + 79064278038.

**Бутакова Мария Александровна** – Ростовский государственный университет путей сообщения; e-mail: butakova@rgups.ru; г. Ростов-на-Дону Россия; тел.: +791859766 71; д.т.н.; профессор.

**Aleksandrov Aleksandr Alekseevich** – JSC NIIAS; e-mail: a.alexandrov@vniias.ru; Rostov-on-Don, Russia; phone: + 79064278038; Master's Degree in Computer Science.

**Butakova Maria Aleksandrovna** – Rostov State Transport University; e-mail: butakova@rgups.ru; Rostov-on-Don, Russia; phone: +79185976671; dr. of eng. sc., professor.

УДК 621.372

DOI 10.18522/2311-3103-2026-4-38-50

**Н.Н. Войт**

### **МОДИФИЦИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ ИНТЕГРАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЯ С ВИРТУАЛЬНОЙ ПЛОЩАДКОЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

*Низкая успешность разработки аппаратно-программных средств сложных изделий является проблемой в САПР, которая влечет траты материальных, технических и людских ресурсов, поэтому с целью повышения успешности разработки изделий работа вносит вклад в решение широко известной и важной задачи твердотельного моделирования – это задача по интеграции виртуальных прототипов. Задача включает цифровое представление изделия, отражающее пространственное взаимодействие компонентов и позволяющее оценивать работоспособность конструкций, и относится к PSPACE-классу сложных задач. В работе описана интеграция виртуальных прототипов на пример системы управления жизненным циклом изделия ЛОЦМАН:PLM с виртуальной площадкой проектирования Unity 3D. Работа содержит разработку модифицированного алгоритма поиска и извлечения в репозиторий 3D-сборок. Алгоритм отличается блоком поиска окружения сборки api.getinfo, позволяющим найти и поместить в графический репозиторий конструкторскую, технологическую и эксплуатационную документацию (данные, метаданные и прочее). По помещенным данным в виртуальную площадку специалистом выполняется оценка эргономики 3D-сборок. В рамках крупного проектно-промышленного предприятия проведены вычислительные эксперименты с модифицированным алгоритмом, реализованном как интегратор 3D-сборок, и получены примеры применения, а также выполнено внедрение интегратора. В виртуальной реальности специалистом было оценено расположение рабочих органов и блоков по примерам. Модифицированный алгоритм вносит вклад в решение проблемы успешности, сокращая сроки построения, оценки и правок 3D-сборок на 10 % (на 1,25 рабочих дня) по результатам экспериментов. Интегратор используется в конструкторском проектировании 3D-сборок и в процессе обучения (повышении квалификации, переподготовке) специалистов без отрыва от производства. Благодаря интерфейсной реализации интегратор взаимодействует с продуктами САПР компаний России и других стран. В работе используется теоретико-множественное обоснование для математического описания выражений, параметров и значений. Дальнейшие исследования связаны с выявлением ошибок по поведенческой модели специалиста.*

*Виртуальная реальность; ЛОЦМАН; Unity 3D; проектирование; интеграция; изделие; прототип.*

**N.N. Voit**

### **MODIFY INTEGRATION ALGORITHM BETWEEN CONTROL SYSTEM OF PART LIFE CYCLE AND VIRTUAL DESIGN PLATFORM**

*The low hardware and software development success is a problem in CAD. The problem entails large expenditures of material, technical and human resources. In order to increase the product development success need to solve the issue of integrating virtual prototypes in the design stage. The issue includes a digital representation that allows evaluate the design's operability. The paper describes the integration between LOTSMAN:PLM and Unity 3D, that includes the modified algorithm development for searching and extracting 3D assemblies in the repository. This algorithm has a name api.getinfo, that*

*allows to aggregate design, technical and operational information. These information puts into a query to extract a 3D assembly for a graphical repository. A specialist can estimate the assembly ergonomics in virtual reality. At industrial enterprise computational experiments were carried out with a modified algorithm implemented like an integrator of 3D assemblies into virtual reality. 3D assembly's examples were obtained in a graphical repository. A specialist can estimate the location of working bodies and blocks in virtual reality. The integrator interacts with products from ASCON, SolidWorks, AutoCAD, Altium Designer and Delta Design. The modified algorithm reduces the time required to build, evaluate, and edit a 3D assembly by 10% (1.25 business days). Results are based on the experiments. The integrator is embedded in a design and industrial enterprise and in training (advanced training, retraining) of specialists. The work uses a set-theoretic justification for mathematical description of expressions, parameters, etc. Further research is related to the identification of errors in the behavioral specialist model.*

*Virtual reality; LOODSMAN; Unity 3D; design; integration; part; prototype.*

**Введение.** В настоящее время в проектной деятельности предприятий используются как системы автоматизированного проектирования (PLM/CAD/CAM/CAE-системы), так и автоматизированные системы управления и накопления знаний. Результатом проектной деятельности являются проектные решения, систематизируемые и накапливаемые для повторного использования в производстве. При этом типовым методом моделирования в CAD -системах является создание трехмерного объекта из двумерного эскиза, над которым совершаются операции выдавливания, вращения и др. Основным недостатком такого метода моделирования является то, что при создании трехмерной модели проектировщику приходится мыслить не в категориях человеко-компьютерного диалога (эргономика), а в терминах проектируемых деталей (основание, отверстие, ребро жесткости и т.д.). Эту проблему возможно решить, переместив моделируемые объекты в виртуальное окружение и «подменив» им реальное, тем самым создается *виртуальная реальность* (Virtual Reality, VR), новый тип человеко-машинного диалога, при котором зрительные, слуховые, осязательные и моторные ощущения заменяются их имитацией [1].

За последние годы на многих предприятиях в России [2–4] и за рубежом внедрена технология виртуальной реальности, ее успешно применяют на таких предприятиях, как NASA, Lockheed Martin Corporation, Fiat Chrysler Automobiles, Ford, General Motors, «Норникель», «АвтоВАЗ», «Росатом», «Роснефть», «Лукойл» [1].

Технология виртуальной реальности обеспечивает высокореалистичное моделирование трехмерного пространства, поддерживает динамическое интерактивное взаимодействие с пользователем, создает визуальный, аудиальный, кинестетический эффект погружения в моделируемое киберпространство [5–8].

Проектирование с помощью технологии виртуальной реальности (виртуальное проектирование), согласно лабораторным исследованиям, позволяет снизить срок разработки изделия до 30 %, сократить количество проектных ошибок, повысить качество изделия за счет улучшений в проработке эргономики, ремонтных и эксплуатационных характеристик, повысить удовлетворенность клиента изделием за счет его вовлечения в стадию испытания изделия, снизить ремонтные и эксплуатационные издержки за счет прототипирования процессов производства и эксплуатации изделий [5–8]. Эта технология применяется на всех этапах жизненного цикла, от концептуального проектирования до обслуживания изделия. В отличие от физического макета, создаваемого только после выработки требований к изделию и организации производства, виртуальный макет может быть создан сразу после того, как заданы основные требования к изделию. Благодаря этому становится возможным проводить процессы верификации и разработки параллельно, что ведет к сокращению числа ошибок. Проектирование в виртуальной реальности позволяет дополнительно обратить особое внимание на такие стороны продукта, как эргономика, расположение рабочих органов и блоков, проектирование инструментария, удобство обслуживания.

Среди преимуществ использования технологий виртуальной реальности выделяют следующее:

- ◆ задействован спектр рецепторных систем человека: визуальной, аудиальной, кинестетической. За счет этого осуществляется согласованный процесс передачи информации по нескольким каналам одновременно;

- ◆ полностью погрузиться в созданную среду;
- ◆ интерактивно закрепляются полученные знания и усвоенные навыки.

Проектирование в виртуальной реальности обладает следующими преимуществами перед бумажным и «мониторным»:

а) больше площадь для проектирования по сравнению с мониторами, даже если их будет больше одного. К тому же, в последнем случае существенно увеличиваются затраты на оборудование: мониторы, кабели, контроллеры и прочее;

б) окна на VR-сцене обладают свойством интерактивности, с ними можно взаимодействовать – перемещать, сворачивать, разворачивать, добавлять, убирать, вводить и выводить данные – и настроить так, чтобы они обновлялись в режиме реального времени;

в) проектировщик работает в трехмерном пространстве, в то время как бумага и монитор предоставляют только двумерное.

Проблемами интеграции промышленных прикладных программ САПР (ПП САПР [9–13]) с технологиями виртуальной реальности более чем два десятилетия занимаются многие ведущие зарубежные и российские университеты и компании. Далее по тексту представлен обзор известных работ.

В статье [14] автор предлагает фреймворк для виртуальной сборки, связывающий элементарные логические сборочные шаги и изменения геометрического состояния сцены. Используемая в нем модель, основанная на фреймворке знаний, состоит из соединяемых частей (портов, *ports*) и видов соединений (*connections*), а также их таксономий из более чем 20 понятий. Алгоритмы сборки на системном этапе, излагаемые на естественном языке, обеспечивают более абстрактный уровень моделирования. При этом структура одного и того же соединения применяется как в процессе сборки, так и в разборке. Однако авторы работы не учитывают операции, для которых могут предназначаться два инструмента одновременно или настраиваемые устройства (например, паяльная станция).

В статье [15] авторы разработали модель данных для обмена между VR и ПП САПР. Модель представляет собой промежуточное звено, включающее элементы визуализации и порты ввода, вывода. Модель имеет дерево построения и граничное представление (Boundary Representation, B-Rep). В модель заключен принцип жесткого именования (*persistent naming*) элементов граничного представления, исключающий неоднозначности при обновлении дерева построения. Мультимаркировка (*Multi-labelling*) с помощью меток имеет следующий формат:

*NAME (ID\_skel, ID\_op )* или *NAME (ID\_op)*,

где *NAME* – название метки, *ID\_op* – идентификатор операции, *ID\_skel* – идентификатор родительского B-Rep-элемента.

Такой формат позволяет более полно представить дерево построения. Благодаря такой модели нет необходимости переводить 3D-сборку из одного формата в другой для ее визуализации в VR. Однако данная модель не учитывает физические параметры 3D-объектов (масса, материал и т.д.).

В статье [16] авторы предложили интеграцию ПП САПР и VR на основе языка моделирования VRML. Модель интеграции основана на кроссплатформенном обеспечении (VRML, XML, Java). VRML-модели, получаемые преобразованием 3D-сборок в ПП САПР, хранятся в собственной базе данных, свойства моделей хранятся в отдельной базе данных, конфигурацииборок ПП САПР описаны на XML-языке. Специалист имеет возможность взаимодействовать с моделью в виртуальной реальности, меняя атрибуты элементов сборки (материал, внешний вид и др.) и ее конфигурацию. При этом отсутствие математического описания модели в работе затрудняет оценку степени масштабируемости, а также авторы не рассмотрели случаи изменений 3D-сборок.

Таким образом, нет известных алгоритмов по интеграции виртуальных прототипов, учитывающих эргономические параметры 3D-сборок и совместимых с отечественным ПП САПР, а также алгоритмов позволяющих собирать конструкторскую, технологическую и эксплуатационную информацию по 3D-сборке для использования в виртуальной реальности в решении задачи по оценке эргономики; поэтому целью работы является

разработка и реализация (как программного интегратора) модифицированного алгоритма интеграции прикладного программного обеспечения САПР (на примере системы управления жизненным циклом изделия ЛОЦМАН:PLM) с виртуальной площадкой проектирования (на примере Unity 3D). Алгоритм отличается блоком поиска окружения сборки *api.getinfo*, позволяющим агрегировать конструкторскую, технологическую и эксплуатационную информацию и поместить ее в запрос на извлечение в графический репозиторий 3D-сборки. Интегратор используется специалистом в виртуальной реальности в оценке эргономических параметров изделия.

**Постановка задачи.** Широко известной задачей твердотельного моделирования является задача по интеграции виртуальных прототипов (3D-сборок), включающей цифровое представление изделия и имеющей -класс сложности. Цифровое представление изделия отражает пространственное взаимодействие компонентов и позволяет оценивать работоспособность конструкции в автоматизированном проектировании аппаратно-программных средств сложных изделий.

Следует отметить, что последующая формализация задачи в работе необходима для понимания того, как можно сократить затраченное время специалистом на оценку эргономических характеристик изделия, поэтому начальные данные, необходимые для решения задачи, описаны в формате Хоара [21] на теоретико-множественном языке, а именно:

$$3D\_assembly = (DesignBegin \bowtie DesignBody \bowtie DesignEnd) \vee ErgonomicEstimate,$$

где *DesignBegin* – старт проекта;

*DesignBody* – тело проекта;

*DesignEnd* – завершение проекта;

*ErgonomicEstimate* – интегральная величина затраченного времени специалистом на оценку параметров эргономики по 3D-сборке,

*ErgonomicEstimate*  $\rightarrow min$ , где *min* – минимальное значение;

$\vee$  – логический оператор «И»;

$\bowtie$  – композиция членов выражения.

Суть постановки задачи сводится к следующему для того, чтобы на этапе конструкторского проектирования до создания физического макета параллельно проводить процессы выявления ошибок и создания структуры (конструкции), что ведет к сокращению сроков, надо обратить внимание на эргономику 3D-сборок в виртуальной реальности, т.е. на расположение рабочих органов и блоков, проектирование инструментария, удобство обслуживания и прочее; поэтому необходимо обнаружить ошибки конструкторского, технологического и эксплуатационного характера в 3D-сборке по полученным через интерфейсы данным и метаданным от прикладным программным средствам САПР, и для этого надо модифицировать известный алгоритм интерфейсного взаимодействия прикладных средств САПР. Такая модификация будет расширять функционал и выполнять поиск и извлечение конструкторской, технологической и эксплуатационной информации (метаданных, данных и др.).

Указанное расширение функционала интеграции можно представить функцией *Find\_Extraction*, а именно:

$$[Value_n] = Find\_Extraction[3D\_assembly, Interface],$$

где  $\{Value_n\}$  – множество из данных по конструкторской, технологической и эксплуатационной документации по 3D-сборке, где  $n \in \mathbb{N}$ ,

$$BodyTree \cup BuildProcedure \cup Relation \cup Technology \cup Use \subseteq \{Value_n\},$$

где *BodyTree* – дерево построения 3D-сборки в прикладных программах САПР,

$$BodyTree \in \{\text{эскиз, деталь, сборка,}$$

фронтальная проекция, горизонтальная проекция, профильная проекция, ... \};

$$BuildProcedure = Logic \cup 3d,$$

где *Logic* = {И, ИЛИ, НЕ, ...} – базис из логических операций «И», «ИЛИ» и «НЕ»,

*3d* = {выдавливание, вращение, построение по траектории, ...} – базис из проектных процедур;

*Relation* = {соосность, параллельность, перпендикулярность, касание, ...} – набор отношений расположения элементов конструкции изделия;

*Technology* = {маршрут, нормы времени, требования по ресурсам, ...} – характеристики технологического процесса изготовления изделия;

*Use* = {технические условия, руководство по эксплуатации, ...} – описание эксплуатационной документации по изделию;

*Interface*  $\in \{PLM, CAD, CAM, CAE, \dots\}$  – множество из программных интерфейсов по работе с соответствующими средствами САПР: PLM-, CAD-, CAM, CAE-системами.

«...» обозначает масштабируемость множества.

Таким образом, для решения поставленной задачи необходимо при соблюдении условия *ErgonomicEstimate* = *min* разработать функцию *Find\_Extraction*, являющуюся модификацией алгоритма интеграции, реализовать модифицированный алгоритм интеграции, провести вычислительные эксперименты и оценить результаты.

**Модифицированный алгоритм интеграции.** ЛОЦМАН:PLM [17, 18] представляет собой отечественную систему управления жизненным циклом изделий, позволяющую решать задачи с учетом специфики любого проектно-промышленного предприятия. Базовыми функциями являются управление данными об изделии, документами, структурой, конфигурацией изделия. Прикладные модули ЛОЦМАН:PLM позволяют решать задачи в процессах технологической подготовки производства, управления изменениями конструкторской и технологической документации. Инструменты разработки API и SDK, предоставляемые с системой, позволяют настраивать и масштабировать ее функционал в соответствии с требованиями предприятий. Электронное описание изделия в ЛОЦМАН:PLM организовано в виде совокупности взаимосвязанных информационных объектов, состоящих из множества атрибутов и файлов, описывающих характеристики изделия, его конструкцию, технологию изготовления и другие сведения на всех стадиях его жизненного цикла. ЛОЦМАН:PLM позволяет взаимодействовать не только с продуктами компании АСКОН, но и с различными сторонними прикладными программами, такими как SolidWorks, AutoCAD, Altium Designer, Delta Design.

Далее на рис. 1 приведена структурная схема обмена сведениями между акторами процесса интеграции. Интегратор подключается к серверу ЛОЦМАН:PLM и получает доступ к программному интерфейсу (API) и базе данных (БД) системы. С помощью API он производит поиск объектов в БД, имеющих тип «3D-модель сборки». Для каждого из найденных объектов интегратор находит привязанные к ним файлы, считывает их и сохраняет в графическом репозитории. Сам процесс интеграции представлен в виде UML-диаграммы последовательности на рис. 2.

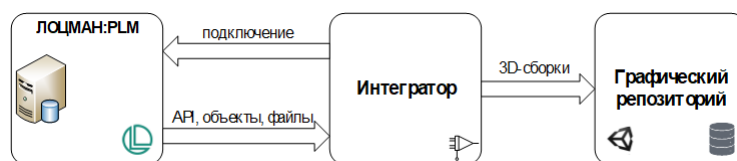


Рис. 1. Обмен

Модифицированный алгоритм извлечения 3D-сборок приведен на рис. 3., в котором вставлен новый блок *api.getinfo*, являющийся реализацией *Find\_Extraction* и расширением функционала алгоритма.

Далее по работе описан процесс интеграции в теоретико-множественном описании с листингами исходного кода.

Интегратор подключается к базе данных ЛОЦМАН:PLM следующим образом:

$$CONNECT: DATA \rightarrow LOODSMAN \cup API,$$

где  $DATA = \{DBName, LoodsmanConnection\}$  – параметры подключения;

*DBName* – имя базы данных;

*LOODSMAN* – база данных ЛОЦМАН:PLM;

*API* – программный интерфейс (API) ЛОЦМАН:PLM.



Рис. 2. Взаимодействие акторов (Интегратор, ЛОЦМАН:PLM, Графический репозиторий) в процессе интеграции

Подключение интегратора реализовано в листинге 1.

```

var temp = Type.GetTypeFromCLSID(Guid.Parse(
    "044259A0-FEAE-4B55-B6FE-E9B024FCCD4B"));
ILoodsmanConnection connection =
    Activator.CreateInstance(temp) as ILoodsmanConnection;
int code = 0; string msg = "";
string stDBName = "demo_22";
connection.API8.UniConnect(stDBName, "");
Console.WriteLine("Подключение успешно...");
var api = connection.API8;
api.RunMethod("SetFormat", new object[] { "", code, msg });
    
```

Листинг 1. Подключение интегратора к ЛОЦМАН:PLM

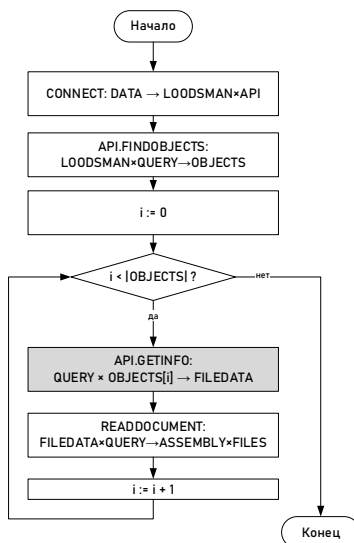


Рис. 3. Модифицированный алгоритм поиска и извлечения 3D-сборок в ЛОЦМАН:PLM

В базе производится поиск 3D-сборок [18]:

$$API.FINDOBJECTS: LOODSMAN \times QUERY \rightarrow OBJECTS,$$

где  $QUERY = (Type, Product, Version, State, AttrCondition, Projects, Link)$  – параметры запроса,  $ObjectType = \{ "3D - модель сборки" \}$ ,  $Product = ""$ ,  $Version = ""$ ,  $State = \emptyset$ ,  $AttrCondition = \emptyset$ ,  $Projects = ""$ ,  $Link = ""$ ;

$OBJECTS = \{ OBJECT_i \}$  – объекты, соответствующие запросу,

$OBJECT_i = (id, type, product, version, state, document, access, locked | id \in \mathbb{N}, document \in \{0,1\}, access \in \{1,2,3\}, locked \in \{0,1,2\})$ .

Поиск 3D-сборок реализован в листинге 2.

```
var link = api.RunMethod("FindObject", new object[] {
    "3D-модель сборки", "", "", "", "", "", "", code, msg });
DataProvider.DataSet ds = DataParse(link);
```

Листинг 2. Поиск 3D-сборок в ЛОЦМАН:PLM

Далее в блоке для каждой сборки по идентификатору версии осуществляется поиск и извлечение конструкторской, технологической и эксплуатационной информации (прикрепленных файлов, метаданных и др.):

$$API.GETINFO: QUERY \times OBJECTS[i] \rightarrow FILEDATA,$$

где  $OBJECTS[i] \in OBJECTS$ ;

$QUERY = \{ DocumentID \}$  – параметры запроса,

$DocumentID$  – уникальный номер 3D-сборки, или версии документа;

$FILEDATA = \{ FILE_i \}$  – данные о прикрепленных файлах,

$FILE_i = (id, file, name, localname, creationdate, size, readonly, crc, modified | id = DocumentID, file \in \mathbb{N}, size \in \mathbb{N}, readonly \in \mathbb{N}, crc \in \mathbb{N})$ .

Получение информации о 3D-сборке реализовано в листинге 3.

```
var fileversion = api.RunMethod(
    "GetInfoAboutVersionsFiles", new object[] {
    Int32.Parse("" + ds.FieldValue[ds.FieldName[i]]), code, msg });
DataProvider.DataSet filedata = DataParse(fileversion);
```

Листинг 3. Получение данных о 3D-сборке

По полученным параметрам выгружается файл 3D-сборки [18]:

$$READDOCUMENT: FILEDATA \times QUERY \rightarrow ASSEMBLY \cup FILES,$$

где  $QUERY = \{ VersionID, DocumentID, Linktype, Name, LocalName, Mode, Type \}$  – параметры запроса,

$VersionID$  – номер версии документа,

$DocumentID$  – номер документа в объекте,

$Linktype$  – тип связи,

$Linktype = "Документы"$ ,

$Name$  – имя документа,

$LocalName$  – локальное имя документа,

$Mode$  – режим получения файла,

$Mode = 0$ ,

$Type$  – тип документа,  $Type = 43$ ;

$ASSEMBLY$  – исходный файл 3D-сборки;

$FILES$  – дополнительные файлы, загружаемые с 3D-сборкой (детали, вложенные сборки, чертежи, спецификации).

Чтение и выгрузка файла 3D-сборки реализовано в листинге 4.

```
int res = loadsmanIntegrator.Connect(
"SRV-ASCON-APP1", "demo_22", 0, "", "");
byte[] _doc = loadsmanIntegrator.ReadDocument(
    ds.FieldName[i].ToString(),
    filedata.FieldValue["_ID_DOCUMENT"],
    "Документы",
    filedata.FieldValue["_NAME"] as string,
    filedata.FieldValue["_LOCALNAME"] as string,
    0,
    43);
File.WriteAllText(filedata.FieldValue["_NAME"] +
"_log.txt", ObjectToString(_doc));
string destination = @"3D-сборки/" +
filedata.FieldValue["_NAME"] + "/";
if (!Directory.Exists(destination))
Directory.CreateDirectory(destination);
// предварительно создаем папки для вспомогательных файлов...
List<string> dirs = new List<string>
(Directory.GetDirectories(buffer));
while (dirs.Count != 0)
{
    List<string> newDirs = new List<string>();
    foreach (var _dir in dirs)
    {
        Directory.CreateDirectory(destination +
        _dir.Substring(buffer.Length));
        newDirs.AddRange(Directory.GetDirectories(_dir));
    }
    dirs = newDirs;
}
// ...и перемещаем их...
List<string> files = new List<string>
(Directory.GetFiles(buffer, "*", SearchOption.AllDirectories));
foreach (var _file in files)
{
    string newPath = destination +
    _file.Substring(buffer.Length);
    if (!File.Exists(newPath))
        File.Copy(_file, newPath);
    System.Security.AccessControl.FileSecurity fs =
    File.GetAccessControl(_file);
    File.Delete(_file);
}
// ...после чего очищаем буфер
dirs = new List<string>(Directory.GetDirectories(buffer));
foreach (var _dir in dirs)
{
    Directory.Delete(_dir);
}
Console.WriteLine("Файл загружен и доступен по адресу:
{0}{1}/{2}", destination,
filedata.FieldValue["_LOCALNAME"], filedata.FieldValue["_NAME"]);
```

Листинг 4. Чтение и сохранение файла 3D-сборки

Полный алгоритм извлечения 3D-сборок в ЛОЦМАН:PLM приведен в листинге 5.

```
// 1) Подключение к ЛОЦМАН:PLM
var temp = Type.GetTypeFromCLSID(Guid.Parse(
"044259A0-FEAE-4B55-B6FE-E9B024FCCD4B"));
ILoodsmanConnection connection =
Activator.CreateInstance(temp) as ILoodsmanConnection;
int code = 0; string msg = "";
string stDBName = "demo_22";
connection.API8.UniConnect(stDBName, "");
Console.WriteLine("Подключение успешно...");
var api = connection.API8;
api.RunMethod("SetFormat", new object[] { "", code, msg });
// 2) Поиск объектов по типу "Сборочная единица"
var link = api.RunMethod("FindObjects", new object[] {
"3D-модель сборки", "", "", "", "", "", "", code, msg });
DataProvider.DataSet ds = DataParse(link);
Integrator loadsmanIntegrator = new Integrator();
while (!ds.EOF)
{
    for (int i = 0; i < ds.FieldCount; i++)
    {
        if (ds.FieldName[i] == "_ID_VERSION") {
// 3) Поиск данных о 3D-сборке
link = api.RunMethod("GetLinkedFast", new object[] {
Int32.Parse("" + ds.FieldValue[ds.FieldName[i]]),
"Документы", true, code, msg });
DataProvider.DataSet linkdata = DataParse(link);
var fileversion = api.RunMethod("GetInfoAboutVersionsFiles",
new object[] { Int32.Parse("" +
ds.FieldValue[ds.FieldName[i]]), code, msg });
DataProvider.DataSet filedata = DataParse(fileversion);
// 4) Чтение файла 3D-сборки
Console.WriteLine("Открывается файл {0}...",
filedata.FieldValue["_NAME"]);
int res = loadsmanIntegrator.Connect("SRV-ASCON-APP1", "demo_22",
0, "", "");
byte[] _doc = loadsmanIntegrator.ReadDocument(
linkdata.FieldValue["_ID_VERSION"].ToString(),
filedata.FieldValue["_ID_DOCUMENT"],
"Документы",
filedata.FieldValue["_NAME"] as string,
filedata.FieldValue["_LOCALNAME"] as string, 0, 43);
Console.WriteLine("Перемещаем файл...");
string destination = @"3D-сборки/" +
filedata.FieldValue["_NAME"] + "/";
if (!Directory.Exists(destination))
Directory.CreateDirectory(destination);
// предварительно создаем папки для вспомогательных файлов...
List<string> dirs =
new List<string>(Directory.GetDirectories(buffer));
while (dirs.Count != 0)
{
```

```

        List<string> newDirs = new List<string>();
        foreach (var _dir in dirs)
        {
            Directory.CreateDirectory(destination
+ _dir.Substring(buffer.Length));
            newDirs.AddRange(Directory.GetDirectories(_dir));
        }
        dirs = newDirs;
    }
    // ...и перемещаем их...
    List<string> files = new List<string>
(Directory.GetFiles(buffer, "*", SearchOption.AllDirectories));
    foreach (var _file in files)
    {
        string newPath = destination + _file.Substring(buffer.Length);
        if (!File.Exists(newPath))
            File.Copy(_file, newPath);
        System.Security.AccessControl.FileSecurity fs =
        File.GetAccessControl(_file);
        File.Delete(_file);
    }
    // ...после чего очищаем буфер
    dirs = new List<string>(Directory.GetDirectories(buffer));
    foreach (var _dir in dirs)
    {
        Directory.Delete(_dir);
    }
    Console.WriteLine("Файл загружен и доступен по адресу:
{0}{1}/{2}",destination, filedata.FieldValue["_LOCALNAME"],
filedata.FieldValue["_NAME"]);
    }
}
ds.Next();
}

```

Листинг 5. Извлечение 3D-объекта в ЛОЦМАН:PLM

**Вычислительные эксперименты.** Далее описаны проведенные вычислительные эксперименты с модифицированным алгоритмом, оценивающие сокращение затраченного времени на построение, оценку и правку 3D-сборок. Замеры затраченного времени без/с применение модифицированного алгоритма приведены в табл. 1 (единицы измерения времени – это часы), а примеры 3D-сборок, интегрированные в виртуальную реальность – на рис. 4 и 5.

Таблица 1

Замеры затраченного времени по вычислительным экспериментам

|                                 | Построение, ч. | Оценка, ч. | Правка, ч. | Сумма, ч. |
|---------------------------------|----------------|------------|------------|-----------|
| Без модифицированного алгоритма | 72             | 19         | 7          | 98        |
| С модифицированным алгоритмом   | 72             | 9          | 7          | 88        |

Из таблицы взяты суммы по затраченному времени без применения модифицированного алгоритма 98 (часов) и с применением модифицированного алгоритма 88 (часов) соответственно для расчета сокращения сроков  $\eta$ :

$$\eta = \frac{88 \text{ (часов)}}{98 \text{ (часов)}} \approx 0,9.$$

Таким образом, вычислительные эксперименты показали уменьшение затраченного времени на 10 % (на 1,25 рабочих дня) по сравнению с применением алгоритма без нового блока поиска окружения сборки *api.getinfo*.

Также следует отметить то, что новый блок в модифицированном алгоритме дополняет 3D-сборку описанием по конструированию, технологии изготовления и рекомендациям по эксплуатации, которое важно при оценке специалистом эргономических характеристик (расположения рабочих органов и блоков, проектирования инструментария, удобства обслуживания и др.) в виртуальной реальности.

В ходе выполнения экспериментов в работе для визуализации 3D-сборок использовалась среда разработки сцен Unity 3D [19]. По причине того, что она загружает ограниченное число форматов трехмерных объектов, то требуется преобразовать сборку в один из читаемых форматов. Процесс преобразования 3D-сборок выглядит следующим образом: 1) открыть 3D-сборку в КОМПАС-3D; 2) выбрать команду меню «Файл» → «Экспорт» и выбрать формат ACIS (\*.sat); 3) экспортированную сборку открыть в программе CAD Exchanger Lab [20]; 4) выбрать команду меню «Export» → FBX; 5) если остались непреобразованные сборки, перейти к шагу 1.

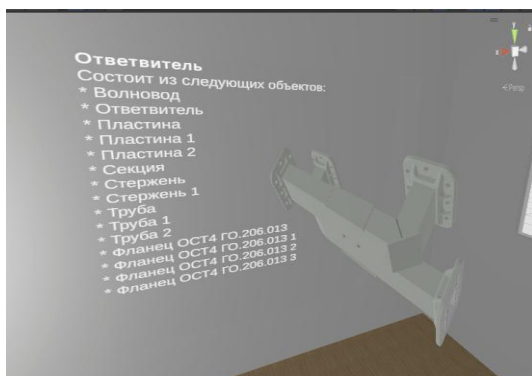


Рис. 4. Пример 3D-сборки «Ответвитель» в виртуальной реальности

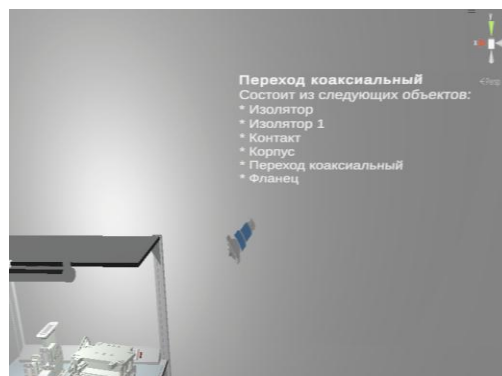


Рис. 5. Пример 3D-сборки «Переход коаксиальный» в виртуальной реальности

**Заключение.** Работа вносит вклад в решение одной из важнейших задач проектирования виртуальных прототипов – цифровое представление изделия, отражающее пространственное взаимодействие компонентов и позволяющее оценивать работоспособность конструкции.

В статье решена поставленная задача и представлена реализация функции *Find\_Extraction* в виде нового блока *api.getinfo* в структурной схеме модифицированного алгоритма поиска и извлечения 3D-сборок в ЛОЦМАН:PLM.

За счет применения модифицированного алгоритма в конструкторском проектировании аппаратно-программных средств сложных изделий сокращение затраченного времени на построение, оценку и правку 3D-сборок было уменьшено на 10% (на 1,25 рабочих дня). Кроме этого, выполнена реализация алгоритма, и создан интегратор, который внедрен в процесс обучения по программам повышения квалификации (подготовки, переподготовки) рабочих по следующим профессиям: радиомонтажник, слесарь-сборщик и регулировщик радиоэлектронной аппаратуры и приборов в АО «Ульяновский механический завод».

Дальнейшие исследования связаны с верификацией операций специалиста в автоматизированном проектировании аппаратно-программных средств сложных изделий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вигер И. Виртуальная реальность в промышленности // Control Engineering Россия. – 2016. – № 65 (5). – С. 69-71.
2. «Цари океанов». Документальный фильм. – URL: <https://www.1tv.ru/doc/pro-armiyu/cari-okeanov-dokumentalnyy-film-2023-07-30> (дата обращения: 30.03.2026).
3. Энергетика. Взаимовыгодное партнерство. – URL: <https://smotrim.ru/video/2514667> (дата обращения: 30.03.2026).
4. Специальный репортаж «Как работает оборонно-промышленный комплекс в авиационной сфере?». Смотрите вверх. – URL: <https://smotrim.ru/video/2457196> (дата обращения: 30.03.2026).
5. Россия 24. «Первый экзамен. Как проходят швартовные испытания на атомном ледоколе». – <https://smotrim.ru/video/2804110> (дата обращения: 30.03.2026).
6. Технология „Индустрия 4.0”: как VR/AR помогает снижать влияние человеческого фактора в промышленности // Connect WIT. – <https://www.connect-wit.ru/category/magazine/connect-wit/connect-wit-2019-10-connect-wit> (дата обращения: 30.03.2026).
7. Виртуальное прототипирование в машиностроении // Connect WIT. – <https://www.connect-wit.ru/category/magazine/connect-wit/connect-wit-2019-10-connect-wit> (дата обращения: 30.03.2026).
8. Реализация VR в строительстве // Connect WIT. – <https://www.connect-wit.ru/category/magazine/connect-wit/connect-wit-2019-10-connect-wit> (дата обращения: 30.03.2026).
9. Ильин В.Н. Автоматизация схемотехнического проектирования. – М.: Радио и связь, 1987. – 368 с.
10. Россия 24. «Цифровые сотрудники. Как нейросети меняют бизнес». – <https://smotrim.ru/video/2663482> (дата обращения: 30.03.2026).
11. Официальная презентация КОМПАС-3D v25. – <https://kompas.ru/online/> (дата обращения: 30.03.2026).
12. Россия 24. «Причиной аварии межпланетной автоматической станции "Луна-25" стала нештатная работа корректирующего двигателя...». – [https://smotrim.ru/video/2668991?utm\\_source=internal&utm\\_medium=serp&utm\\_campaign=serp](https://smotrim.ru/video/2668991?utm_source=internal&utm_medium=serp&utm_campaign=serp) (дата обращения: 30.03.2026).
13. Россия 24. «Покорители Арктики. Как строят самые мощные атомоходы». – <https://smotrim.ru/video/2885474> (дата обращения: 30.03.2026).
14. Jung B. Task-Level Assembly Modeling in Virtual Environments / In: Kumar, V., Gavrilova, M.L., Tan, C.J.K., L'Ecuyer, P. (eds) // Computational Science and Its Applications – ICCSA 2003. ICCSA 2003. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 2669. – Springer, Berlin, Heidelberg. – [https://doi.org/10.1007/3-540-44842-X\\_73](https://doi.org/10.1007/3-540-44842-X_73).
15. Martin P., Masfrand S., Okuya Y., Bourdot P. A VR-CAD Data Model for Immersive Design / In: De Paolis, L., Bourdot, P., Mongelli, A. (eds) // Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics. AVR 2017. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 10324. – Springer, Cham. – [https://doi.org/10.1007/978-3-319-60922-5\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-60922-5_17).
16. Jezernik A., Hren G. A solution to integrate computer-aided design (CAD) and virtual reality (VR) databases in design and manufacturing processes // Int J Adv Manuf Technol. – 2003. – 22. – P. 768-774. – <https://doi.org/10.1007/s00170-003-1604-3>.
17. ЛОЦМАН:PLM. – URL: <https://ascon.ru/products/889/review/> (дата обращения: 30.03.2026).
18. PLM платформа ЛОЦМАН PLM | Группа компаний "ПЛИМ Урал". – URL: <https://www.plm-ural.ru/resheniya/plm-platforma-locman-plm> (дата обращения: 30.03.2026).
19. Unity, платформа разработки в реальном времени | Платформа для 3D-, 2D-, VR- и AR-контента. – URL: <https://unity.com/ru> (дата обращения: 30.03.2026).
20. CAD Exchanger: 3D CAD software to view and convert CAD files. – URL: <https://cadexchanger.com/> (дата обращения: 30.03.2026).
21. Hoare C.A.R. Notes on Data Structuring. In Structured Programming. – Academic Press, New York, 1972. – 83174.

REFERENCES

1. Viger I. Virtual'naya real'nost' v promyshlennosti [Virtual reality in industry], *Control Engineering Rossiya* [Control Engineering Russia], 2016, No. 65 (5), pp. 69-71.
2. «Tsari okeanov». Dokumental'nyy fil'm ["Kings of the oceans". A documentary film]. Available at: <https://www.1tv.ru/doc/pro-armiyu/cari-okeanov-dokumentalnyy-film-2023-07-30> (accessed 30 March 2026).
3. Energetika. Vzaimovygodnoe partnerstvo [Energy. A mutually beneficial partnership]. Available at: <https://smotrim.ru/video/2514667> (accessed 30 March 2026).

4. Spetsial'nyy reportazh «Kak rabotaet oboronno-promyshlennyy kompleks v aviatsionnoy sfere?». Smotrite naverkh [Special report "How does the military-industrial complex work in the aviation sector?". Look up]. Available at: <https://smotrim.ru/video/2457196> (accessed 30 March 2026).
5. Rossiya 24. «Pervyy ekzamen. Kak prokhodyat shvartovnye ispytaniya na atomnom ledokole» [Russia 24. "The first exam. How are the mooring tests on a nuclear icebreaker"]. Available at: <https://smotrim.ru/video/2804110> (accessed 30 March 2026).
6. Tekhnologiya „Industriya 4.0”: kak VR/AR pomogaet snizhat' vliyaniye chelovecheskogo faktora v promyshlennosti [Industry 4.0 technology: How VR/AR helps reduce the impact of the human factor in industry], *Connect WIT*. Available at: <https://www.connect-wit.ru/category/magazine/connect-wit/connect-wit-2019-10-connect-wit> (accessed 30 March 2026).
7. Virtual'noye prototipirovaniye v mashinostroenii [Virtual prototyping in mechanical engineering], *Connect WIT*. Available at: <https://www.connect-wit.ru/category/magazine/connect-wit/connect-wit-2019-10-connect-wit> (accessed 30 March 2026).
8. «Realizatsiya VR v stroitel'stve» ["Implementation of VR in construction"], *Connect WIT*. Available at: <https://www.connect-wit.ru/category/magazine/connect-wit/connect-wit-2019-10-connect-wit> (accessed 30 March 2026).
9. Il'in V.N. Avtomatizatsiya skhemotekhnicheskogo proektirovaniya [Automation of circuit design]. Moscow: Radio i svyaz', 1987, 368 p.
10. Rossiya 24. «Tsifrovyye sotrudniki. Kak neyroseti menyayut biznes» [Russia 24. "Digital employees. How neural networks are changing business"]. Available at: <https://smotrim.ru/video/2663482> (accessed 30 March 2026).
11. Ofitsial'naya prezentatsiya KOMPAS-3D v25 [Official presentation of COMPASS-3D v25]. Available at: <https://kompas.ru/online/> (accessed 30 March 2026).
12. Rossiya 24. «Prichiny avarii mezplanetnoy avtomaticheskoy stantsii "Luna-25" stala neshtatnaya rabota korrektruyushchego dvigatelya...» [Russia 24. "The cause of the accident of the interplanetary automatic station Luna-25 was the abnormal operation of the correction engine..."]. Available at: [https://smotrim.ru/video/2668991?utm\\_source=internal&utm\\_medium=serp&utm\\_campaign=serp](https://smotrim.ru/video/2668991?utm_source=internal&utm_medium=serp&utm_campaign=serp) (accessed 30 March 2026).
13. Rossiya 24. «Pokoriteli Arktiki. Kak stroyat samye moshchnye atomokhody» [Russia 24. "Arctic Explorers. How to build the most powerful nuclear-powered ships"]. Available at: <https://smotrim.ru/video/2885474> (accessed 30 March 2026).
14. Jung B. Task-Level Assembly Modeling in Virtual Environments, In: Kumar, V., Gavrilova, M.L., Tan, C.J.K., L'Ecuyer, P. (eds), *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2003. ICCSA 2003. Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 2669. Springer, Berlin, Heidelberg. Available at: [https://doi.org/10.1007/3-540-44842-X\\_73](https://doi.org/10.1007/3-540-44842-X_73).
15. Martin P., Masfrand S., Okuya Y., Bourdot P. A VR-CAD Data Model for Immersive Design, In: De Paolis, L., Bourdot, P., Mongelli, A. (eds), *Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics. AVR 2017. Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 10324. Springer, Cham. Available at: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-60922-5\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-60922-5_17).
16. Jezernik A., Hren G. A solution to integrate computer-aided design (CAD) and virtual reality (VR) databases in design and manufacturing processes, *Int J Adv Manuf Technol.*, 2003, 22, pp. 768-774. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00170-003-1604-3>.
17. LOTSMAN:PLM [PILOT:PLM]. Available at: <https://ascon.ru/products/889/review/> (accessed 30 March 2026).
18. PLM platforma LOTSMAN PLM | Gruppa kompaniy "PLM Ural" [PLM platform PILOT PLM | PLM Ural Group of Companies]. Available at: <https://www.plm-ural.ru/resheniya/plm-platforma-locman-plm> (accessed 30 March 2026).
19. Unity, platforma razrabotki v real'nom vremeni | Platforma dlya 3D-, 2D-, VR- i AR-kontenta [Unity, a real-time development platform | Platform for 3D, 2D, VR, and AR content]. Available at: <https://unity.com/ru> (accessed 30 March 2026).
20. CAD Exchanger: 3D CAD software to view and convert CAD files. Available at: <https://cadexchanger.com/> (accessed 30 March 2026).
21. Hoare C.A.R. Notes on Data Structuring. In *Structured Programming*. Academic Press, New York, 1972, 83174.

**Войт Николай Николаевич** – АО «Ульяновский механический завод»; email: [n.voit@mail.ru](mailto:n.voit@mail.ru); г. Ульяновск, Россия; тел.: +7906147-65-58; к.т.н.; доцент.

**Voit Nikolay Nikolaevich** – Ulyanovsk Mechanical Plant JSC; e-mail: [n.voit@mail.ru](mailto:n.voit@mail.ru); Ulyanovsk, Russia; phone: +79061476558; cand. of eng. sc.; associate professor.