

УДК: 658.512.26

DOI: [10.26102/2310-6018/2019.27.4.042](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2019.27.4.042)

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ САПР В КОНТЕКСТЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ С РЕШЕТЧАТОЙ СТРУКТУРОЙ

Н.В. Ципина¹, О.Н. Чирков², С.А. Слинчук³, И.С. Бобылкин⁴, Э.И. Воробьев⁵
ФГБОУ ВО «Воронежский Государственный технический университет»,
Воронеж, Российская Федерация

¹e-mail: tcnv@mail.ru

²e-mail: chir_oleg@mail.ru

³e-mail: sslinchuk@gmail.com

⁴e-mail: kivr@vorstu.ru

⁵e-mail: vorob.68@mail.ru

Резюме: В статье проведена оценка характеристик современных систем автоматизированного проектирования в контексте аддитивного производства моделей с решетчатой структурой, отмечены основные недостатки и предложены пути их решения. Цель всего эксперимента состоит в наблюдении за проблемами, с которыми сталкивается пользователь при проектировании решетчатых структур в программном обеспечении САПР. В ходе эксперимента были выбраны три основных параметра и использованы два разных шаблона решетчатой структуры. Спроектированы стержни решетчатых структур с двумя различными сечениями на четыре размера деталей. Выявлено влияние типа и размера решетчатых структур на размеры использованных файлов. Проанализированы применяемые в САПР форматы файлов с учетом требований аддитивного производства моделей. Полученные результаты эксперимента показывают, что существующие пакеты систем автоматизированного проектирования не способны эффективно проектировать и хранить полные модули моделей с решетчатой структурой. Существующие форматы файлов не позволяют осуществлять быстрый обмен данными с программным обеспечением CAE и CAM. Необходимо проводить новые исследования, чтобы определить наиболее надежные и эффективные методы проектирования решетчатых структур в программном обеспечении САПР.

Ключевые слова: аддитивное производство, октет-ферма, кубическая решетчатая структура.

Для цитирования: Ципина Н.В., Чирков О.Н., Слинчук С.А., Бобылкин И.С., Воробьев Э.И. Оценка характеристик современных САПР в контексте проектирования моделей с решетчатой структурой. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2019;7(4). Доступно по: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2019/11/ZipinaSoavtors_4_19_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2019.27.4.042

ESTIMATION OF CAD CHARACTERISTICS IN THE CONTEXT OF DESIGNING MODELS WITH LATTICE STRUCTURE

N.V. Tsipina, O.N. Chirkov, S.A. Slinchuk, I.S. Bobylkin, E.I. Vorobiev
FGBOU VO «Voronezh State Technical University», Voronezh, Russian Federation

Abstract: This article assesses the current characteristics of computer-aided design (CAD) systems in the context of the design of models with a lattice structure. During the design of the experiment, three variables were selected, two lattice structure templates, rods of lattice structures with two different sections and four sizes of parts were designed. The purpose of the whole experiment is to observe the problems that the user encounters when designing lattice structures in CAD software, as well as to determine the effect of the type and size of lattice structures on file sizes and whether modern file formats are suitable for the requirements of additive manufacturing. The obtained experimental results show that it is difficult to design CAD models with a lattice structure, since this process takes a lot of time and creates large files. In some cases, the program could not perform the desired operation. New requirements for the design of parts for additive manufacturing lead to new needs in computer-aided

design. New research is needed to determine the most reliable and efficient methods for designing lattice structures in CAD software.

Keywords: CAD features, additive manufacturing, octet farm, cubic lattice structure.

For citation: Tsipina N.V., Chirkov O.N., Slinchuk S.A., Bobylkin I.S., Vorobiev E.I. Evaluation of cad characteristics in the context of design of additive production. *Modeling, optimization and information technology*. 2019;7(4). Available by: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2019/11/ZipinaSoavtors_4_19_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2019.27.4.042 (In Russ.).

Введение

В эпоху постоянного развития технологического процесса, происходит усовершенствование и производственных технологий. Сегодня одним из приоритетных направлений развития науки технологии и техники является использование аддитивных технологий – послойного создания моделей. Важным элементом в изготовлении аддитивных деталей является применение решетчатых структур. Актуальной остается потребность в эффективном и удобном проектировании деталей, содержащих решетчатые конструкции, с использованием инструментов САД. Новые требования к конструкции деталей для аддитивного производства приводят к новым потребностям в автоматизированном проектировании.

Материалы и методы

Рассмотрим критерии, выбранные для оценки характеристик САПР:

1. Общее количество операций, которые должен выполнить оператор, чтобы спроектировать базовую решетчатую структуру.
2. Общее время, необходимое оператору для проектирования решетчатой структуры.
3. Время, затрачиваемое программным обеспечением САПР для применения и генерации функции копирования.
4. Размер файла САД.
5. Использование ОЗУ в программном обеспечении САЕ и САМ.

Эти критерии используются для оценки рабочих характеристик современных инструментов САПР с точки зрения системы взаимодействия “человек-машина” и обмена данными между САПР, САЕ и САМ для аддитивного производства (Рисунок 1)



Рисунок 1 – Оценка инструментов САПР для аддитивного производства

Figure 1 – Evaluation of CAD tools for additive manufacturing

Выберем два шаблона решетчатой структуры, чтобы увидеть, как программное обеспечение обрабатывает проектирование простых структур, таких как кубические решетчатые структуры, а также более сложных структур, таких как решетчатая структура октета-фермы. Стержни решетчатых структур спроектированы с двумя

различными сечениями, чтобы увидеть, будут ли какие-либо различия в выражениях программного обеспечения и работе оператора программы: квадратное сечение и круглое сечение.

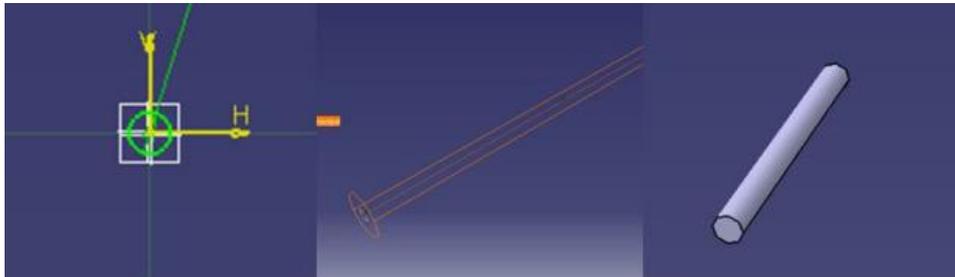


Рисунок 2 – Круглое сечение стержня элементарной решетчатой структуры
Figure 2 – Round section of the core elementary lattice structure

Цель эксперимента – пронаблюдать за проблемами, с которыми сталкивается пользователь при проектировании решетчатых структур в программном обеспечении САПР [1]. В этом эксперименте используется программное обеспечение CATIA. Оно использует те же модели для описания геометрии, что и другое коммерчески доступное программное обеспечение CAD [2]. Поэтому результаты с CATIA будут сопоставимы и будут отражать другие программы САПР, такие как Solidworks и Creo.

Выберем следующие решетчатые конструкции:

1. $5 \times 5 \times 5$ см ($V=125$ см³)
2. $10 \times 10 \times 10$ см ($V=1000$ см³)
3. $15 \times 15 \times 15$ см ($V=3375$ см³)
4. $20 \times 20 \times 20$ см ($V=8000$ см³)

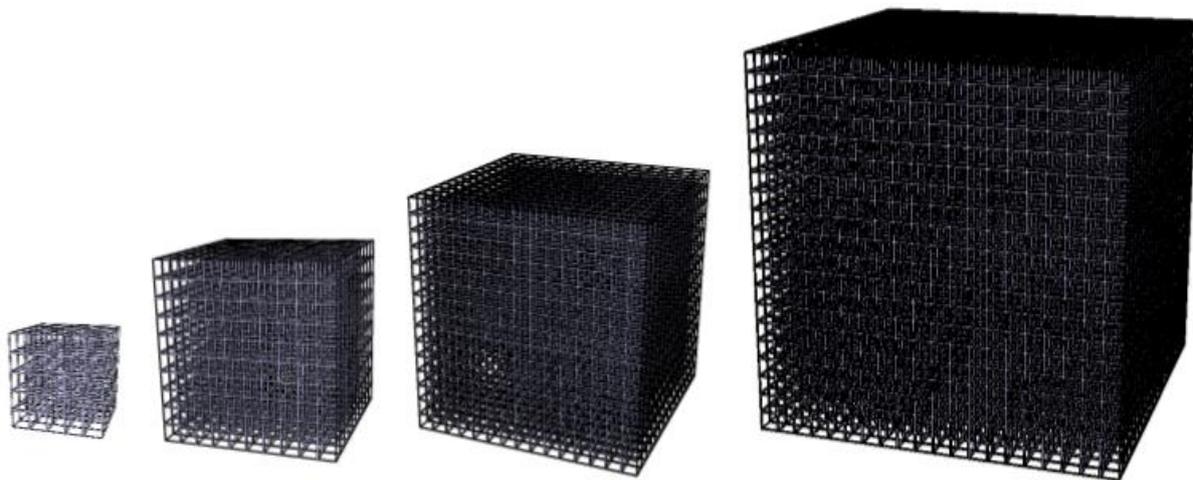


Рисунок 3 – Решетчатые конструкции
Figure 3 – Lattice structures

Всего в CAD программе разработано 19 различных деталей с разными переменными. Создание решётчатой структуры размером $1 \times 1 \times 1$ см требует 91 операцию (Рисунок 4).

Общее время, необходимое для создания структуры решетки октета-фермы размером $10 \times 10 \times 10$ мм, составляет 1 час 35 минут. Базовая структура $10 \times 10 \times 10$ мм решетки должна быть спроектирована вручную шаг за шагом и представлена графически для получения структуры решетки в программном обеспечении CAD. В текущем

программном обеспечении САД нет специальных функций для автоматического создания нужных структур решетки [3].

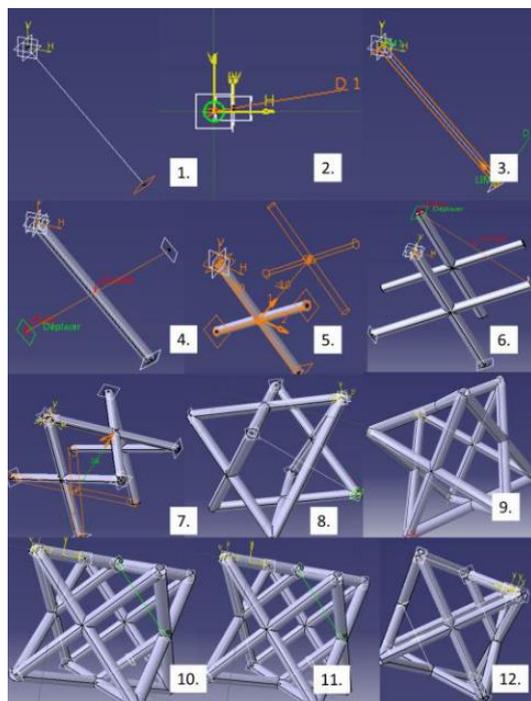


Рисунок 4 – Структуры решетки октета $1 \times 1 \times 1$ см с круглыми сечениями
 Figure 4 – Lattice structures of an octet $1 \times 1 \times 1$ cm with circular sections

Проведено наблюдение за производительностью программного обеспечения при выполнении операций для восьми изученных случаев. В качестве критерия для оценки этой производительности выбрано время, необходимое для применения первого и второго геометрического массива базовой структуры решетки. Каждую операцию течение исследования повторяли три раза и использовали среднее время [4].

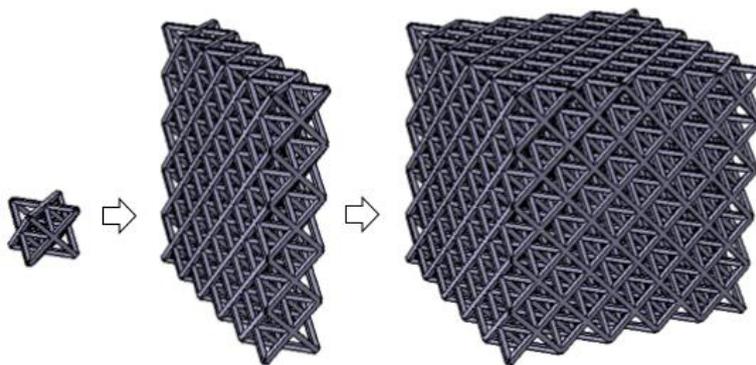


Рисунок 5 – Октет-ферма размером $5 \times 5 \times 5$ см
 Figure 5 – Octet farm $5 \times 5 \times 5$ cm in size

Результаты

Время, необходимое программному обеспечению САПР для генерации и выполнения функции массива, увеличивается линейно с увеличением объема детали (Рисунок 6-7). Таким образом, операции становятся трудоемкими для деталей большого объема. Структура решетки октета-фермы занимает в два-десять раз больше времени,

чем структура кубической решетки при применении функции массива, из-за более высокой площади поверхности по сравнению с кубической структурой решетки.

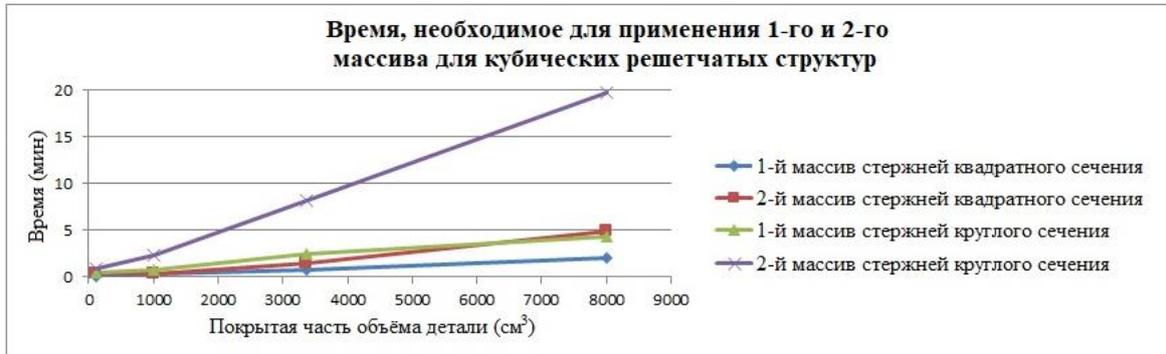


Рисунок 6 – Продолжительность построения кубической структуры решетки
Figure 6 – Duration of construction of the cubic lattice structure

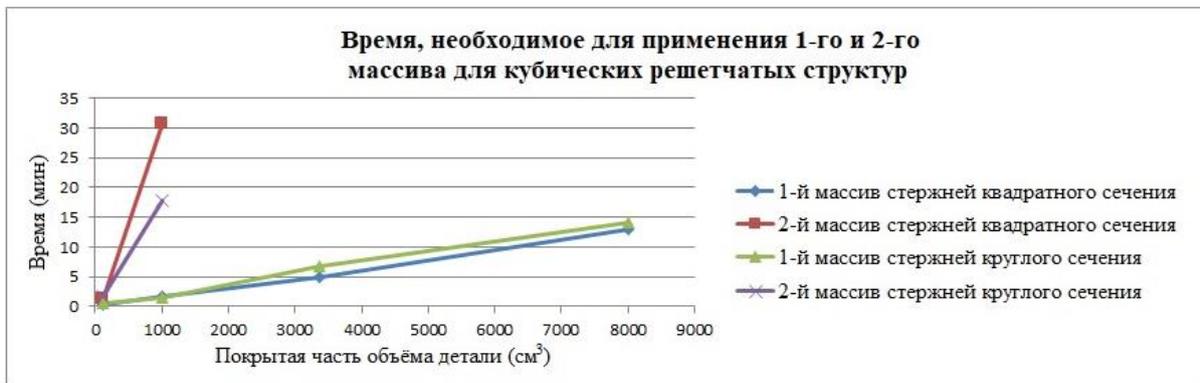


Рисунок 7 – Продолжительность построения структуры решетки октет-ферма
Figure 7 – Duration of construction of the lattice structure of the octet farm

При применении второй функции массива для деталей, начиная с размеров $15 \times 15 \times 15$ см, программа больше не могла успешно ее выполнять, объем оперативной памяти, используемой САД, достиг 2,292 Гб. Программное обеспечение САПР и компьютер не были способны генерировать второй массив для структуры решетки октет-ферма размером более $15 \times 15 \times 15$ см.

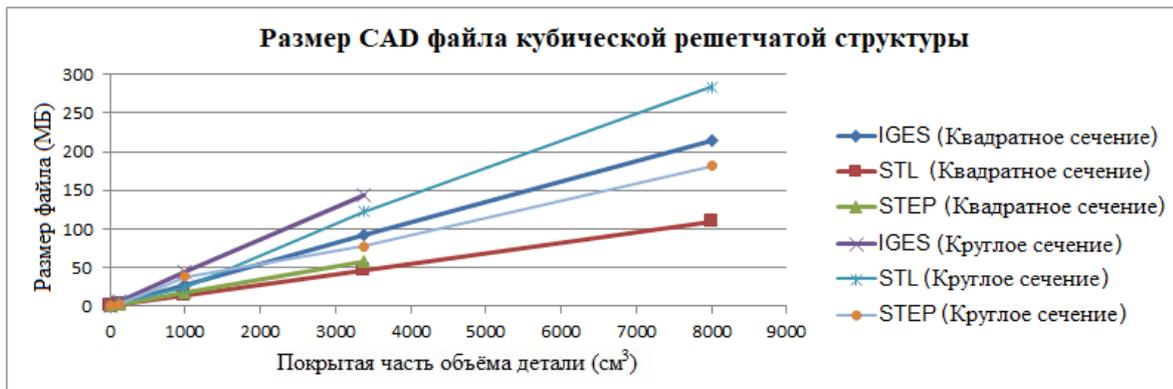


Рисунок 8 – Размер файла кубической решетчатой структуры
Figure 8 – File size of a cubic lattice structure

Второй результат вычисления – размер файлов САПР для каждой детали при экспорте в разные форматы файлов САПР. Детали были экспортированы и сохранены в программном обеспечении САД в различных форматах файлов, таких как IGES, STL и STEP.

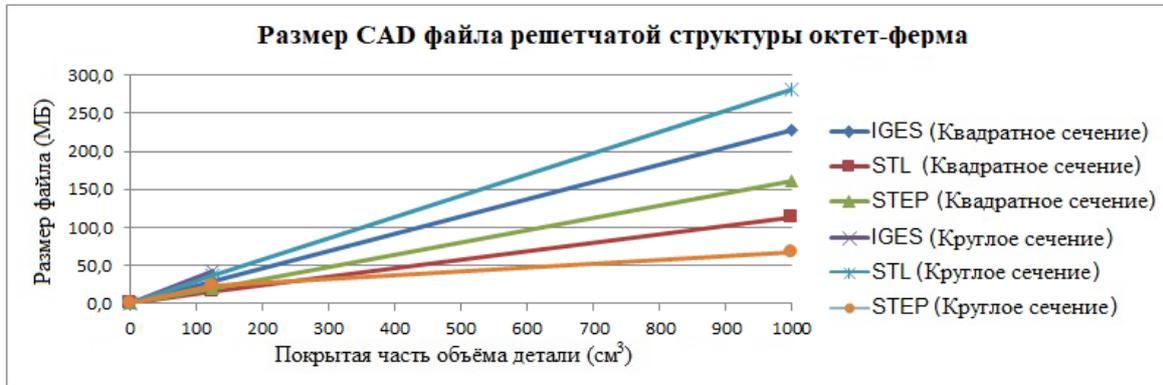


Рисунок 9 – Размер файла решетчатой структуры октет-ферма
Figure 9 – Octet farm lattice file size

Каждый формат файла имеет разные размеры для одной и той же части объема, т. к. каждый формат написан по-своему. Размеры файлов зависят от того, как информация интерпретируется и записывается. Каждый формат файла сохраняет информацию по-своему. Текущие форматы файлов генерируют большие размеры и не подходят для хранения информации о частях решетчатой структуры [5]. Например, формат STL генерирует и хранит информацию о треугольных сетках площади поверхности детали. Поэтому, когда детали содержат большие площади поверхности, файл сильно увеличивается. В настоящее время еще не существует формата файла, который может описывать решетчатую структуру и ее размеры с минимальным набором информации. Например, описание основной элементарной структуры и массива [6].

Был исследован объем оперативной памяти, используемый компьютером для импорта и загрузки файлов в программное обеспечение САД, САМ и САЕ. В качестве программного обеспечения САЕ и САМ выбраны ANSYS и MAGICS соответственно.

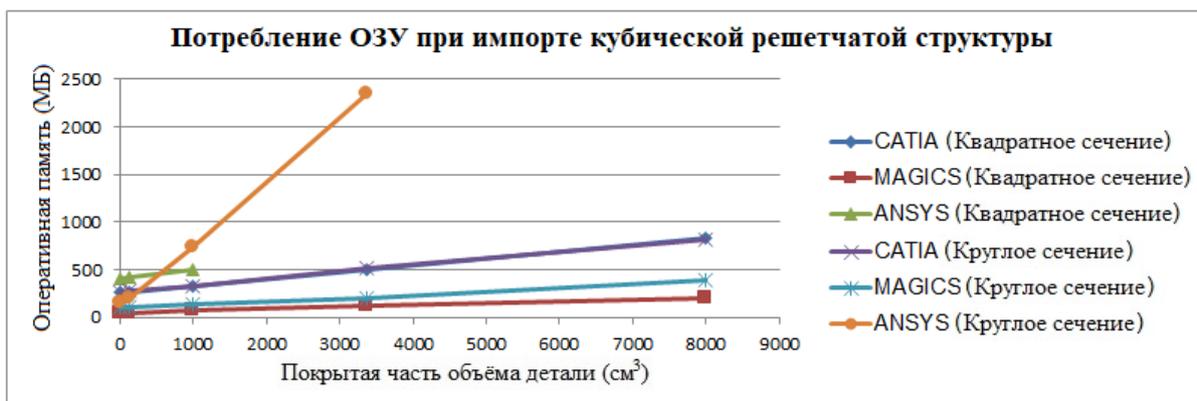


Рисунок 10 – Потребление ОЗУ кубической решетчатой структуры
Figure 10 – Consumption of RAM cubic lattice structure

Пять файлов STL деталей не смогли загрузиться в ANSYS. При загрузке компьютер указал, что программное обеспечение использовало почти 4 ГБ ОЗУ. Для

больших файлов STL и элементов решетчатой структуры CAE не способно обрабатывать информацию и даже загружать части в программное обеспечение. Большие площади поверхности деталей способствуют большому количеству информации, обрабатываемой программой.

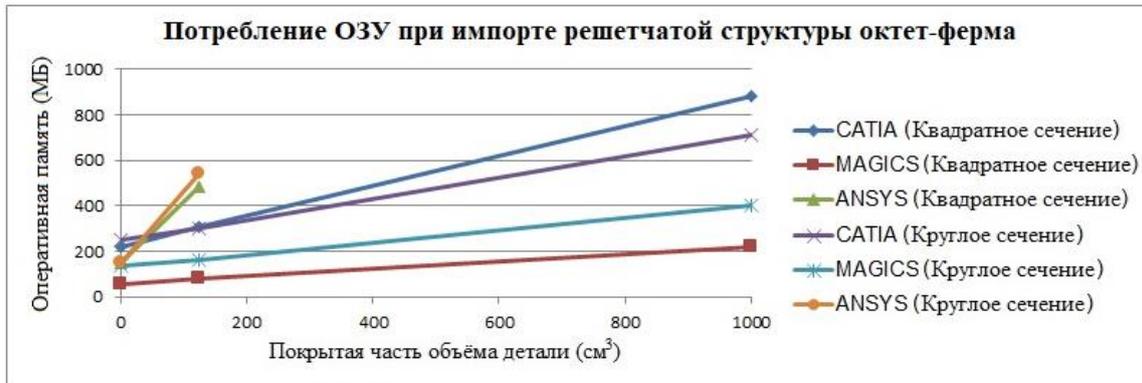


Рисунок 11 – Потребление ОЗУ решетчатой структуры октет-ферма
 Figure 11 – Consumption of RAM lattice structure octet farm

Обсуждения

Текущее программное обеспечение САПР и форматы файлов не способны эффективно проектировать и хранить части решетчатой структуры и не подходят для обмена данными с программным обеспечением CAE и CAM. Полученные результаты показывают, что сложно проектировать модели САПР с решетчатой структурой, поскольку этот процесс занимает много времени и создает файлы больших размеров. Таким образом, это приводит к высокому потреблению ОЗУ и графического процессора [7]. Детали больших объемов оказываются слишком тяжелыми, чтобы компьютер мог манипулировать ими в программах CAD, CAE и CAM. Это связано с большой площадью поверхности решетчатой структуры, которая должна обрабатываться программным обеспечением. В некоторых случаях программа не могла выполнить желаемую операцию. Части решетчатой структуры должны быть нарисованы одна за другой, затем используется функция массива, до тех пор, пока желаемая конструкция не будет достигнута. В совокупности перечисленных проблем пользователь не может быстро и эффективно проектировать обычные решетчатые структуры, процесс аддитивного производства занимает много времени.

Заключение

В настоящее время еще не существует формата файла, который способен полностью описывать решетчатую структуру и её размеры с минимальным набором информации. Современное программное обеспечение САПР не приспособлено к новым, постоянно растущим требованиям для аддитивного производства моделей. Фактические инструменты CAD, CAE и CAM и форматы файлов недостаточны для удовлетворения этих новых потребностей в аддитивном производстве и должны быть заменены. При создании нового формата файлов САПР необходимо учитывать дизайн продукта, требования САПР, CAE и CAM. Необходимо проводить новые исследования, чтобы определить наиболее надежные и эффективные методы проектирования решетчатых структур в программном обеспечении САПР. Например, использование итеративных методик [8, 9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов С.В., Хорошилов В.Н., Ципина Н.В. Методы тестирования и испытаний в системе качества ISO 9000. *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2004;4(4):41–48.
2. Ципина Н.В., Хараджиди Д.А. Комплексное моделирование и оптимизация конструкций в процессе сквозного проектирования. *Проблемы обеспечения надежности и качества приборов, устройств и систем Межвузовский сборник научных трудов*. Воронеж. 2016:8–16.
3. Макаров О.Ю., Турецкий А.В., Ципина Н.В., Шуваев В.А. Комплексное моделирование и оптимизация характеристик в процессе конструкторского проектирования радиоэлектронных средств. *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2015;11(6):100–104.
4. Greul M. Metal and ceramic prototypes using the Multiphase Jet Solidification (MJS) process Metallische und keramische Prototypen mit dem Multiphase jet Solidification (MJS) Verfahren. Fraunhofer IFAM. *Conference on Rapid Tooling & Manufacturing*. 1997.
5. Чирков О.Н., Астрединов Р.К. Многополосный преобразователь частоты OFDM. *Проблемы обеспечения надежности и качества приборов, устройств и систем. Межвузовский сборник научных трудов*. Воронеж. 2018:120–124.
6. Beyer E. New Industrial Systems & Concepts for Highest Laser Cladding Efficiency. Fraunhofer-Institut für Werkstoff und Strahltechnik in LASER CLADDING, LASER MANUFACTURING May 6. 2011.
7. Башкиров А.В., Белицкий А.М., Климов А.И., Науменко Ю.С., Самодуров А.С., Питолин В.М. Архитектурные особенности графических процессоров семейства Radeon и их применения в сфере ресурсоемкого моделирования помехоустойчивых кодеков. *Радиотехника*. 2014;11:15–18.
8. Чирков О.Н., Кузнецова А.О. Итеративная методика помехоустойчивого приема QAM-сигналов. *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2019;15(4):84–88.
9. Чирков О.Н., Ромащенко М.А., Слинчук С.А. Применение методов полуопределенного программирования для решения задачи повышения помехоустойчивости систем OFDM связи. *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2019;15(5):95–100.

REFERENCES

1. Ivanov SV, Khoroshilov VN, Tshipina N.V. Testing and testing methods in the quality system ISO 9000 N.V. // *Bulletin of the Voronezh State Technical University*. 2004;4(4):41–48.
2. Tshipina N.V., Harajidi D.A. Integrated modeling and optimization of structures in the process of end-to-end design. *Problems of ensuring the reliability and quality of instruments, devices and systems Interuniversity collection of scientific papers*. Voronezh. 2016:8–16.
3. Makarov O.Yu., Turetsky A.V., Tshipina N.V., Shuvaev V.A. Integrated modeling and optimization of characteristics in the design process of electronic equipment. *Bulletin of the Voronezh State Technical University*. 2015;11(6):100–104.
4. Greul M. Metal and ceramic prototypes using the Multiphase Jet Solidification (MJS) process Metallische und keramische Prototypen mit dem Multiphase jet Solidification (MJS) Verfahren. Fraunhofer IFAM. *Conference on Rapid Tooling & Manufacturing*. 1997.

5. Chirkov O.N., Astredinov R.K. OFDM Multiband Frequency Converter. *Problems of ensuring the reliability and quality of devices, devices and systems. Interuniversity collection of scientific papers*. Voronezh. 2018:120–124.
6. Beyer E. New Industrial Systems & Concepts for Highest Laser Cladding Efficiency. Fraunhofer-Institut für Werkstoff und Strahltechnik in LASER CLADDING, LASER MANUFACTURING May 6. 2011.
7. Bashkirov A.V., Belitsky A.M., Klimov A.I., Naumenko Yu.S., Samodurov A.S., Pitolin V.M. Architectural features of graphic processors of the Radeon family and their application in the field of resource-intensive modeling of noise-resistant codecs. *Radio Engineering*. 2014;11:15–18.
8. Chirkov O.N., Kuznetsova A.O. An iterative technique for noise-immunity reception of QAM signals. *Bulletin of the Voronezh State Technical University*. 2019;15(4):84–88.
9. Chirkov O.N., Romashenko M.A., Slinchuk S.A. Application of semidefinite programming methods to solve the problem of increasing the noise immunity of OFDM communication systems. *Bulletin of the Voronezh State Technical University*. 2019;15(5):95–100.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

Ципина Наталья Викторовна, канд. техн. наук, доцент, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация.
ORCID: [0000-0001-5688-355X](https://orcid.org/0000-0001-5688-355X)

Natalya V. Tsipina, Cand. Tech. Sciences, Associate Professor, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation.

Чирков Олег Николаевич, старший преподаватель, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация.
ORCID: [0000-0003-2250-2100](https://orcid.org/0000-0003-2250-2100)

Oleg N. Chirkov, Senior Lecturer, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation.

Слинчук Светлана Александровна, канд. техн. наук, доцент, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация.
ORCID: [0000-0002-2261-7699](https://orcid.org/0000-0002-2261-7699)

Svetlana A. Slinchuk, Cand. Tech. Sciences, Associate Professor, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation.

Бобылкин Игорь Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация.
ORCID: [0000-0002-3300-3852](https://orcid.org/0000-0002-3300-3852)

Igor S. Bobylkin, Cand. Tech. Sciences, Associate Professor, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation.

Воробьев Эдуард Игоревич, канд. техн. наук, доцент, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация.

Eduard I. Vorobyov, Cand. Tech. Sciences, Associate Professor, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation.