

СЕКЦИЯ 2. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

DOI: 10.58168/ModInfSys2026_154-161

УДК 004.896

МИКРОСЕРВИСНЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА САПР

В.Э. Буздин, Е.А. Аникеев

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Рассмотрено применение микросервисного подхода к построению программно-аппаратного комплекса САПР электронной компонентной базы. Этапы маршрута проектирования представлены как самостоятельные сервисы, связанные шиной сообщений. Проанализировано распределение вычислительной нагрузки по этапам и показано, что независимое масштабирование наиболее тяжёлого этапа повышает пропускную способность маршрута. Предложена структура взаимодействия сервисов и согласования проектных данных.

Ключевые слова: САПР, микросервисы, маршрут проектирования, электронная компонентная база, программно-аппаратный комплекс, шина сообщений, масштабирование, верификация, проектные данные.

A MICROSERVICE APPROACH TO BUILDING A CAD SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX

V.E. Buzdin, E.A. Anikeev

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The application of the microservice approach to building a CAD software and hardware complex for the electronic component base is considered. The stages of the design route are represented as independent services connected

by a message bus. The distribution of the computational load across the stages is analyzed, and it is shown that independent scaling of the heaviest stage increases the route throughput. A structure for service interaction and project data coordination is proposed.

Keywords: CAD, microservices, design route, electronic component base, software and hardware complex, message bus, scaling, verification, project data.

Введение

Системы автоматизации проектирования (САПР) электронной компонентной базы исторически строились как монолитные программно-аппаратные комплексы: набор тесно связанных модулей маршрута проектирования работает с общим хранилищем и собирается в единую установку. По мере усложнения изделий и роста объёма проектных данных у такой организации проявляются ограничения. Тяжёлые этапы — логическое моделирование, синтез, размещение и трассировка — нельзя масштабировать по отдельности; обновление одного модуля требует переустановки всего комплекса; отказ одного компонента способен остановить весь маршрут. Состав и комплексирование технического обеспечения САПР, а также этапы маршрута проектирования подробно рассматриваются в работах [2, 4, 5].

В разработке прикладного программного обеспечения схожие проблемы решает микросервисная архитектура: систему разбивают на самостоятельные сервисы, которые разрабатываются, развёртываются и масштабируются независимо. Применение этого подхода к комплексу САПР выглядит естественным, поскольку маршрут проектирования уже представляет собой последовательность относительно обособленных этапов с чётко определёнными входами и выходами.

Цель работы — рассмотреть построение программно-аппаратного комплекса САПР на основе микросервисного подхода: представить этапы маршрута проектирования как самостоятельные сервисы, проанализировать распределение вычислительной нагрузки по ним и оценить, какой выигрыш в пропускной способности маршрута даёт независимое масштабирование наиболее тяжёлого этапа.

Маршрут проектирования как объект декомпозиции

Маршрут проектирования электронной компонентной базы включает ряд последовательных этапов: ввод и редактирование схемы, логическое моделирование, логический синтез, размещение и трассировку, верификацию топологии и электрической схемы (контроль проектных норм DRC и сверка топологии со схемой LVS). Каждый этап принимает результат предыдущего, выполняет свою обработку и передаёт результат дальше. Именно эта естественная обособленность этапов и делает маршрут удобным объектом для декомпозиции на сервисы.

Границы сервисов целесообразно проводить по этапам маршрута: за каждым этапом стоит самостоятельный инструмент со своими алгоритмами, форматами данных и требованиями к вычислительным ресурсам. Такое разбиение совпадает с предметной логикой и не создаёт искусственных связей. Отдельно выделяется служба проектных данных, отвечающая за хранение и версионирование проекта, поскольку к данным обращаются все этапы и их согласование требует единой точки ответственности.

Микросервисная архитектура комплекса САПР

Предлагаемая структура комплекса показана на рисунке 1. Пользователь работает через веб-клиент со схемным и топологическим редактором. Запросы проходят через шлюз, который выполняет маршрутизацию и аутентификацию, и попадают на шину сообщений. Этапы маршрута оформлены как отдельные сервисы, обменивающиеся через шину событиями о завершении обработки.

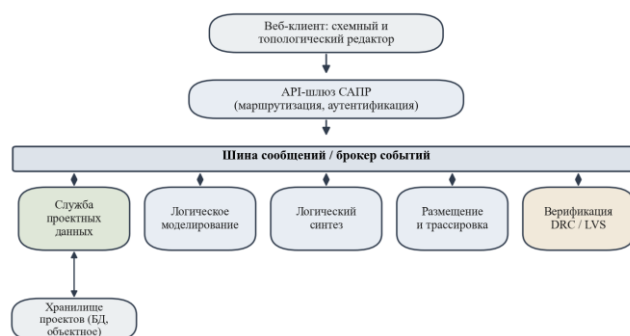


Рисунок 1 – Структура программно-аппаратного комплекса САПР на основе микросервисов

Служба проектных данных владеет хранилищем проекта и предоставляет остальным сервисам доступ к данным через свой интерфейс, а не напрямую.

Состав сервисов и их назначение сведены в таблицу 1. Для каждого сервиса указаны выполняемая функция и характер требований к ресурсам, что важно при размещении сервисов по вычислительным узлам комплекса.

Таблица 1 – Состав сервисов комплекса и их назначение

Сервис	Функция в маршруте	Ресурсы
Проектных данных	Хранение и версионирование проекта	память, диск
Логического моделирования	Проверка функции по схеме	процессор
Логического синтеза	Преобразование в вентильный базис	процессор
Размещения и трассировки	Формирование топологии	процессор, память
Верификации DRC/LVS	Контроль норм и сверка топологии	процессор, память

Такая организация даёт привычные для микросервисов преимущества применительно к САПР: отдельный этап можно обновлять и проверять, не затрагивая остальной маршрут; сбой одного сервиса не обрушивает весь комплекс, а лишь приостанавливает соответствующий этап; наконец, ресурсоёмкие этапы можно размещать на более мощных узлах и запускать в нескольких экземплярах.

Распределение нагрузки и масштабирование

Чтобы понять, какой этап ограничивает производительность маршрута, на учебном наборе проектов измерялось распределение вычислительного времени по этапам (рисунок 2). Наибольший вклад вносит размещение и трассировка — около 35 % времени маршрута, далее следуют синтез и верификация. Именно тяжёлый этап определяет пропускную способность всего маршрута, когда через комплекс проходит поток проектов или вариантов одного проекта.

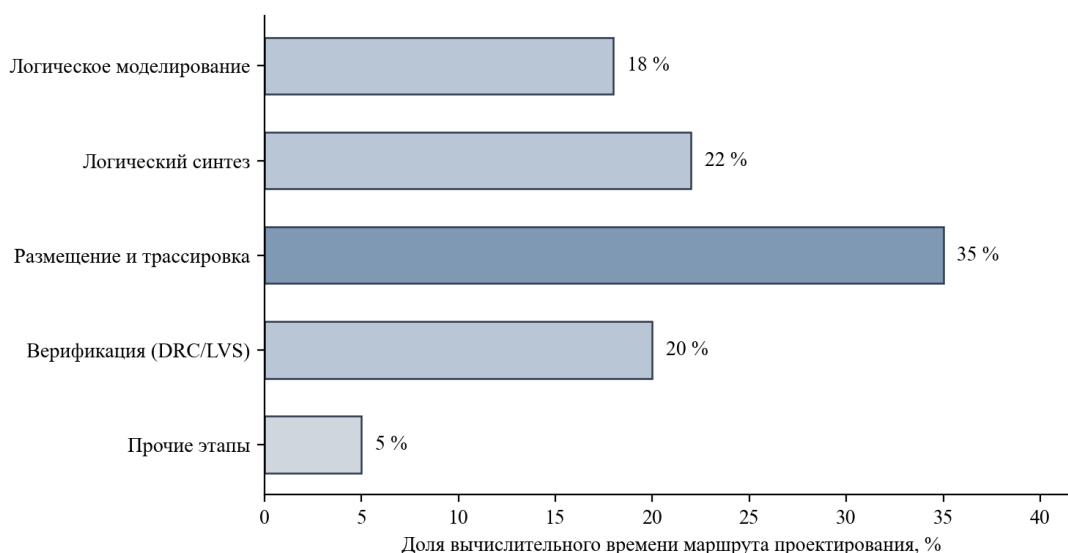


Рисунок 2 – Распределение вычислительного времени по этапам маршрута проектирования

Микросервисный подход позволяет запускать наиболее тяжёлый этап в нескольких экземплярах и обрабатывать проекты параллельно. Если доля времени, приходящаяся на масштабируемый этап, равна f , а число его экземпляров — p , то относительное время обработки потока проектов оценивается по соотношению, аналогичному закону Амдала [1]:

$$T(p) = T_0 \cdot ((1 - f) + f / p) \quad (1)$$

где T_0 — время при одном экземпляре каждого этапа. Из выражения (1) видно, что выигрыш ограничен немасштабируемой частью $(1 - f)$: сколько бы экземпляров тяжёлого этапа ни запускалось, время не опустится ниже доли остальных этапов. Для измеренного значения $f \approx 0,35$ запуск трёх экземпляров этапа размещения и трассировки сокращает время прохождения потока примерно на 23 %, а дальнейшее наращивание даёт всё меньший прирост. Это позволяет осознанно выбирать число экземпляров тяжёлого сервиса, не расходуя ресурсы на масштабирование, которое уже не окупается.

Взаимодействие сервисов и согласование данных

Поскольку этапы маршрута связаны по данным, ключевым вопросом становится организация их взаимодействия. Применяется обмен событиями через шину: завершив обработку, сервис публикует сообщение о готовности результата, а заинтересованный сервис следующего этапа его получает и продолжает маршрут. Такой асинхронный обмен ослабляет связанность: сервисы не вызывают друг друга напрямую и не обязаны быть одновременно доступными. Во-

просы системного моделирования и разработки протоколов информационного взаимодействия блоков в комплексе САПР рассматриваются в работе [3].

Особого внимания требует согласование проектных данных. Все этапы работают с общим проектом, поэтому за его целостность отвечает служба проектных данных: она хранит версии, фиксирует, какой результат каким этапом получен, и не допускает одновременного несогласованного изменения. Это снимает риск «распределённого монолита», когда сервисы формально разделены, но через общее хранилище остаются жёстко связанными. Доступ к данным только через интерфейс владельца сохраняет независимость этапов и делает маршрут прослеживаемым.

Обсуждение

Микросервисное построение комплекса САПР согласуется с самой природой маршрута проектирования и, как и архитектурный анализ прикладных систем [6], даёт практические выгоды: независимое обновление и проверку этапов, устойчивость к отказу отдельного сервиса и возможность масштабировать ресурсоёмкие этапы. Анализ распределения нагрузки и оценка по выражению (1) позволяют направлять ресурсы туда, где они действительно увеличивают пропускную способность, а не равномерно по всем этапам.

Следует учитывать и издержки подхода. Разбиение на сервисы усложняет развёртывание и сопровождение комплекса, добавляет накладные расходы на обмен сообщениями и требует продуманного согласования данных и версий инструментов. Для небольших задач, выполняемых одним проектировщиком, монолитная организация может оставаться проще и эффективнее. Поэтому микросервисный подход оправдан прежде всего для комплексов с потоком проектов, требованиями к масштабированию и частыми обновлениями отдельных этапов.

Заключение

Рассмотрено построение программно-аппаратного комплекса САПР электронной компонентной базы на основе микросервисного подхода. Этапы маршрута проектирования представлены как самостоятельные сервисы, связанные шиной сообщений, с выделенной службой проектных данных. Анализ распределения вычислительной нагрузки показал, что маршрут ограничивается тяжёлым этапом размещения и трассировки, а независимое масштабирование этого

этапа в соответствии с выражением (1) повышает пропускную способность комплекса с понятным пределом выигрыша. Предложенная структура взаимодействия сервисов и согласования данных сохраняет независимость этапов и прослеживаемость проекта, что делает микросервисный подход применимым к построению комплексов САПР.

Список литературы

1. Морозов, Н. Д. Введение в управление микросервисами / Н. Д. Морозов, Д. Д. Романов, К. В. Пугин // Современные проблемы лингвистики и методики преподавания русского языка в ВУЗе и школе. – 2022. – № 40. – С. 689-702. – EDN DMLLTW.

2. Комплексование технического обеспечения в САПР / М. И. Конча, А. С. Мещеряков, М. А. Махиборода [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 4. – С. 39-47. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-18-4-39-47. – EDN CVAQJW.

3. Системное моделирование и разработка протоколов информационного взаимодействия блоков в программно-аппаратном комплексе САПР / К. В. Зольников, Д. В. Шеховцов, М. А. Махиборода [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 2. – С. 53-62. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-18-2-53-62. – EDN XKOLNC.

4. Начальный этап маршрута проектирования в программно-аппаратном комплексе САПР по разработке электронной компонентной базы и радиоаппаратуры / К. В. Зольников, Д. В. Шеховцов, М. А. Махиборода, О. В. Оксюта // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 2. – С. 40-53. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-18-2-40-53. – EDN BQPFDK.

5. Методы разработки электрической принципиальной схемы в программно-аппаратном комплексе системы автоматизации проектирования / К. В. Зольников, Д. В. Шеховцов, М. А. Махиборода [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 3. – С. 52-62. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-18-3-52-62. – EDN MOYIZF.

References

1. Morozov, N. D. Introduction to microservices management / N. D. Morozov, D. N. D. Romanov, K. N. V. N. Pugin // Modern problems of linguistics and methods of teaching Russian in higher education institutions and schools. – 2022. – No. 40. – St. 689-702. – EDN DMLLTW.
2. Integration of technical support in CAD / M. I. Koncha, A. S. Meshcheryakov, M. A. Makhiboroda [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2025. – Vol. 18, No. 4. – pp. 39-47. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-18-4-39-47. – EDN CVAQJW.
3. System modeling and development of protocols for information interaction of blocks in the CAD software and hardware complex / K. V. Zolnikov, D. V. Shekhovtsov, M. A. Makhiboroda [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2025. – Vol. 18, No. 2. – pp. 53-62. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-18-2-53-62. – EDN XKOLNC.
4. The initial stage of the design route in the CAD software and hardware complex for the development of the electronic component base and radio equipment / K. V. Zolnikov, D. V. Shekhovtsov, M. A. Makhiboroda, O. V. Oksyuta // Modeling of systems and processes. – 2025. – Vol. 18, No. 2. – pp. 40-53. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-18-2-40-53. – EDN BQPFDK.
5. Methods for developing an electrical schematic diagram in the software and hardware complex of a computer-aided design system / K. V. Zolnikov, D. V. Shekhovtsov, M. A. Makhiboroda [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2025. – Vol. 18, No. 3. – pp. 52-62. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-18-3-52-62. – EDN MOYIZF.