

УДК 621.865.8:664

Модульность и масштабируемая интеграция как основа ускоренной автоматизации

С.Б. Стесин¹, Р.Б. Ахмедов²¹ ООО «Битроботикс»² Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ

Modularity and scalable integration as the basis for accelerated automation

S.B. Stesin¹, R.B. Akhmedov²¹ Bitrobotics LLC² Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration

Выполнен анализ системных барьеров, препятствующих масштабированию автоматизации производства товаров повседневного спроса (CPG/FMCG) и обоснованию модульного подхода к проектированию робототехнических комплексов как основного условия для перехода от единичных проектов к тиражируемым решениям. Рассмотрены физические, экономические и кадровые ограничения, характерные для отрасли. Предложена концепция глубокой модульности на уровне компонентов рам, конвейеров и программных интерфейсов. Обоснована применимость модели Robotics-as-a-Service для целостных робототехнических ячеек в рамках модульной архитектуры. Показано, что унификация аппаратной части в сочетании с параметрическими программными средствами позволяет сократить цикл реализации проекта в 4–6 раз и расширить доступность автоматизации для малых и средних предприятий.

EDN: LYOETU, <https://elibrary/lyoetu>**Ключевые слова:** промышленная робототехника, CPG/FMCG, системная интеграция, Robotics-as-a-Service, ускоренная автоматизация, кадровый дефицит

This paper analyses the systemic barriers hindering the scaling of automation in consumer packaged goods (CPG/FMCG) manufacturing and substantiates the modular approach to the design of robotic complexes as the key condition for the transition from one-off projects to replicable solutions. Physical, economic and workforce constraints characteristic of the industry are examined. A concept of deep modularity at the level of frame components, conveyors and software interfaces is proposed. The applicability of the Robotics-as-a-Service model for complete robotic cells within a modular architecture is justified. It is shown that hardware unification combined with parametric software tools reduces the project implementation cycle by a factor of 4–6 and extends the accessibility of automation to small and medium-sized enterprises.

EDN: LYOETU, <https://elibrary/lyoetu>**Keywords:** industrial robotics, CPG/FMCG, systems integration, Robotics-as-a-Service, accelerated automation, labour shortage

Промышленная автоматизация в секторе товаров повседневного спроса (CPG — Consumer Packaged Goods, FMCG — Fast Moving Consumer Goods) переживает парадоксальный момент. С одной стороны, технологии — промышленные роботы, машинное зрение, конвейерные системы и адаптивные захваты — достигли уровня зрелости, при котором техническая реализация большинства задач постпроцессинга и упаковки не представляет фундаментальной сложности. С другой стороны, реальный уровень роботизации на участках первичной и вторичной упаковки, паллетирования и операций конца линии (end-of-line) в целом остается низким, особенно за пределами крупнейших транснациональных корпораций. Разрыв между технологической готовностью и фактическим внедрением — одна из центральных проблем отрасли, и ее причины лежат не в робототехнике как таковой, а в архитектуре интеграции.

Цель работы — анализ системных барьеров, препятствующих масштабированию автоматизации в CPG-производствах, и обоснование модульного подхода к проектированию робототехнических комплексов как основного условия для перехода от единичных проектов к тиражируемым решениям.

Рассмотрена модель «Робототехника как услуга» (RaaS — Robotics-as-a-Service) применительно не к отдельным роботам, а к целостным робототехническим ячейкам, а также унифицированные компонентные библиотеки и цифровые среды симуляции в трансформации рынка системной интеграции. Распределение введенных в эксплуатацию в 2024 г. промышленных роботов по основным отраслям промышленности показано на рис. 1 [1].

Проблема масштабируемости на физическом уровне. Стандартное оборудование — нестандартная компоновка. Любой инженер, работавший с упаковочными линиями в пищевой промышленности, подтвердит однородность набора основного оборудования на участке постпроцессинга. Термоформеры, трейсиллеры, горизонтальные флоу-паки и вертикальные упаковщики — этот перечень с незначительными вариациями повторяется от Калининграда до Владивостока, от небольшого регионального мясоперерабатывающего завода до федерального лидера. Казалось бы, стандартизация оборудования должна создавать идеальные условия для стандартизации интеграции. Но на практике происходит обратное.

Компоновка линий — взаимное расположение машин, направления потоков, высоты выходных транспортеров, расстояния между единицами (ед.) оборудования, расположение несущих колонн, инженерных коммуникаций, проходов для персонала — отличается от площадки к площадке настолько радикально, что каждый проект интеграции роботизированной ячейки фактически начинается с чистого листа. Это инженерная реальность, которая определяет экономику всей отрасли.

Сварные конструкции как антитезис гибкости. Традиционный подход к изготовлению несущих рам, порталов, защитных ограждений и конвейерных оснований предполагает сварку из профильной трубы или швеллера. Сварная конструкция проектируется под конкретную компоновку, изготавливается на заказ и, будучи установленной, не допускает значимой модификации без демонтажа и повторного изготов-

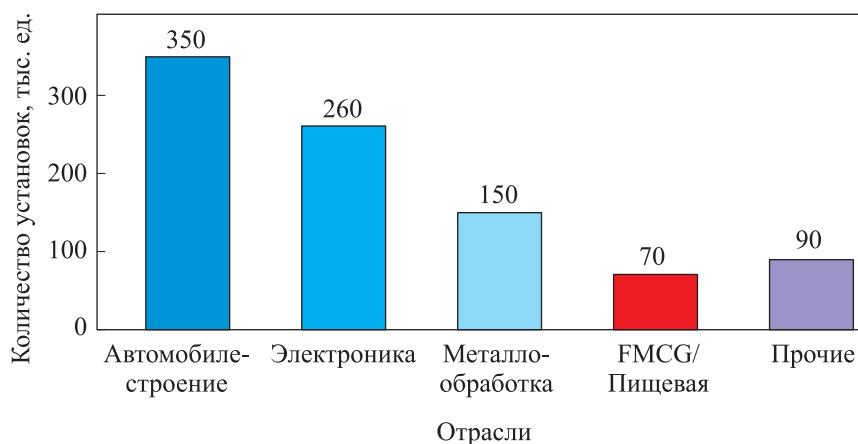


Рис. 1. Распределение введенных в эксплуатацию в 2024 г. промышленных роботов по основным отраслям промышленности

ления. Если через полгода после пуска заказчик меняет формат упаковки, переставляет оборудование или добавляет новую единицу на линию, сварная рама превращается из несущего элемента в препятствие. Ее нельзя укоротить, удлинить, сместить по высоте или изменить угол сопряжения с конвейером без привлечения сварщика, проведения огневых работ и, как правило, без повторной покраски или нанесения покрытия.

Более того, сварные конструкции не поддаются точной повторяемости. Два идентичных по чертежу сварных основания, изготовленных даже на одном предприятии, будут иметь отклонения, обусловленные термическими деформациями. Это означает, что программа робота, отлаженная на одной ячейке, потребует корректировки при установке на «идентичную» вторую — что уничтожает идею тиражирования.

Остановка производства как скрытая стоимость. Монтаж роботизированной ячейки на действующей упаковочной линии неизбежно требует остановки. Продолжительность простоя зависит от сложности проекта, но редко составляет менее двух–трех недель, а в случае серьезной перекомпоновки — до полутора–двух месяцев (мес.). Для предприятия, работающего в две–три смены с сезонными пиками спроса, каждый день простоя — это прямые потери выручки, штрафные санкции со стороны торговых сетей за срыв поставок и риск потери полочного пространства. По нашим оценкам, основанным на опыте работы с российскими производителями, скрытая стоимость остановки линии зачастую сопоставима со стоимостью робототехнического оборудования, а в ряде случаев превышает ее. Именно этот фак-

тор, а не цена робота, нередко становится причиной отказа от проекта на этапе принятия решения.

Пространственные ограничения. Значительная часть российских пищевых производств размещена в зданиях, спроектированных в советский период или в 1990–2000 гг. без учета будущей роботизации. Высота потолков, ширина проходов, расположение колонн и коммуникаций формируют жесткие пространственные ограничения, в которые стандартная роботизированная ячейка с ее типовым footprint не вписывается. Интегратор вынужден либо проектировать нестандартную компоновку (что увеличивает стоимость и сроки), либо отказываться от проекта. По нашей статистике, около 30 % запросов, поступающих от производителей, отклоняются или существенно модифицируются по причине пространственных ограничений.

Экономический барьер: автоматизация как привилегия крупного бизнеса. Масштаб проблемы. Капитальные затраты на интеграцию одной роботизированной ячейки для задач постпроцессинга в CPG (укладка в короба, формирование групповой упаковки, паллетирование) в российских реалиях начинаются от 15...25 млн руб. и могут достигать 50...80 млн руб. при сложной компоновке и необходимости интеграции с существующими системами управления (табл. 1). Для крупного федерального производителя с выручкой в десятки миллиардов рублей это инвестиция, окупаемая за 18...30 мес. Для среднего регионального предприятия с выручкой 500...1500 млрд руб. — это сумма, сопоставимая с годовой прибылью, и решение о таком вложе-

Таблица 1

**Результаты сравнительного анализа доступности автоматизации
для российских предприятий различных категорий в секторе FMCG**

Категория предприятия	Годовая выручка, млн руб.	Стоимость робототехнического комплекса, млн руб.	Срок окупаемости, мес.	Доступность
Крупное	Более 10 000	15...80	18...30	Высокая
Среднее	500...10 000	15...50	36...60	Ограниченная
Малое	Менее 500	15...25	Более 60	Недоступна
Среднее (модульная ячейка, Raas)	500...10 000	(0,8...2,5)/мес. (ОРЕХ)	–	Высокая
Примечание. ОРЕХ (Operating Expenditure) — операционные расходы.				

нии принимается мучительно, если принимается вообще.

Доля малых и средних предприятий (МСП) в экономике. Между тем, именно МСП составляют основу производственного сектора. Вклад МСП в экономику России неуклонно растет: если в 2022 г. этот показатель составлял 21,3 %, то в 2023 г. — 21,7 % [2]. Несмотря на рост, в России вклад МСП в валовой внутренний продукт (ВВП) существенно уступает развитым экономикам (в Германии — около 52 %, в Японии — примерно 53 %, в Италии — более 65 %), но охватывает значительную часть пищевой и перерабатывающей промышленности, где концентрация МСП традиционно высока [3, 4]. В странах Европейского союза МСП обеспечивают около 65 % занятости в частном секторе [5]. Исключение этого сегмента из автоматизации означает консервацию низкой производительности труда в масштабе целых отраслей.

Структурное неравенство доступа. Проблема усугубляется тем, что крупные OEM-производители роботов (FANUC, ABB, KUKA, Yaskawa) выстраивают партнерские программы и приоритизируют работу с крупнейшими заказчиками, где объем закупок оправдывает выделение инженерных ресурсов. Средний производитель, обращающийся за автоматизацией одной–двух линий, оказывается в очереди, где сроки реагирования измеряются месяцами, а предлагаемые решения избыточны по функциональности и стоимости.

Системные интеграторы — компании, которые теоретически должны заполнять этот разрыв, — в российских реалиях, как правило, представляют собой команды численностью

5...30 человек (чел.), работающие в проектном режиме. Их пропускная способность ограничена: одновременное ведение более двух–трех проектов для большинства из них — предел. Причина — не недостаток компетенций, а характер работы: каждый проект требует индивидуального проектирования hardware, что поглощает основную часть инженерного ресурса. Масштабирование бизнеса интегратора при таком подходе линейно зависит от численности команды, что делает его экономически непривлекательным для инвесторов и ограничивает рост.

Распределение доли МСП в ВВП по различным странам в 2023 г. показано на рис. 2.

Кадровый дефицит: ускоряющийся тренд. Россия. Российский рынок труда в промышленности вошел в фазу структурного дефицита. По данным Центра стратегических разработок, к 2030 г. дефицит кадров в обрабатывающей промышленности может составить 2...4 млн чел. (табл. 2) [6]. Схожие цифры озвучивались в конце 2025 г. вице-премьером Российской Федерации Т.А. Голиковой. По ее словам, в горизонте 2032 г. потребность в кадрах в обрабатывающей промышленности составит 1,7 млн чел., причем в обрабатывающей промышленности ожидается наибольший кадровый дефицит [7]. Компания HeadHunter отмечает, что в 2023 г. число вакансий в производственном секторе превысило число резюме в 3,5 раза — беспрецедентный разрыв за всю историю наблюдений [8]. Средняя заработная плата рабочих на пищевых производствах в 2019...2024 гг. выросла, по разным оценкам, на 45...65 % в номинальном выражении, причем реальный дефицит не сокращается, а нарастает: демографическая яма

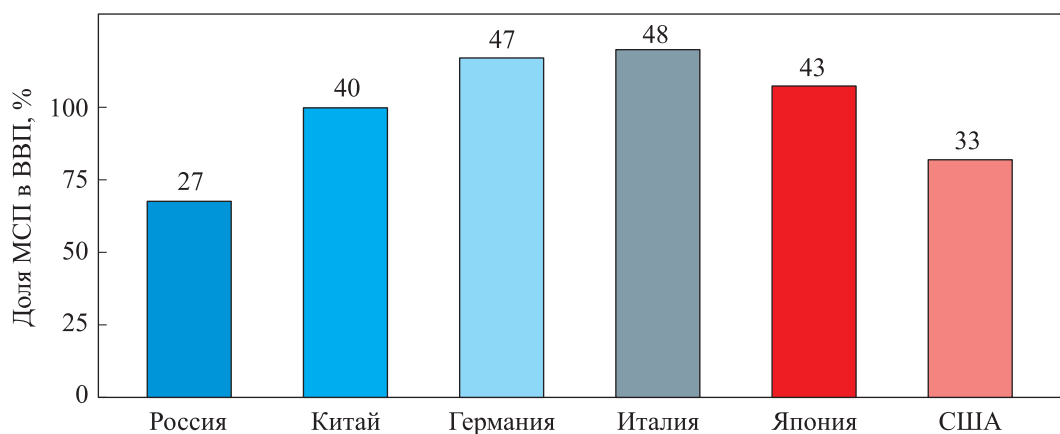


Рис. 2. Распределение доли МСП в ВВП по различным странам в 2023 г.

Таблица 2

Результаты сравнения плотности роботизации и прогноза дефицита кадров для различных стран

Страна	Плотность роботизации в 2024 г., ед./10 000 чел.	Количество установленных в 2024 г. роботов, тыс. ед.	Прогноз дефицита кадров	Литературный источник
Япония	446	~50	15 % в 2040 г.	[1]
Германия	415	~26	До 7 млн чел. в 2035 г.	[11]
Китай	470	Более 400	200 млн чел. в 2050 г.	[1, 9]
США	295	~44	2,1 млн чел. в 2030 г.	[1]
Россия	~10	Менее 1	2...4 млн чел. в 2030 г.	[6, 7]

1990-х годов выходит на рынок труда, а отток в сектор услуг, логистику и курьерские службы усиливается.

Китай. Китай, который на протяжении трех десятилетий обеспечивал глобальные цепочки поставок дешевой рабочей силой, переживает фундаментальный сдвиг. Пик численности трудоспособного населения был пройден в 2015 г. По прогнозам ООН, к 2050 г. оно сократится более чем на 200 млн чел. [9]. Средняя годовая заработная плата в обрабатывающей промышленности Китая выросла с примерно 2000 долл. (в 2005 г.) до более чем 10 000 долл. (в 2023 г.), сравнявшись с уровнем некоторых стран Восточной Европы и превысив показатели Мексики и Юго-Восточной Азии [10]. Это делает автоматизацию для китайских производителей не вопросом выбора, а условием сохранения конкурентоспособности, что объясняет взрывной рост применения промышленных роботов в Китае. По данным Международной федерации робототехники (International Federation of Robotics — IFR) в 2024 г. в Китае установлено более 400 000 роботов, что составило более 54 % мирового объема [1].

Развитые и развивающиеся экономики. В развитых экономиках кадровый дефицит носит демографический характер и усугубляется старением населения. Германия прогнозирует нехватку до 7 млн квалифицированных работников к 2035 г. [11]. Япония, где доля населения старше 65 лет превышает 29 %, компенсирует сокращение рабочей силы наращиванием плотности роботизации: 446 роботов на 10 000 чел. в 2024 г. (один из высочайших показателей в мире) [1]. В развивающихся экономиках — Индии, Бразилии и странах Юго-Восточной Азии — дефицит проявляется иначе. При формально достаточной численности населения наблюда-

ется острая нехватка квалифицированных кадров, способных работать с современным оборудованием, а урбанизация и рост сектора услуг оттягивают рабочую силу из промышленности.

Совокупность этих факторов формирует глобальный контекст, в котором автоматизация перестает быть инструментом повышения эффективности и становится условием операционной устойчивости. Вопрос не в том автоматизировать или нет, а в том, как автоматизировать быстро, масштабируемо и экономически доступно.

Рынок промышленной робототехники растет двузначными темпами — по данным IFR, в 2024 г. установлено 542 076 промышленных роботов [1]. Однако этот рост сконцентрирован в автомобильной промышленности и электронике, где стандартизация процессов и объемы производства позволяют тиражировать решения. В CPG-секторе, с его разнообразием продуктов, форматов упаковки и компоновок линий, каждый проект остается в значительной степени уникальным.

Крупные OEM-производители упаковочного оборудования предлагают интегрированные линии под ключ, но их решения ориентированы на greenfield-проекты или масштабную модернизацию, предполагающую замену всей линии. Для brownfield-сценария — встраивания робототехники в существующую инфраструктуру — эти решения, как правило, избыточны и негибки.

Системные интеграторы, как уже отмечалось, ограничены в пропускной способности. Главное ограничение — не программирование роботов (это задача, которая все больше стандартизируется), а проектирование и изготовление hardware: рам, конвейеров, позиционирующих устройств, буферных накопителей, защитных ограждений. Именно hardware поглощает 50...70 % бюджета проекта и

60...80 % календарного времени, делает каждый проект штучным, а бизнес интегратора — немасштабируемым.

Модульность как системный ответ. Структурная схема архитектуры модульной платформы и ее основные эффекты для рынка системной интеграции в секторе FMCG показана на рис. 3, где ПО — программное обеспечение; CAPEX (Capital Expenditure) — капитальные затраты.

Принцип глубокой модульности. Решение, которое в ООО «Битроботикс» развивается и последовательно внедряется, основано на принципе максимально глубокой модульности — вплоть до уровня отдельных компонентов рам и конвейеров. Это не модульность в маркетинговом смысле, когда модулем называют законченную ячейку, которую можно переместить целиком. Речь идет о проектировании каждого структурного элемента — самого робота, колонны, перекладки, кронштейна, конвейерной секции, модуля зрения, направляющей и крепления датчика — как самостоятельного, каталогизированного, взаимозаменяемого компонента с определенными интерфейсами интеграции.

Принцип сборки — конструктор. Аналогия с LEGO здесь не метафора, а инженерная философия: ограниченный набор стандартных элементов, соединяемых по определенным правилам, позволяет собрать практически неограниченное количество конфигураций. Сборочная документация проектируется так, чтобы быть однозначной и исполнимой инженером средней квалификации без специализированного опыта в ро-

бототехнике — по аналогии с тем, как инструкция IKEA позволяет собрать мебель без столярного образования, только в промышленном масштабе и с промышленными допусками.

Plug-and-play на уровне software. Физическая модульность без программной — половина решения. Каждый модуль в нашей архитектуре несет в себе предконфигурированную логику: конвейерная секция «знает» свою длину, скорость и протокол обмена данными; захват — тип продукта и параметры работы; система технического зрения — набор моделей распознавания для конкретной категории товаров. Интеграция на уровне ПО сводится к параметризации — выбору из каталога и настройке числовых значений, а не к написанию кода. Это принципиально меняет требования к квалификации интегратора икратно сокращает сроки пусконаладочных работ.

Библиотека модулей и среда симуляции. Основной технологический актив в рамках данного подхода — постоянно растущая библиотека унифицированных модулей, адаптированных под конкретные отрасли и типовые задачи. Библиотека — это не просто каталог деталей; это инженерная база знаний, в которой каждый модуль сопровождается параметрическими моделями, правилами сопряжения, ограничениями совместимости и данными о производительности.

Следующий уровень — среда симуляции и компоновки, позволяющая конфигурировать решение в цифровом пространстве до начала физического производства. Как отмечают ана-

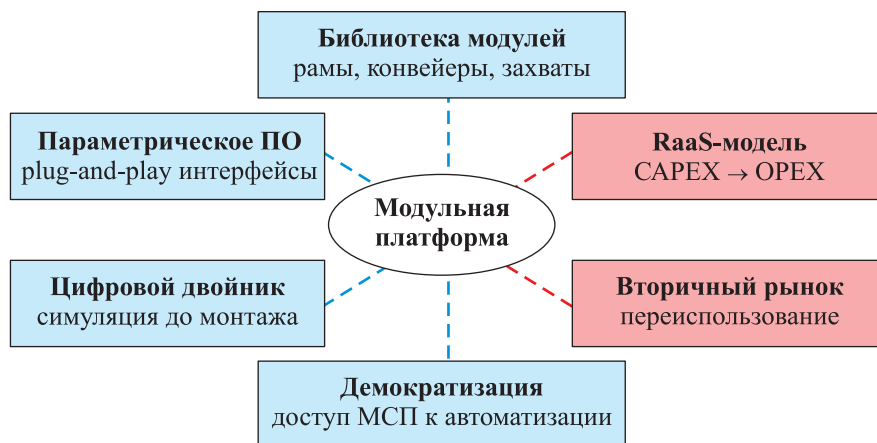


Рис. 3. Структурная схема архитектуры модульной платформы и ее основные эффекты для рынка системной интеграции в секторе FMCG

литики McKinsey в отчете *The next horizon for industrial robotics* (2023 г.), конвергенция цифровых двойников, генеративного проектирования и инструментов искусственного интеллекта для оптимизации компоновки производственных пространств способна сократить цикл проектирования промышленных систем в 5–10 раз [12].

Исследователи MIT Media Lab и Autodesk Research указывают на формирование нового класса инструментов AI-augmented layout planners, которые не заменяют инженера, но радикально расширяют пространство рассматриваемых вариантов и позволяют находить решения, неочевидные при ручном проектировании [13].

Именно в этом направлении развивается рассматриваемая программная платформа. Предлагаемый подход соответствует концепциям Industry 4.0 и Smart Manufacturing, предполагающим широкое применение модульных производственных систем, цифровой интеграции оборудования и гибкой реконфигурации производственных процессов [14, 15].

Результаты сравнения распределения затрат по этапам проекта при традиционном и модульном подходах приведены на рис. 4, а и б. Видно, что при модульном подходе доля hardware снижается с 60 до 30 %, высвобождая ресурс для создания ценности на уровне программного обеспечения и сервиса.

Эффекты модульного подхода. Демократизация интеграции. Если hardware стандартизи-

рован, документация однозначна, а software — параметрический, то роль интегратора трансформируется. Интегратором может стать инженер на стороне заказчика — и это не утопия. Многие крупные российские производители — от «Мираторга» до «Черноголовки» — имеют собственные подразделения автоматизации, укомплектованные квалифицированными инженерами. На сегодняшний день эти подразделения занимаются преимущественно обслуживанием существующего оборудования и мелкой модернизацией, так как у них нет инфраструктуры для реализации полноценных интеграционных проектов. Модульная платформа дает им эту инфраструктуру — и потенциальный скачок производительности внедрения может быть кратным.

Для средних предприятий, не имеющих собственных подразделений автоматизации, модульный подход снижает требования к внешнему интегратору: вместо высококвалифицированной команды из пяти–семи специалистов, работающей на объекте 2–3 мес., достаточно одного–двух инженеров на протяжении нескольких недель. Это расширяет пул доступных интеграторов и создает условия для формирования нового класса сервисных компаний — «легких интеграторов», работающих на основе модульных платформ.

Развитие подобных платформ также соответствует современным тенденциям промышленной робототехники, в которых особое внимание уделено упрощению эксплуатации робо-

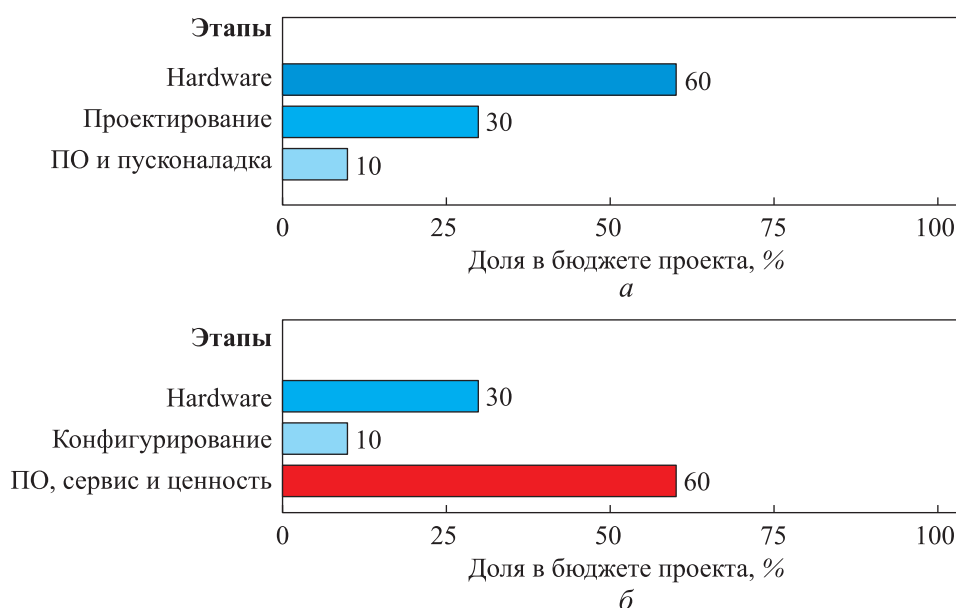


Рис. 4. Распределение затрат по этапам проекта при традиционном (а) и модульном (б) подходах

тизированных комплексов, повышению их безопасности и снижению требований к квалификации персонала при внедрении и техническом обслуживании систем [16, 17].

Мобильность и вторичный рынок. Модульность и взаимозаменяемость компонентов открывают возможность, которая в традиционной парадигме практически отсутствует: физическое перемещение роботизированных ячеек между производственными линиями в рамках одного предприятия. Сезонность спроса, ротация продуктовых линеек и запуск новых SKU (Stock Keeping Unit) — все это требует гибкости, которую сварная конструкция обеспечить не может, а модульная — может. Ячейку, собранную из стандартных компонентов, разбирают за один–два дня, перемещают и собирают в новой конфигурации за сопоставимый срок. Подобная мобильность производственных модулей соответствует современным тенденциям развития гибких внутрипроизводственных логистических систем, основанных на принципах реконфигурируемого производства [18].

Более того, возникает полноценный вторичный рынок. Сегодня бывшая в употреблении роботизированная ячейка — это, по сути, металлолом: сварная рама спроектирована под конкретную площадку и не подлежит переиспользованию. Модульная ячейка — это набор компонентов, каждый из которых сохраняет свою ценность и может быть переконфигурирован для другой задачи или продан другому предприятию. Это фундаментально меняет экономику владения и снижает воспринимаемый риск инвестиции.

Сокращение сроков реализации. Наличие префабрикованных компонентов на складе или в производственном заделе радикально меняет логистику проекта. В традиционной модели цикл от подписания контракта до ввода в эксплуатацию составляет 9–14 мес.: 2–3 мес. на проектирование, 3–5 мес. на изготовление hardware, 1–2 мес. — на сборку и отладку на площадке производителя, 1 мес. — на монтаж и пусконаладку у заказчика. В модульной парадигме проектирование сводится к конфигурированию (дни, а не месяцы), изготовление — к комплектации со склада или производству стандартных компонентов (недели, а не месяцы), сборка и отладка ускоряются за счет предконфигурированного ПО.

Дополнительное сокращение сроков достигается использованием цифровых моделей оборудования и предварительной верификацией алгоритмов управления в виртуальной среде, что соответствует современным подходам к применению цифровых двойников робототехнических систем [19]. Общий срок реализации проекта сокращается до десяти–двенадцати недель — сжатие цикла в 4–6 раз, которое меняет не только экономику отдельного проекта, но и динамику принятия решений: автоматизация перестает быть стратегической инвестицией с горизонтом планирования в полтора года и становится тактическим инструментом, доступным в рамках квартального бюджетного цикла. Такой подход согласуется с принципами Industry 5.0, предполагающими создание гибких производственных систем, обеспечивающих быстрое внедрение новых технологий при сохранении высокой эффективности взаимодействия человека и роботизированного оборудования [20].

RaaS для робототехнических комплексов. Модель RaaS — предоставление робототехники по подписке с ежемесячной оплатой вместо единовременных капитальных затрат — активно обсуждается последние пять лет, но ее практическое применение до сих пор ограничивалось преимущественно отдельными роботами или коботами. Причина проста: если hardware ячейки спроектирован под конкретного заказчика, его невозможно изъять и передать другому клиенту в случае расторжения контракта — остаточная стоимость сварной рамы и нестандартных конвейеров близка к нулю. Провайдер RaaS несет неприемлемый риск.

Модульная архитектура снимает это ограничение. Каждый компонент ячейки сохраняет свою стоимость вне контекста конкретного проекта: раму разбирают на стандартные элементы, конвейеры переконфигурируют, захваты переназначают. Это делает экономически обоснованной модель RaaS не для робота, а для целого робототехнического комплекса, включая все элементы обвязки, конвейерную систему, защитные ограждения и систему управления. Для заказчика это означает переход автоматизации из категории CAPEX в категорию OPEX с соответствующим упрощением процедуры принятия решения, особенно для средних предприятий, где капитальный бюджет ограничен, а операционный — более гибок.

Выводы

1. Автоматизация в секторе FMCG не может оставаться привилегией крупнейших производителей. Кадровый дефицит, рост стоимости труда, давление со стороны торговых сетей на себестоимость и сроки — все это формирует объективный спрос, который существующая модель интеграции не способна удовлетворить. Не потому, что роботы недостаточно хороши, а потому, что инфраструктура их внедрения — hardware, процессы проектирования, экономическая модель — остается ремесленной в эпоху, требующую индустриального подхода.

2. Глубокая модульность — от компонентов рам до программных интерфейсов — это не технологическая мода и не маркетинговый прием. Это инженерная необходимость, продиктованная физикой производственных площадок, экономикой среднего бизнеса и арифметикой рынка труда. ООО «Битроботикс» строит свою технологию и бизнес-модель на этом фундаменте, так как именно модульный масштабируемый подход к интеграции определит ландшафт промышленной робототехники в CPG-секторе на ближайшее десятилетие.

Литература

- [1] *World robotics report 2025: industrial robots*. Frankfurt, IFR, 2025. 128 p.
- [2] *Доклад о состоянии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации и мерах по его развитию за 2019–2023 гг.* URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/download/f1c2180f1319ea2480ac174fa780a37b/doklad_o_sostoyanii_msp_v_rf_i_merah_po_ego_razvitiyu_za_2019_2023_gg.pdf (дата обращения: 15.05.2026).
- [3] *Малое и среднее предпринимательство в России — 2024*. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Mal_pred_2024.pdf (дата обращения: 15.05.2026).
- [4] *Entrepreneurship at a Glance 2017*. OECD, 2017, doi: https://doi.org/10.1787/entrepreneur_aag-2017-en
- [5] *Annual report on European SMEs 2022/2023*. Brussels, European Commission, 2023. 94 p.
- [6] Коровкин А.Г. Динамика занятости и рынка труда в Российской Федерации в перспективе до 2030 года. *Проблемы прогнозирования*, 2014, № 4, с. 79–96.
- [7] Safonova S.G., Sheykhova M.S. *Defitsit kadrov na sovremennom rynke truda Rossii: prichiny, trendy, puti preodoleniya* [Shortage of personnel in the modern Russian labor market: causes, trends, ways to overcome]. Moscow Economic Journal, 2024, no. 6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/defitsit-kadrov-na-sovremennom-rynke-truda-rossii-prichiny-trendy-puti-preodoleniya/viewer> (accessed: 15.05.2026)
- [8] *Итоги 2023 года в промышленной сфере по версии hh.ru*. hh.ru. URL: <https://hh.ru/article/32231> (дата обращения: 15.05.2026).
- [9] *World population prospects 2022*. New York, UN DESA, 2022. 46 p.
- [10] *China Statistical Yearbook 2023*. Beijing, China Statistics Press, 2023. URL: <https://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2023/indexeh.htm> (дата обращения: 15.05.2026).
- [11] Vogler-Ludwig K., Düll N., Kriechel B. *Arbeitsmarkt 2030: Wirtschaft und Arbeitsmarkt im digitalen Wandel*. Bielefeld, W. Bertelsmann, 2016. 260 p.
- [12] Müller C., Vette M., Mailahn O. Process-oriented task assignment for assembly processes with human-robot interaction. *Procedia CIRP*, 2016, vol. 44, pp. 210–215, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.080>
- [13] Drira A., Pierreval H., Hajri-Gabouj S. Facility layout problems: a survey. *Annu. Rev. Control.*, 2007, vol. 31, no. 2, pp. 255–267, doi: <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2007.04.001>
- [14] Fragapane G., de Koster R., Sgarbossa F. et al. Planning and control of autonomous mobile robots for intralogistics: literature review and research agenda. *Eur. J. Oper. Res.*, 2021, vol. 294, no. 2, pp. 405–426, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.01.019>
- [15] Dhanda M., Rogers B.A., Hall S. et al. Reviewing human-robot collaboration in manufacturing: opportunities and challenges in the context of industry 5.0. *Robot. Comput.-Integr. Manuf.*, 2025, vol. 93, art. 102937, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2024.102937>
- [16] Malik A.A., Brem A. Digital twins for collaborative robots: a case study in human-robot interaction. *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, 2021, vol. 68, art. 102092, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.102092>

- [17] Hentout A., Aouache M., Maoudj A. et al. Human–robot interaction in industrial collaborative robotics: a literature review of the decade 2008–2017. *Adv. Robot.*, 2019, vol. 33, no. 15–16, pp. 764–799, doi: <https://doi.org/10.1080/01691864.2019.1636714>
- [18] Zheng P., Wang H., Sang Z. et al. Smart manufacturing systems for Industry 4.0: conceptual framework, scenarios, and future perspectives. *Front. Mech. Eng.*, 2018, vol. 13, no. 2, pp. 137–150, doi: <https://doi.org/10.1007/s11465-018-0499-5>
- [19] Lasi H., Fettke P., Kemper H.-G. et al. Industry 4.0. *Bus. Inf. Syst. Eng.*, 2014, vol. 6, no. 4, pp. 239–242, doi: <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- [20] Villani V., Pini F., Leali F. et al. Survey on human-robot collaboration in industrial settings: safety, intuitive interfaces and applications. *Mechatronics*, 2018, vol. 55, pp. 248–266, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2018.02.009>

References

- [1] *World robotics report 2025: industrial robots*. Frankfurt, IFR, 2025. 128 p.
- [2] *Doklad o sostoyanii malogo i srednego predprinimatelstva v Rossiyskoy Federatsii i merakh po ego razvitiyu za 2019–2023 gg* [Report on the state of small and medium-sized businesses in the Russian Federation and measures for their development for 2019–2023]. URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/download/f1c2180f1319ea2480ac174fa780a37b/doklad_o_sostoyanii_msp_v_rf_i_merakh_po_ego_razvitiyu_za_2019_2023_gg.pdf (accessed: 15.05.2026). (In Russ.).
- [3] *Maloe i srednee predprinimatelstvo v Rossii — 2024* [Small and medium-sized entrepreneurship in Russia – 2024]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Mal_pred_2024.pdf (accessed: 15.05.2026). (In Russ.).
- [4] *Entrepreneurship at a Glance 2017*. OECD, 2017, doi: https://doi.org/10.1787/entrepreneur_aag-2017-en
- [5] *Annual report on European SMEs 2022/2023*. Brussels, European Commission, 2023. 94 p.
- [6] Korovkin A.G. Employment and labor market dynamics in the Russian Federation until 2030. *Problemy prognozirovaniya*, 2014, no. 4, pp. 79–96. (In Russ.). (Eng. version: *Stud. Russ. Econ. Dev.*, 2013, vol. 24, no. 4, pp. 353–365, doi: <https://doi.org/10.1134/S1075700713040059>)
- [7] Safonova S.G., Sheykhova M.S. *Defitsit kadrov na sovremennom rynke truda Rossii: prichiny, trendy, puti preodoleniya* [Shortage of personnel in the modern Russian labor market: causes, trends, ways to overcome]. Moscow Economic Journal, 2024, no. 6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/defitsit-kadrov-na-sovremennom-rynke-truda-rossii-prichiny-trendy-puti-preodoleniya/viewer> (accessed: 15.05.2026)
- [8] *Itoги 2023 goda v promyshlennoy sfere po versii hh.ru* [hh.ru's 2023 industrial performance report]. *hh.ru: website*. URL: <https://hh.ru/article/32231> (accessed: 15.05.2026)
- [9] *World population prospects 2022*. New York, UN DESA, 2022. 46 p.
- [10] *China Statistical Yearbook 2023*. Beijing, China Statistics Press, 2023. URL: <https://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2023/indexeh.htm> (accessed: 15.05.2026).
- [11] Vogler-Ludwig K., Düll N., Kriechel B. *Arbeitsmarkt 2030: Wirtschaft und Arbeitsmarkt im digitalen Wandel*. Bielefeld, W. Bertelsmann, 2016. 260 p.
- [12] Müller C., Vette M., Mailahn O. Process-oriented task assignment for assembly processes with human-robot interaction. *Procedia CIRP*, 2016, vol. 44, pp. 210–215, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.080>
- [13] Drira A., Pierreval H., Hajri-Gabouj S. Facility layout problems: a survey. *Annu. Rev. Control.*, 2007, vol. 31, no. 2, pp. 255–267, doi: <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2007.04.001>
- [14] Fragapane G., de Koster R., Sgarbossa F. et al. Planning and control of autonomous mobile robots for intralogistics: literature review and research agenda. *Eur. J. Oper. Res.*, 2021, vol. 294, no. 2, pp. 405–426, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.01.019>
- [15] Dhanda M., Rogers B.A., Hall S. et al. Reviewing human-robot collaboration in manufacturing: opportunities and challenges in the context of industry 5.0. *Robot. Comput.-Integr. Manuf.*, 2025, vol. 93, art. 102937, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2024.102937>

- [16] Malik A.A., Brem A. Digital twins for collaborative robots: a case study in human-robot interaction. *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, 2021, vol. 68, art. 102092, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.102092>
- [17] Hentout A., Aouache M., Maoudj A. et al. Human-robot interaction in industrial collaborative robotics: a literature review of the decade 2008–2017. *Adv. Robot.*, 2019, vol. 33, no. 15–16, pp. 764–799, doi: <https://doi.org/10.1080/01691864.2019.1636714>
- [18] Zheng P., Wang H., Sang Z. et al. Smart manufacturing systems for Industry 4.0: conceptual framework, scenarios, and future perspectives. *Front. Mech. Eng.*, 2018, vol. 13, no. 2, pp. 137–150, doi: <https://doi.org/10.1007/s11465-018-0499-5>
- [19] Lasi H., Fettke P., Kemper H.-G. et al. Industry 4.0. *Bus. Inf. Syst. Eng.*, 2014, vol. 6, no. 4, pp. 239–242, doi: <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- [20] Villani V., Pini F., Leali F. et al. Survey on human-robot collaboration in industrial settings: safety, intuitive interfaces and applications. *Mechatronics*, 2018, vol. 55, pp. 248–266, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2018.02.009>

Статья поступила в редакцию 20.05.2026

Информация об авторах

СТЕСИН Святослав Борисович — генеральный директор. ООО «Битроботикс» (107023, Москва, Российская Федерация, Малая Семеновская улица, д. 9, стр. 9, e-mail: stesin@bitrobotics.com).

АХМЕДОВ Руслан Биннатович — аспирант. Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ (119571, Москва, Российская Федерация, пр-т Вернадского, д. 82, стр. 1., e-mail: akhmedovruslan@inbox.ru).

Information about the authors

STESIN Svyatoslav Borisovich — General Director. Bitrobotics LLC (107023, Moscow, Russian Federation, Malaya Seменовskaya St., Bldg. 9, Block 9, e-mail: stesin@bitrobotics.com).

AKHMEDOV Ruslan Binnatovich — Postgraduate. Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (119571, Moscow, Russian Federation, Vernadsky Ave., Bldg. 82, Block 1, e-mail: akhmedovruslan@inbox.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Стесин С.Б., Ахмедов Р.Б. Модульность и масштабируемая интеграция как основа ускоренной автоматизации. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2026, № 7, с. 42–52.

Please cite this article in English as:

Stesin S.B., Akhmedov R.B. Modularity and scalable integration as the basis for accelerated automation. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2026, no. 7, pp. 42–52.