

Чумичев Д.В.

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

**Гибкий инжиниринг как стратегия повышения конкурентоспособности
производственных предприятий машиностроения**

Аннотация. В условиях растущей динамики рынков и усиления глобальной конкуренции производственные предприятия, особенно в машиностроении и установочном производстве, сталкиваются с необходимостью адаптации к непредсказуемым изменениям требований, сроков и технологий. Статья посвящена исследованию концепции гибкого инжиниринга как стратегического ответа на данные вызовы. Проводится анализ этимологических и содержательных связей гибкого инжиниринга с устоявшимися подходами, такими как бережливое производство, бережливая разработка и гибкое производство. На основе систематизации существующих определений формулируется обобщенное концептуальное понимание гибкого инжиниринга, которое позиционируется как управленческий подход, воплощающий принципы гибкости в инженерных науках. В работе осуществляется интеграция гибкого инжиниринга в область исследования через призму фундаментальных принципов производственных стратегий: системного и целостного мышления, целеориентированного действия, организации процессов и формирования моделей поведения. Проводится сравнительный анализ гибкого инжиниринга с существующими стратегиями, включая интегрированную разработку продукции, параллельный инжиниринг, системный инжиниринг и управление проектами, с выделением точек соприкосновения и инновационных аспектов. Результаты исследования демонстрируют, что гибкий инжиниринг представляет собой комплексную стратегию, направленную на достижение конкурентных преимуществ за счет проактивного реагирования на изменения, междисциплинарного сотрудничества и итеративной поставки коммерчески значимых продуктовых инкрементов.

Ключевые слова: гибкий инжиниринг, бережливая разработка, гибкое производство, производственные стратегии, системный инжиниринг, параллельный инжиниринг.

Chumichev D.V.

Moscow State Technological University "STANKIN"

**Flexible engineering as a strategy for increasing the competitiveness of mechanical
engineering enterprises**

Abstract. In the context of increasingly dynamic markets and intensifying global competition, manufacturing companies, particularly in mechanical engineering and installation manufacturing, face the need to adapt to unpredictable changes in requirements, deadlines, and technologies. This article explores the concept of agile engineering as a strategic response to these challenges. It analyzes the etymological and substantive connections between agile engineering and established approaches such as lean manufacturing, lean development, and flexible production. Based on a systematization of existing definitions, a generalized conceptual understanding of agile engineering is formulated, positioned as a management approach embodying the principles of flexibility in engineering sciences. The paper integrates agile engineering into the research field through the prism of the fundamental principles of manufacturing strategies: systems and holistic thinking, goal-oriented action, process organization, and the formation of behavioral models. A comparative analysis of agile engineering

is conducted with existing strategies, including integrated product development, concurrent engineering, systems engineering, and project management, highlighting commonalities and innovative aspects. The study's findings demonstrate that agile engineering is a comprehensive strategy aimed at achieving competitive advantage through proactive response to change, interdisciplinary collaboration, and the iterative delivery of commercially significant product increments.

Keywords: agile engineering, lean development, agile manufacturing, manufacturing strategies, systems engineering, concurrent engineering.

Современная парадигма промышленного производства характеризуется возрастающей сложностью продуктов, сокращением жизненных циклов и высокой волатильностью рыночных условий. В этом контексте традиционные подходы к разработке продукции, основанные на последовательных, жестко регламентированных процессах, зачастую демонстрируют недостаточную эффективность, приводя к превышению бюджета, срыву сроков и несоответствию конечного продукта ожиданиям заказчика [1,2,4,7]. Ответом на эти вызовы стало появление и развитие концепций, нацеленных на повышение адаптивности и эффективности производственных систем [4, 10]. Истоки гибкого инжиниринга прослеживаются в рамках более широкого семейства подходов, включающего бережливое производство, концепция которого была систематизирована Вумиком [14] на основе производственной системы Тойота и направлена на увеличение добавленной стоимости через минимизацию потерь. Впоследствии данные принципы были адаптированы для сферы разработки, получив название бережливой разработки, и для сферы производства, трансформировавшись в концепцию гибкого производства, которое понимается как стратегическая способность компании осваивать новые рынки и оперативно реагировать на изменения.

Гибкий инжиниринг возникает на стыке этих концепций, фокусируясь на применении принципов гибкости в инженерной деятельности, охватывающей весь спектр задач от генерации идеи до поставки конечного продукта [6]. Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью теоретического осмысления и структурирования данной концепции, а также ее интеграции в существующий ландшафт производственных стратегий машиностроения. Целью данной статьи является комплексный анализ концепции гибкого инжиниринга, формулировка его обобщенного определения, выявление его взаимосвязей с фундаментальными принципами организации производственной деятельности и установление его места среди классических стратегий разработки продукции. Научная новизна работы заключается в синтезе разрозненных трактовок гибкого инжиниринга и его системной классификации как стратегии, направленной на баланс между структурой и гибкостью для извлечения пользы как для клиента, так и для предприятия-разработчика.

Теоретической основой для формирования концепции гибкого инжиниринга послужили работы, лежащие в области бережливого производства и разработки. Исследование Вумика, Джонса и Руса «Машина, которая изменила мир» [14] заложила фундамент понимания философии бережливости, акцентирующей устранение потерь. Однако, как отмечают последующие исследователи [9,13], природа потерь в разработке коренным образом отличается от производственных. Если в цехе потери связаны с логистикой и перепроизводством, то в инженерных подразделениях они проявляются в сфере управления знаниями: ожидании решений, утрате информации при передаче, реализации избыточного функционала и сборе ненужных данных. Таким образом, методы бережливого производства, такие как пока-ёка, требуют адаптации для инженерного контекста.

Параллельно развивалась концепция гибкости. Виендаль и другие [13] определяют ее как стратегическую способность компании проактивно осваивать новые рынки и создавать соответствующую производственную базу. Косяков А., Свит У. и др. [2]

подчеркивают, что гибкость достигается через интеграцию перестраиваемых ресурсов и лучших практик для предложения клиентоориентированных продуктов. Важным аспектом является сетевое взаимодействие, что позволяет использовать незадействованные мощности и фокусироваться на ключевых компетенциях [10, 11].

Методологической основой данного исследования выступил системный анализ научной литературы и синтез существующих концепций. Исследование проводилось в несколько этапов.

На первом этапе был осуществлен отбор и анализ релевантных академических источников, монографий и стандартов, затрагивающих проблемы бережливого производства, гибкости, инжиниринга и управления разработкой продукции. Критериями отбора являлись научная значимость публикации, ее цитируемость и непосредственное отношение к предметной области машиностроения и промышленного производства.

На втором этапе методом контент-анализа была проведена декомпозиция и категоризация ключевых понятий: «гибкий инжиниринг», «бережливая разработка», «гибкое производство», «итерация», «инкремент», «артефакт». Это позволило выявить семантические связи и противоречия в определениях различных авторов.

На третьем этапе был применен метод сравнительного анализа для сопоставления концепции гибкого инжиниринга с устоявшимися стратегиями производственных предприятий, такими как интегрированная разработка продукции, параллельный инжиниринг, системный инжиниринг и управление проектами. Это позволило систематизировать точки соприкосновения и идентифицировать уникальные аспекты гибкого инжиниринга.

На четвертом, синтезирующем этапе, на основе проведенного анализа было сформулировано обобщенное определение гибкого инжиниринга и осуществлена его интеграция в исследуемую область через призму четырех ключевых принципов: системного мышления, целеориентированного действия, организации процессов и формирования моделей поведения.

Проведенный анализ позволил сформулировать обобщающее определение гибкого инжиниринга. Гибкий инжиниринг — это стратегия создания готовых к поставке и коммерчески значимых продуктов, разрабатываемых в итеративных циклах с использованием определенных процессов, артефактов, инструментов и ролей. Данный процесс характеризуется простыми правилами, ставит во главу угла взаимодействие и коммуникацию участников и позволяет осуществлять непрерывную адаптацию и проактивное реагирование на изменения. Ключевыми элементами данного определения являются итерация (фиксированный временной интервал для реализации функциональности), подсистема (часть конечной системы, создающая ценность для бизнеса и потенциально готовая к поставке) и артефакты (промежуточные результаты разработки, такие как модели или документы).

Интеграция данной концепции в контекст машиностроения раскрывается через ее соответствие фундаментальным принципам производственных стратегий.

Принцип системного и целостного мышления в гибком инжиниринге реализуется через продукто-ориентированную разработку подсистем, то есть подсистем. Исходное видение продукта декомпозируется на функциональные компоненты, которые документируются в виде требований и реализуются в соответствии с приоритетами. Регулярное вовлечение заказчика обеспечивает учет взаимовлияний между функциями и поэтапную интеграцию подсистем, при этом общая система остается в фокусе внимания благодаря циклическому характеру работ.

Принцип целеориентированного действия находит свое отражение в постоянной поставке функциональных подсистем, создающих дополнительную ценность. Процесс представляет собой макроскопический цикл решения проблем (планирование, выполнение, контроль, улучшение). Требования управляются через централизованный реестр (бэклог продукта), а рентабельность регулярно оценивается ответственным лицом (владелец

продукта) [3]. Метод коробки времени, предполагающий фиксированные временные интервалы для задач, обеспечивает своевременность поставки.

Принцип организации процессов в гибком инжиниринге материализуется через четко определенные операционные шаги, артефакты и роли, объединенные в стратегические и тактические этапы работы. Параллельное выполнение задач, необходимое для междисциплинарной разработки, координируется в рамках общего временного цикла (спринт). Высокий уровень кооперации достигается за счет ежедневных совещаний и встреч по приемке результатов с участием всех стейкхолдеров. Визуализация прогресса обеспечивает прозрачность информации о текущем состоянии разработки.

Принцип формирования моделей поведения является центральным для гибкого инжиниринга. Деятельность строится вокруг автономных межфункциональных команд. Организационные роли (например, Скрам-мастер) берут на себя ответственность за обучение и развитие специалистов, создавая условия для реализации их потенциала [3]. Высокая степень автономии и личной ответственности сочетается с оперативным выявлением и устранением проблем. Непрерывная рефлексия процессов взаимодействия и циклы постоянного улучшения направлены на укрепление кооперации.

Сравнительный анализ с существующими стратегиями показал следующее. Гибкий инжиниринг имеет значительные точки соприкосновения с интегрированной разработкой продукции [8], фокусируясь на междисциплинарном сотрудничестве. Однако он выходит за ее рамки, включая не только принципы, но и конкретные рекомендации по реализации через синергетическое сочетание гибких техник, обеспечивающих прозрачность и активное вовлечение заказчика.

Сходство с параллельным инжинирингом заключается в акценте на параллелизацию процессов и междисциплинарное взаимодействие [1,5]. Инновационность гибкого инжиниринга проявляется в детализированных требованиях к организации работы (совместные спринты, ежедневные совещания) и продукто-ориентированному подходу, что выходит за рамки процессо-ориентированного описания параллельного инжиниринга [5].

Гибкий инжиниринг заимствует элементы системного инжиниринга, в частности, проблемно-ориентированный подход и системное представление о продукте [7, 12]. Однако он смещает акцент с модульной структуры на работоспособность продукта и не содержит общих рекомендаций по техническому проектированию, вместо этого предлагая конкретные операционные шаги для эффективного планирования и реализации.

Что касается управления проектами, то гибкий инжиниринг заимствует его подходы для контроля проектной деятельности, что выражается в использовании управленческих фреймворков. Ключевое отличие заключается в том, что гибкий инжиниринг не является набором методов для управления проектом в целом, а представляет собой практические рекомендации по эффективной разработке систем через специфическую организацию процесса.

Проведенное исследование позволяет заключить, что гибкий инжиниринг представляет собой развивающуюся, но методологически обоснованную стратегию для производственных предприятий машиностроения. Он синтезирует в себе принципы бережливого подхода, направленные на устранение потерь, и философию гибкости, нацеленную на адаптацию к изменениям. Сформулированное определение позиционирует гибкий инжиниринг как подход, ориентированный на итеративную поставку ценности для клиента через тесное междисциплинарное сотрудничество, простые правила и непрерывное совершенствование.

Интеграция гибкого инжиниринга в систему принципов производственных стратегий демонстрирует его системность и комплексность. Он не противопоставляется существующим стратегиям, таким как интегрированная разработка, параллельный или системный инжиниринг, а скорее компилирует их сильные стороны, предлагая более детализированный и практико-ориентированный процесс для их реализации в условиях высокой неопределенности и необходимости тесного взаимодействия с заказчиком.

Перспективы дальнейших изысканий видятся в эмпирической валидации эффективности гибкого инжиниринга в реальных проектах машиностроения, а также в разработке детализированных методик его адаптации для специфических подотраслей, таких как тяжелое машиностроение или производство сложных мехатронных систем. Дополнительным направлением может стать исследование синергетического эффекта от комбинации гибкого инжиниринга с цифровыми технологиями, например, с цифровыми двойниками и симуляциями, для еще большего сокращения времени итераций и повышения качества принимаемых проектных решений.

Список источников

1. Грабин В.Г. Оружие победы. М.: Политиздат, 1989. 307с.
2. Косяков А., Свит У. и др. Системная инженерия. Принципы и практика. Пер. с англ. под ред. В. К. Батоврина. - М.: ДМК Пресс, 2014. - 624 с.
3. Сазерленд Д. Scrum : революционный метод управления проектами / Джефф Сазерленд ; перевод с английского Марии Гескиной. - 9-е изд. - Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2022. - 270, [1] с. : ил. - Библиогр. в примеч.: с. 265-268
4. Стасинопулос, П. Проектирование систем как единого целого. Интегральный подход к инжинирингу для устойчивого развития / П. Стасинопулос, М. Х. Смит, К. Ч. Харгроувс, Ч. Деша. - Москва: 2012. - 288 с.
5. Чаруйская, М. А. Параллельный инжиниринг как подход к гибкому комплексному проектированию инновационного предприятия / М. А. Чаруйская // Прогрессивная экономика. – 2024. – № 3. – С. 25-35
6. Чаруйская М.А., Можаровская А.А. Гибкая методология планирования предприятий в условиях четвертой промышленной революции // Цифровая экономика: технологии, управление, человеческий капитал: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Москва: Московский государственный технологический университет "СТАНКИН", 2019. С. 65-69.
7. Чаруйская, М. А. Методология системного инжиниринга в проектировании продукции: интеграция теории систем, жизненного цикла и инновационных подходов / М. А. Чаруйская, И. Д. Мурсалов // Управление и инновационное развитие предприятия: новые подходы и актуальные исследования : Материалы Международной научно-практической конференции, Москва, 28 мая 2025 года. – Москва: МГТУ "СТАНКИН", 2025. – С. 277-282. 5.
8. Шеремет А.Д., Ковалев А.П. Функционально-стоимостный анализ / Под ред. А. Д. Шеремета. М.: Экономический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 2017. 204 с.
9. Andreev V.N., Charuyskaya M.A., Kryzhanovskaya A.S. Application of intelligent engineering in the planning of cyber-physical production systems // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2021. № 115. P. 117-123.
10. Eiversheim W., Schuh G. Integrierte Produkt und Prozessgestaltung. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005. 299 p.
11. Rot A. Introduction and development of Industry 4.0. Fundamentals of modeling and examples from practice. Moscow: Technosphere. 2017. 291 p.
12. Ulrich K., Eppinger S. Industrial engineering. Moscow, Saint Petersburg: Vershina, 2007. 449 p.
13. Wiendahl H.P., Reichardt J., Nyhuis P. Handbuch Fabrikplanung - Wien: Hanser. 2014. 658 p.
14. Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (2007). The machine that changed the world. Simon & Schuster.

Сведения об авторе

Чумичев Д.В., аспирант, Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва, Россия

Information about the author

Chumichev D.V., postgraduate student, Moscow State Technological University "STANKIN",
Moscow, Russia