

УДК 65.01

DOI: 10.18384/2949-5024-2024-2-113-121

ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ КАК ОСНОВА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Фокина Д. А.^{1,2}, Джамай Е. В.^{3,4}, Зинченко А. С.⁴

¹ Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова
117997, г. Москва, Стремянный пер., д. 36, Российская Федерация

² Сибирский федеральный университет
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, д. 79, Российская Федерация

³ Центральный институт авиационного моторостроения имени П. И. Баранова
111116, г. Москва, ул. Авиамоторная, д. 2, Российская Федерация

⁴ Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, Российская Федерация

Аннотация

Цель. Исследование посвящено изучению интеллектуальных систем и механизмов, помогающих предприятию быстро реагировать на изменения внешней среды в условиях конкуренции.

Процедура и методы. В ходе работы изучены методы адаптации промышленных предприятий к изменениям внешней среды, как одного из серьёзных стратегических преимуществ в конкурентной борьбе с целью удовлетворения рыночного спроса и достижения устойчивых конкурентных позиций.

Результаты. По результатам проведённого исследования обоснована необходимость разработки новых архитектур производственных систем, обладающих высоким уровнем гибкости, новых принципов организации и управления технологическими процессами, среди которых – создание предприятий на основе гибких производственных систем.

Теоретическая и/или практическая значимость. Показано, что для современных многономенклатурных промышленных предприятий повышение эффективности производства происходит за счёт интенсификации и сквозной автоматизации технологических операций, компьютеризации технологических и бизнес-процессов, их согласовании с операциями транспортирования, складирования и управления по всей цепочке межфирменного взаимодействия и кооперации.

Ключевые слова: гибкие производственные системы, инновационное развитие промышленных предприятий, характеристики гибких производственных систем

FLEXIBLE PRODUCTION SYSTEMS AS THE BASIS FOR INNOVATIVE DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

D. Fokina^{1,2}, E. Dzhamay^{3,4}, A. Zinchenko⁴

¹ *Plekhanov Russian University of Economics
per. Stremyanniy 36, Moscow 117997, Russian Federation*

² *Siberian Federal University,
pr. Svobodny 79, Krasnoyarsk 660041, Russian Federation*

³ *Central Institute of Aviation Motors
ul. Aviamotornaya 2, Moscow 111116, Russian Federation*

⁴ *Moscow Aviation Institute (National Research University)
sh. Volokolamskoe 4, Moscow 125080, Russian Federation*

Abstract

Aim. The article is devoted to the study of intelligent systems and mechanisms that help an enterprise to quickly respond to changes in the external environment in competitive conditions.

Methodology. The research examines the methods of adaptation of industrial enterprises to changes in the external environment as one of the serious strategic advantages in competition in order to meet market demand and achieve stable competitive positions.

Results. Based on the results of the study, the need to develop new architectures of production systems with a high level of flexibility, new principles of organization and management of technological processes, including the creation of enterprises based on flexible production systems, is justified.

Research implications. It is shown that for modern diversified industrial enterprises, the desire to increase production efficiency occurs due to the intensification and end-to-end automation of technological operations, computerization of technological and business processes, their coordination with transportation, warehousing and management operations along the entire chain of inter-company interaction and cooperation.

Keywords: flexible production systems, innovative development of industrial enterprises, characteristics of flexible production systems

Введение

Основную ценность инновационного развития предприятий представляют интеллектуальные системы, механизмы, умные товары и услуги, способные быстро адаптироваться и принимать автоматизированные решения в зависимости от многочисленных факторов взаимодействия с внешней средой и человеком. Информационные технологии (ИТ) – основной элемент промышленности будущего. Мировые расходы на информационные технологии к 2024 г. составят \$5,1 трлн, увеличившись на 8% от показателей 2023 г., и, по прогнозам исследовательской компании Gartner, превысят затраты на материальное производство [9].

Внедрение гибких производственных систем (ГПС) на предприятиях рассматривается как способ сохранения конкурентоспособности на рынках, характеризующихся частыми изменениями технологических требований к продукции [10]. Необходимо сформировать подход к разработке новых архитектур производственных систем, обладающих уровнем гибкости, необходимым для решения конкретной производственной задачи. Эти системы называются производственными системами сфокусированной гибкости (FFMS). Ключевая проблема промышлен-

ного предприятия состоит в настройке гибкости производственной системы, чтобы справиться с неопределённостью, связанной с изменением спроса на продукцию [2, с. 52]. О значимости данной проблемы и её потенциальном влиянии на промышленный сектор свидетельствует интерес, проявленный компаниями, делающими первые шаги в области внедрения ГПС.

Цель и задачи исследования гибких производственных систем

Целью исследования является обоснование возможности быстрого реагирования на внешние изменения за счёт внедрения ГПС на промышленном предприятии. Задачи исследования заключаются в формализации ключевых характеристик, определяющих гибкость производственных систем, а также в формировании этапов процесса их разработки на промышленном предприятии. Для решения поставленных задач необходимо провести теоретическое исследование проблем внедрения ГПС на промышленных предприятиях.

Гибкие производственные системы как основа повышения эффективности производства

Гибкие производственные системы, которые в настоящее время широко внедряются на различных промышленных предприятиях, способствуют существенно повышению производительности труда и объёмов производимой продукции, расширяют номенклатуру производства и сокращают сроки обновления моделей машин и механизмов. Высокая степень автоматизации в ГПС сокращает количество рабочих, занятых в производстве, и улучшает условия труда. ГПС включают основное и вспомогательное технологическое оборудование, автоматизированные транспортно-накопительные системы, робототехнологические комплексы, средства вычислительной техники [3, с. 48].

Стремление повысить эффективность многономенклатурного единичного и мелкосерийного производства привело к пониманию того, что в современных многономенклатурных технологических комплексах должны обеспечиваться интенсификация и автоматизация технологических операций, компьютеризация технологического процесса и их согласование с операциями транспортирования, складирования и управления [4, с. 37]. Это привело к появлению новых принципов организации и управления технологическими процессами, которые называются гибкими производственными системами.

Состав и структура гибких производственных систем

Гибкая производственная система обеспечивает полную интеграцию конструкторско-документальных, материально-технических, кибернетических, социальных и экономических бизнес-аналитических процессов, обеспечивающих в комплексе высокоэффективное функционирование многономенклатурных производств с высокой степенью гибкости и экономичности. ГПС состоит из множества организационно- и аппаратно-объединённых подсистем и элементов. Модульная структура системы позволяет проектировать работоспособные комплексы из отдельных унифицированных модулей, среди которых присутствуют роботизированные обрабатывающие комплексы, агрегатные станки, обрабатывающие станки с ЧПУ и автоматические линии. В роботизированных комплексах, агрегатных станках, обрабатывающих центрах, станках с числовым программным управлением, вхо-

дящих в состав автоматических линий гибких производственных систем, механизированные и автоматизированные, движущиеся части транспортных и загрузочных устройств должны быть подключены в единую систему автоматизированного управления производственными системами.

Пример технологического состава гибкой производственной системы для промышленного предприятия представлен на рис. 1 [5, с. 1075].

Современные ГПС могут содержать различные компоненты и производственные модули, имеющие схожие характеристики, определяющие гибкость самой системы, среди которых необходимо выделить: универсализацию оборудования и технологий, сквозную автоматизацию и информатизацию предприятия, гибкость и адаптивность работников, систему оперативного планирования и управления производством, организацию сотрудничества с поставщиками и клиентами.



Рис. 1. / Fig. 1. Технологический состав гибкой производственной системы промышленного предприятия / The technological composition of the flexible manufacturing system of an industrial enterprise

Источник: составлено авторами.

При создании гибких производственных систем современных промышленных предприятий, характеризующихся необходимостью развития кооперации с научными центрами, контролирующими организациями, а также с поставщиками компонентов, необходимо отметить важность наличия информационно-технологических платформ, способных обеспечить требуемый уровень межфирменного кооперационного взаимодействия [8, с. 2649]. Примеры реализации выделенных характеристик представлены в табл. 1.

Таблица 1 / Table 1

Ключевые характеристики, определяющие гибкость компонентов ГПС промышленного предприятия / Key characteristics determining the flexibility of flexible manufacturing system components of an industrial enterprise

Ключевые характеристики, определяющие гибкость	Пример реализации	Варианты использования
Универсализация оборудования и технологий	Универсальное и модульное оборудование, позволяющее производить различные типы продукции без затрат на переналадку	Гибкие технологии, которые могут быть быстро настроены на производство новых продуктов
Сквозная автоматизация и информатизация	Автоматизированные системы и информационные технологии для улучшения эффективности и точности процессов производства	Робототехника, системы мониторинга, управления, прогнозирования загрузки, спроса, обеспеченности запасами
Повышение адаптивности персонала	Гибкость и адаптивность основного и вспомогательного персонала. Работники имеют необходимые компетенции и готовы к быстрой переквалификации при изменениях в производственных задачах	Гибкие формы организации процесса обеспечения кадровыми ресурсами, такие как работа в смены, гибкий график, аутсорсинг, удалённая работа.
Система оперативного планирования и управления производством	Информационно-аналитические системы, использование инструментов бизнес-аналитики, оперативного планирования и управления производством на основе ИИ и машинного обучения	Быстрое реагирование на изменения, эффективное использование ресурсов, оптимизация производственных процессов, координация работы различных отделов предприятия
Сотрудничество с поставщиками и клиентами	Внедрение системы эффективной межфирменной кооперации, сотрудничества и партнерства с поставщиками, покупателями, надзорными и контрольными организациями	Использование платформенных технологий для взаимного планирования и прогнозирования спроса, обмена информацией о производственных возможностях и обязательствах, взаимное согласование поставок

Источник: составлено авторами

Ключевые характеристики, определяющие гибкость компонентов ГПС промышленного предприятия, помогают предприятиям быть более конкурентоспособными и адаптивными к изменениям в рыночных условиях. Данные характеристики позволяют быстро менять ассортимент и объёмы производства, повышать эффективность и качество продукции, а также снижать издержки и время производства [6, с. 61].

Этапы создания гибких производственных систем

Создание гибких производственных систем промышленных предприятий основано на новых инновационных принципах организации и управления производственными процессами, которые позволяют эффективно и быстро адаптироваться к изменениям в спросе, изменять ассортимент выпускаемой продукции и эффективно использовать ресурсы [7, с. 65]. Создание гибких производственных систем на промышленных предприятиях включает несколько этапов.

Этап 1. Проведение анализа и оценки текущей системы производства, детальный анализ текущих процессов и систем производства на предприятии. Оцениваются сильные и слабые стороны, выявляются проблемы и узкие места, а также определяются возможности для внедрения гибкой системы.

Этап 2. Определение стратегических целей предприятия и плановых результатов от внедрения гибкой производственной системы. Необходимо обозначить критерии гибкости: время реакции на изменения спроса, способность к переключению на производство различных продуктов.

Этап 3. Разработка производственного плана, который позволит промышленному предприятию адаптироваться к изменениям спроса или рыночных условий. В плане определяются стратегии переналадки, управления запасами, сокращения времени производственного цикла.

Этап 4. Разработка плана по обновлению оборудования и процессов, что позволит более гибко переключаться на производство различных продуктов. Этап включает в себя пересмотр и изменение процессов производства для повышения эффективности и гибкости.

Этап 5. Организация обучения и развития персонала, т. к. новые производственные системы требуют высокой квалификации и гибкости у персонала. На этом этапе проводятся обучение и развитие сотрудников для повышения их навыков и знаний в области гибкого производства. Обучение работников предприятия навыкам работы с гибкой системой поможет повысить эффективность производственных процессов и улучшить качество продукции.

Этап 6. Внедрение и непрерывное улучшение производственной системы на предприятии, первоначальные испытания, во время которых отлаживается работа системы, проводится переход на новые процессы и методы, внедряются новые технологии и подходы для поддержания гибкости.

Этап 7. Поддержка и сопровождение внедрения гибкой системы для обеспечения её бесперебойной работы и устранения возникающих проблем.

Все этапы процесса создания гибкой производственной системы индивидуальны для каждого конкретного предприятия, сложность и длительность прохождения этапов зависит от уровня готовности предприятия к цифровой трансформации [1, с. 239], а также от особенностей и стратегических целей предприятия. Этапы могут быть адаптированы и дополнены в соответствии с требованиями и потребностями предприятия.

Гибкие производственные системы являются одним из ключевых элементов инновационного развития промышленных предприятий. Они позволяют увеличить эффективность производства, снизить затраты, повысить качество продукции и улучшить отношения с клиентами. ГПС основаны на принципах логистики, автоматизации и гибкости.

Логистика в ГПС предполагает оптимизацию потока материалов и информации на производстве, что позволяет сократить время цикла производства и улучшить качество продукции. Автоматизация в ГПС способствует сокращению количества ручных операций и повышению скорости производства. Гибкость в ГПС предполагает возможность быстро переключаться на производство других продуктов или изменять конфигурацию производственной линии.

Заключение

В проведённом исследовании авторами обоснована необходимость разработки новых подходов к формированию архитектуры производственных систем, обла-

дающих высоким уровнем гибкости, называемых «гибкими производственными системами». Гибкость производственной системы позволяет адаптировать производственный процесс под изменения спроса на продукцию. В исследовании выделены ключевые характеристики, определяющие гибкость производственных систем, а также предложены этапы процесса их разработки. В результате внедрения ГПС промышленные предприятия получают возможность быстро реагировать на изменения на рынке и требования клиентов, увеличивать гибкость производства и снижать затраты, создавать новые продукты и услуги, увеличивать прибыльность и конкурентоспособность предприятия в целом.

Статья поступила в редакцию 07.02.2024.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдрахманова Г. И., Быховский К. Б., Веселитская Н. Н. и др. Цифровая трансформация отраслей: стартовые условия и приоритеты // Сборник трудов к XXII Апрельской международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества, Москва, 13–30 апреля 2021 г. М.: ИД ВШЭ, 2021. 239 с.
2. Алиев А. Т., Желтенков А. В., Балдин К. В. Проблемы и потенциал развития экономики, промышленного производства и инноваций в современном мире // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика. 2023. № 2. С. 48–58.
3. Джамай Е. В., Колосова В. В., Михайлова Л. В. Исследование методических инструментов для оценки уровня развития высокотехнологичного предприятия // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика. 2020. № 4. С. 46–52.
4. Джамай Е. В., Сазонов А. А., Демин С. С. Цифровая трансформация производства на основе управления жизненным циклом изделий «PLM+» в рамках концепции «Индустрия 4.0» // Modern Economy Success. 2019. № 5. С. 36–44.
5. Формирование показателей оценки готовности машиностроительных предприятий к цифровой трансформации / В. В. Куимов, Н. В. Полежаева, Е. В. Кашина, Д. А. Фокина // Экономика и предпринимательство. 2022. № 6 (143). С. 1074–1079.
6. Полосков С. С., Желтенков А. В., Скубрий Е. В. Влияние факторов внешней и внутренней среды на успешность инновационной деятельности предприятий // Вестник Московского государственного педагогического университета. Серия: Экономика. 2020. № 3 (25). С. 51–62.
7. Сазонов А. А., Зинченко А. С. Методы проведения оценки показателей конкурентоспособности промышленных предприятий в условиях цифровых преобразований // Московский экономический журнал. 2021. № 10. С. 61–69.
8. Фокина Д. А. Информационно-технологические платформы машиностроительных предприятий // Научное обозрение: теория и практика. 2020. Т. 10. № 11 (79). С. 2642–2651.
9. Technology Adoption Roadmap Assess key technology trends to benchmark adoption plans for technologies and practices across the organization "Электронный ресурс". URL: <https://www.gartner.com/en/information-technology/technology-adoption-roadmap> (дата обращения: 01.12.2023).
10. Terkaj W., Tolio T., Valente A. Designing Manufacturing Flexibility in Dynamic Production Contexts. Design of Flexible Production Systems. Berlin; Heidelberg: Springer. 299 p. DOI: 10.1007/978-3-540-85414-2_1

REFERENCES

1. Abdrakhmanova G. I., Bykhovsky K. B., Veselitskaya N.N., et al. [Digital transformation of industries: starting conditions and priorities]. In: *Sbornik trudov k XXII Aprel'skoj mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii po problemam razvitiya ekonomiki i obshchestva, Moskva, 13–30 aprelya 2021 g.* [Proceedings of the XXII April International Scientific Conference on problems of economic and social development, Moscow, April 13–30, 2021]. Moscow: Publishing House of the Higher School of Economics Publ., 2021.
2. Aliev A. T., Zheltenkov A. V., Baldin K. V. [Problems and potential of economic development, industrial production and innovation in the modern world]. In: *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Ekonomika* [Bulletin of State University of Education. Series: Economics], 2023, no. 2, pp. 48–58.
3. Dzhamay E. V., Kolosova V. V., Mikhailova L. V. [Research of methodological tools for assessing the level of development of a high-tech enterprise]. In: *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Ekonomika* [Bulletin of State University of Education. Series: Economics], 2020, no. 4, pp. 46–52.
4. Dzhamay E. V., Sazonov A. A., Demin S. S. [Digital transformation of production based on product lifecycle management “PLM+” within the framework of the concept “Industry 4.0”]. In: *Modern Economy Success*, 2019, no. 5, pp. 36–44.
5. Kuimov V. V., Polezhaeva N. V., Kashina E. V., Fokina D. A. [Formation of indicators for assessing the readiness of machine-building enterprises for digital transformation]. In: *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and entrepreneurship], 2022, no. 6 (143), pp. 1074–1079.
6. Poloskov S. S., Zheltenkov A. V., Skubri E. V. [Influence of external and internal environment factors on the success of innovative activity of enterprises]. In: *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Ekonomika* [Bulletin of State University of Education. Series: Economics], 2020, no. 3 (25), pp. 51–62.
7. Sazonov A. A., Zinchenko A. S. [Methods of assessing the competitiveness of industrial enterprises in the context of digital transformations]. In: *Moskovskij ekonomicheskij zhurnal* [Moscow Economic Journal], 2021, no. 10, pp. 61–69.
8. Fokina D.A. [Information technology platforms of machine-building enterprises]. In: *Nauchnoe obozrenie: teoriya i praktika* [Scientific review: theory and practice], 2020, vol. 10, no. 11 (79), pp. 2642–2651.
9. Technology Adoption Roadmap Assess key technology trends to benchmark adoption plans for technologies and practices across the organization. Available at: <https://www.gartner.com/en/information-technology/technology-adoption-roadmap> (accessed: 01.12.2023).
10. Terkaj W., Tolio T., Valente A. Designing Manufacturing Flexibility in Dynamic Production Contexts. Design of Flexible Production Systems. Berlin, Heidelberg, Springer, 299 p. DOI: 10.1007/978-3-540-85414-2_1

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Фокина Дарья Александровна – доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры информатики Высшей школы кибертехнологий, математики и статистики Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова, профессор кафедры бизнес-информатики и моделирования бизнес-процессов Сибирского федерального университета; e-mail: Fokina.DA@rea.ru

Джамай Екатерина Викторовна – доктор экономических наук, доцент, ученый секретарь института Центрального института авиационного моторостроения имени П. И. Баранова,

профессор кафедры управления высокотехнологичными предприятиями Московского авиационного института (национального исследовательского университета);
e-mail: secretar@ciam.ru.

Зинченко Александр Сергеевич – кандидат экономических наук, доцент кафедры математики Московского авиационного института (национального исследовательского университета);
e-mail: a.zinchenko80@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Daria A. Fokina – Dr. Sci. (Economics), Assoc. Prof., Prof., Informatics Department, Higher School of Cyber Technologies, Mathematics and Statistics, Plekhanov Russian University of Economics, Prof. Business Informatics and Business Process Modeling Department, Siberian Federal University;
e-mail: Fokina.DA@rea.ru

Ekaterina V. Dzhamay – Dr. Sci. (Economics), Assoc. Prof., Scientific Secretary, Central Institute of Aviation Motors, Prof., Management of High-tech Enterprises Department, Moscow Aviation Institute (National Research University);
e-mail: secretar@ciam.ru.

Alexander S. Zinchenko Sergeevich – Cand. Sci. (Economics), Assoc. Prof., Mathematics Department, Moscow Aviation Institute (National Research University);
e-mail: a.zinchenko80@gmail.com

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Фокина Д. А., Джамай Е. В., Зинченко А. С. Гибкие производственные системы как основа инновационного развития промышленных предприятий // Вестник Государственного университета просвещения. Серия: Экономика. 2024. № 2. С. 113–121.
DOI: 10.18384/2949-5024-2024-2-113-121

FOR CITATION

Fokina D. A., Dzhamay E. V., Zinchenko A. S. Flexible production systems as the basis for innovative development of industrial enterprises. In: *Bulletin of Federal State University of Education. Series: Economics*, 2024, no. 2, pp. 113–121.
DOI: 10.18384/2949-5024-2024-2-113-121