

Экономика и менеджмент предприятий и комплексов

Economy and management of enterprise and complexes

Научная статья

УДК 658.5

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16206>



СОВРЕМЕННЫЕ КОНЦЕПЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА: ПРИНЦИПЫ, УСЛОВИЯ

А.Е. Логинов ✉

Макрорегиональный филиал «Северо-Запад» ПАО «Ростелеком»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ Loginov.amur@gmail.com

Аннотация. Расширение рыночного спроса в части разнообразия и объема производства продукции предприятий, разработка новых цифровых технологий и интеллектуальных материалов, активные процессы цифровизации и цифровой трансформации предприятий обуславливают необходимость внедрения новых концепций организации производства. Спрос в условиях научно-технического развития отличается индивидуальностью параметров заказа конкретного клиента, ожиданием сжатых сроков исполнения, высокой производительности и необходимого качества. Размер партии в одно изделие, одну услугу становится признаком современного производства. Одновременно требуется и конкурентное преимущество в форме меньшего времени реагирования на заявку заказчика, поставки готовых изделий в кратчайшие сроки. Тенденция развития предприятий идет к тому, чтобы оперативно формировать технологическую линию и организацию производственной цепочки под конкретный заказ. В качестве объекта исследования в статье рассматриваются производственные системы и основные концепции современной организации производства: реконфигурируемость, оперативность, интеллектуальность, системность. Реконфигурация требует больших инвестиций при создании предприятия, отличается повышением производственных площадей предприятия и состава мощностей, но она обеспечивает сохранение эффективности производства в условиях нестабильности спроса, дает повышение конкурентоспособности и имиджа предприятию, гарантирует сохранение совокупности заказчиков. Цель исследования – провести анализ современных концепций организации производства и рассмотреть задачи, решаемые при внедрении системы реконфигурируемого быстро реагирующего производства. Авторы рассматривают реконфигурируемую производственную систему в виде адаптивной производственной системы, настройка которой осуществляется за счет изменения своей структуры, состава применяемых производственных и программных элементов. Цель такой адаптации – сохранение производительности и оперативности при изменении рынка заказов, внешних и внутренних условий. В статье сформулированы условия, принципы и рекомендации по их применению. Показано, что повышение эффективности производства должно опираться на комплексное применение современных концепций организации производства. Сделана математическая постановка задачи подбора состава производственных мощностей и задачи управления потоком поступающих заказов. Сформулирована оценка эффективности производства, включающая экономические и временные составляющие.

Ключевые слова: организация производства, рыночный спрос, новые цифровые технологии, технологическое развитие

Для цитирования: Логинов А.Е. (2023) Современные концепции организации производства: принципы, условия. П-Economy, 16 (2), 87–98. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16206>



MODERN CONCEPTS OF PRODUCTION ORGANIZATION: PRINCIPLES, CONDITIONS

A.E. Loginov ✉

North-West Macroregional Division, St. Petersburg, Russian Federation

✉ Loginov.amur@gmail.com

Abstract. Expansion of market demand in terms of the diversity and volume of enterprises production, development of new digital technologies and smart materials, active processes of digitalization and digital transformation of enterprises necessitate introduction of new concepts for organizing production. In the conditions of scientific and technological development, demand is distinguished by customized parameters of particular client's orders and expectations of tight deadlines, high performance and quality. A batch now comprising only a single item, a single service is becoming the feature of modern production. At the same time, there is also a need for a competitive advantage in the form of faster response and delivery of finished products to customers. The trend in the development of enterprises is to quickly form a technological line and organize the production chain for a specific order. As an object of the study, the article considers production systems and the main concepts of modern production organization: reconfigurability, efficiency, intelligence, consistency. Reconfiguration requires large investments in the creation of an enterprise, it is characterized by an increase in the production areas of the enterprise and the composition of capacities, but it ensures the preservation of production efficiency in conditions of unstable demand, increases the competitiveness and image of the enterprise, and guarantees the preservation of a set of customers. The purpose of the study is to analyze modern concepts of the organization of production and consider the tasks to be solved when introducing a system of reconfigurable responsive production. The authors consider a reconfigurable production system as an adaptive production system, the setting of which is carried out by changing its structure, the composition of the applied production and software elements. The purpose of such adaptation is to maintain productivity and efficiency when the order market, external and internal conditions change. The article formulates the conditions, principles and recommendations for their application. It is shown that the increase in production efficiency should be based on the integrated application of modern concepts of production organization. A mathematical formulation of the problem of selecting the composition of production capacities and the problem of managing the flow of incoming orders is presented. An assessment of production efficiency is formulated, including economic and time components.

Keywords: production organization, market demand, new digital technologies, technological development

Citation: Loginov A.E. (2023) Modern concepts of production organization: principles, conditions. *П-Еconomy*, 16 (2), 87–98. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.16206>

Введение

Расширение спроса в части разнообразия и объема продукции обуславливает особые задачи перед производством. На первом этапе развития промышленности основным направлением повышения эффективности и производительности было становление конвейерной технологии и массового производства, когда спрос существенно превышал возможности производства. В настоящее время идеология производства изменилась. Потребление приобрело явно выраженные черты индивидуальности. Каждое изделие, машина, услуга становятся индивидуальными по потребительским и конструктивным признакам. Как следствие массовое производство переходит в единичное, а производственное оборудование превращается в гибкий перестраиваемый комплекс. Меняются основные технологии, организация и масштабы производственных процессов.



Например, металлообработка заменяется на аддитивные технологии, литейные процессы – на прессование порошков, наплавка материалов – на лазерное напыление и т. д.

У предприятий появляется специфическая задача определения состава своих производственных мощностей, которые оказываются меняющимся фактором, в т.ч. задача необходимости выбора структуры производственных мощностей, исходя из ассортимента выпускаемой и ожидаемой в ближайшем будущем продукции. Вариантов ее решения несколько. Например, устанавливается полная линейка специализированного оборудования, перекрывающая все возможные варианты заказов, либо ставится универсальное оборудование с широкими возможностями по настройке. Экономически первый вариант ведет к недогрузке оборудования, второй – к завышенной цене производственных мощностей. В конкретной ситуации наиболее эффективным результатом оказывается некая промежуточная структура производственных мощностей.

Спрос в условиях научно-технического развития отличается индивидуальностью параметров заказа конкретного клиента, ожиданием сжатых сроков исполнения, высокой производительности и необходимого качества. Размер партии в одно изделие, одну услугу становится признаком современного производства.

Тенденция развития предприятий идет к тому, чтобы оперативно формировать технологическую линию и организацию производственной цепочки под конкретный заказ, перестраивать состав и режимы работы оборудования при изменении ассортимента продукции. Методология построения такого производства использует взаимодополняющую терминологию: гибкое производство, реконфигурируемое производство, быстрореагирующее производство, умное (цифровое) производство.

В качестве *объекта исследования* в статье рассматриваются производственные системы. *Предмет исследования* – современные концепции организации производства.

Цель исследования – провести анализ современных концепций организации производства и рассмотреть задачи, решаемые при внедрении системы реконфигурируемого быстро реагирующего производства.

Литературный обзор

На основе проведенного анализа публикаций по разработке концепций организации производства [1–3, 11–13] выделены четыре основных варианта: реконфигурируемое, быстро реагирующее, умное и системное производство. Каждое из них характеризуется спецификой принципов построения, условиями применения, целями деятельности.

Термин *реконфигурируемость* применительно к производству был введен Кусяком А. и Ли Г. [21].

Реконфигурируемая производственная система (QRM) – это адаптивная производственная система, настраивание которой осуществляется за счет *изменения своей структуры*, состава применяемых производственных и программных элементов. Цель такой адаптации – сохранение производительности и оперативности при изменении рынка заказов, внешних и внутренних условий [20, 22].

В конце 90-х годов Раджан Сури (американский ученый) разработал концепцию организации производства, которую он назвал *быстрореагирующим производством* (QRM). Концепция «быстро реагирующего производства» – это сокращение длительности выполнения комплекса работ при выполнении отдельного заказа за счет сокращения внутренних и внешних операций предприятия.

«Корни концепции QRM уходят в стратегию «конкуренция, основанная на времени» (time-based competition, TBC), которую предложили Дж. Сток и Т. Хаут в 1990 г. Модель TBC строится на использовании времени как главного фактора получения конкурентного преимущества: компания, прибегающая к такой стратегии, предоставляет товары и услуги потребителям быстрее конкурентов» [23].

Особо следует подчеркнуть принципиальную разницу между быстро реагирующим и бережливым производствами (двумя современными активно применяемыми концепциями). Первая предусматривает избыток и универсальность производственных единиц, что позволяет осуществлять адаптацию к особенностям выполнения заказа в конкретной ситуации. Вторая – это сжатие производства до минимума, ориентация на сокращение возможностей и резервов. В некотором смысле эти концепции ориентируют структуру производства в противоположных направлениях.

Реконфигурируемое производство будет экономически эффективным, если ожидаемые и фактические потоки заказов будут изменчивыми и перестройка технологической цепочки будет объективно необходима.

Следуя за Раджан Сури, выделим в QRM *ключевые положения* [1]:

- время выполнения операции или заказа (на это ориентированы все усилия управленческой структуры, исполнители производственных и обеспечивающих операций);
- структура производственных элементов (избыточность состава подразделений, возможность вариантов при соединении элементов в технологический процесс);
- системная динамика (ориентация на долговременный период);
- применение QRM в масштабе всего предприятия и его партнерских связей.

В работе Раджан Сури выделяются *сферы внимания* QRM – составляющие работ, где возможны задержка, потери времени:

- задержки в потоках информации;
- длительное время планирования;
- ожидании материалов на складе;
- времени выполнения заказа поставщиками;
- время логистических операций;
- избыточное незавершенное производство;
- вспомогательное время перестройки оборудования.

Умное производство – это производственная система, в которой цифровизация охватывает элементы производства:

- технологическая подготовка;
- производственный процесс;
- управление основными и вспомогательными процессами предприятия;
- управление обеспечивающими ресурсами производства.

Умное производство ориентируется на жизненный цикл продукции, охватывает цифровыми технологиями процессы разработки продукции, поставки материалов и полуфабрикатов, процесс производства, поставки готовых изделий заказчику, сопровождении и мониторинг показателей использования продукции, утилизацию материалов после окончания эксплуатационного периода.

Основные продукты новых производственных технологий – это CAD, CAE, CAE, CAPP, PLM – системы [24–26].

Сопоставляя реконфигурируемые производственные системы (QRM) и гибкие производственные системы (FMS), отметим, что они отличаются целями. FMS ориентировано на эффективное производство в условиях разнообразия производимых деталей в рамках одной номенклатурной группы. QRM стремится через принципиальную перестройку технологической цепочки повысить скорость реагирования на существенные изменения запросов рынков и клиентов. QRM также является гибким, но его гибкость охватывает семейство деталей. Гибкость необходима, если имеет место нестабильность потока заказов или внутренних условий. В этом случае гибкость сохраняет эффективность и производительность производства.

Преимуществом системы QRM является возможность изменения масштаба производства, при колебаниях потока заказов. Предпочтительное использование системы FMS имеет место при



небольших масштабах производства, в то время как для QRM этот показатель не является критическим, и масштаб производства может изменяться в широких пределах.

Трансформируемость — это решающий фактор успеха в современном производстве. Лишь предприятия, которые могут оперативно адаптировать свою структуру, и имеют для этого оперативные процессы планирования и внедрения изменений, могут успешно развиваться и конкурировать в условиях возрастающей динамики рынка [27].

Результаты и обсуждение

Сформулируем задачу. Требуется выбрать вариант структуры производственных мощностей, каждый из которых характеризуется номером i и размером инвестиций V_i . Ожидаемые варианты производственной программы обозначим номером j . Сочетание i -го варианта производственных мощностей и j -го варианта производственной программы характеризуется прибылью $r_{ij}(t)$ в год t .

Вероятность реализации j -го варианта производственной программы обозначим p_j .

Интегральная оценка выбора варианта (по i) предпочтительного состава инвестиций имеет вид:

1. Максимум математического ожидания суммарной интегральной прибыли за интервал планирования —

$$\max_i J_i = \max_i \sum_t \sum_j p_j r_{ij}(t). \quad (1)$$

2. Максимум интегральной прибыли за интервал планирования при реализации наименее предпочтительного варианта производственной программы для каждого из вариантов производственной мощности (пессимистические ожидания) —

$$\max_i \left(\min_j \sum_t p_j r_{ij}(t) \right). \quad (2)$$

3. Максимум интегральной прибыли за интервал планирования при реализации самого предпочтительного варианта производственной программы для каждого из вариантов производственной мощности (оптимистические ожидания) —

$$\max_i \left(\max_j \sum_t p_j r_{ij}(t) \right). \quad (3)$$

Сопоставляя современные варианты организации производства, следует отметить:

- реконфигурируемость — вариант организации производственных мощностей, ориентированный на несколько лет;
- быстро реагирующее производство — вариант целевой ориентации при выполнении конкретных заказов;
- умное производство — вариант построения системы управления.

Фактически это дополняющие друг друга методологии, учитывающие разные аспекты организации производства. Принимая их в совокупности, необходимо также добавить **концепцию системного подхода**.

Все современные модели управления ориентированы на системный учет всей цепочки: поставка ресурсов, производство продукции, сопровождение изделия в процессе использования и утилизации.

Эта цепочка соответствует понятию «жизненный цикл изделия» и она используется для оценки эффективности продукции, анализа составляющих затрат и потерь.

Проектируя, моделируя, рассчитывая составляющие жизненного цикла изделия, предприятие выделяет особо значимые элементы получения сырья, технологического превращения сырья в

готовую продукцию, доставки продукции заказчику, использования изделия, отслеживания всех материальных и информационных потоков, сопровождающих исходные материалы и конечный продукт.

Описывая реконфигурируемую производственную систему, выделим ее признаки, принципы и характеристики.

Признаки реконфигурируемого производства:

- производственная мощность в масштабе и структуре адаптируется к колебаниям спроса (потока заказов);
- при появлении изменений в очередном заказе производственный процесс адаптируется за счет перестройки технологического процесса;
- перестройка технологического процесса может осуществляться оперативно и с небольшими временными и стоимостными затратами;
- реконфигурация технологического процесса и организации производства рассматривается как необходимый элемент.

Основные принципы реконфигурируемого производства:

- использование новых способов организации процесса выполнения работ;
- стремление к минимизации времени выполнения заказа;
- управление жизненным циклом (всей цепочкой работ) создания, использования и утилизации продукции;
- исключение операций и работ, не добавляющих полезности продукту;
- минимизация хранения материалов и узлов на складе в процессе изготовления продукта;
- исключение «заделов на будущее»;
- исключение завышения планируемого времени выполнения заказа, как страховой гарантии «своевременного выполнения».

Характеристики реконфигурируемых производственных систем:

- модульность;
- настраиваемая гибкость структуры;
- настраиваемый масштаб;
- возможность диагностики [6, 7].

Эти характеристики, введенные профессором Й. Кореном в 1995 г., применимы к проектированию всей производственной системы, а также к ее компонентам: информационным потокам, используемому оборудованию, организации производства, программному обеспечению.

Типичный QRM будет иметь несколько из этих признаков, принципов, характеристик, но не обязательно все. Обладая ими, QRM:

- оперативно реагирует на непредсказуемые события, такие как внезапные изменения рыночного спроса или неожиданные сбои оборудования;
- сокращает время перестройки процессов при освоении производства новых продуктов;
- оперативно регулирует объемы производства с учетом колебаний спроса;

Идеальная реконфигурируемая система обеспечивает эти функциональные возможности и производственную мощность, которые необходимы, и могут экономически регулироваться именно тогда, когда это необходимо [8].

Реконфигурация требует больших инвестиций при создании предприятия, отличается повышением производственных площадей предприятия и состава мощностей, но она обеспечивает сохранение эффективности производства в условиях нестабильности спроса, дает повышение конкурентоспособности и имиджа предприятию, гарантирует сохранение совокупности заказчиков.

Управленческие решения в реконфигурируемом быстро настраиваемом производстве включают:

стратегические условия

1. Переход от конвейерной и функциональной структуры производства к центрам сборки (обработки, полного исполнения). Такой центр – это частично локальная трудовая и производственная структура. Она частично универсальна по возможностям и самостоятельна в организации работ.

2. Обучение персонала смежным профессиям, повышение квалификации работающих позволяет в условиях нестабильности потока заказов управлять имеющимися трудовыми ресурсами.

тактические условия

3. Стратегический план загрузки мощностей должен иметь запас не менее 25 %. Такой запас необходим, чтобы оперативно реагировать на колебания спроса, сбои в поставках. Колебание внешних требований компенсируется адаптацией производства и тем самым удерживает заказчиков.

4. Стратегия оказывается эффективной, если имеет место мелкосерийный и индивидуальный характер заказов, варьировании признаков заказов, повышенной требовательности заказчиков (рыночная власть покупателей по М. Портеру).

оперативные действия

5. Состав работ ячейки и последовательность их взаимодействия в рамках конкретного проекта может меняться.

6. Команда ячейки независима при выполнении планового задания. Этот признак важен для реализации адаптивного процесса. Руководитель производственной ячейки может выбирать предпочтительные инструменты бизнес-процесса, опираясь на имеющиеся ресурсы. Для чего необходим запас в производственных возможностях и свобода в управленческих решениях.

7. Поиск путей сокращения критической цепочки операций.

Целевой показатель – время выполнения заказа

В условиях высокой конкуренции, когда качество и ассортимент продукции и услуг у предприятий выравниваются, главным фактором, рассматриваемым потребителем, является время реагирования поставщика (исполнителя). Время выполнения заказа становится фактором номер один. Оно связывается с успешностью бизнеса. Предприятие-поставщик готово идти на повышение своих расходов (при сохранении цены) ради сокращения времени выполнения заказа¹.

Однако, время выполнения заказа влияет двойственно на деятельность предприятия.

1. Во-первых, сокращение времени работ влечет снижение затрат. Значительная часть себестоимости работ пропорциональна времени их выполнения. Оплата труда, энергетические расходы, доля условно-постоянных расходов снижаются пропорционально времени работ, и повышают прибыль предприятия. Рассматривая потери времени, можно сформировать рейтинг их приоритетности:

- задержки в потоках управленческой информации;
- задержки в перемещениях материалов и комплектующих;
- задержки в реагировании партнеров.

Высокая значимость времени выполнения заказа влечет необходимость его разделения на составляющие. Заказчик выделяет:

- время реагирования предприятия на посланную заявку;
- время оформления договорных отношений;
- время исполнения заказа;
- время доставки заказанной продукции.

¹ Руденко О. (2019) От мышления, основанного на затратах – к мышлению, основанному на времени. [online] Available at: <https://nsk.dk.ru/news/ot-myshleniya-osnovannogo-na-zatratah-k-myshleniyu-osnovannomu-na-vremeni-237125599>

Эти составляющие имеют разное восприятие заказчиком и оказывают различное влияние на имидж предприятия – исполнителя.

2. Во-вторых, меньшее время выполнения работ оказывается решающим конкурентным фактором. При сопоставимых качестве и цены заказчик (покупатель) ориентируется на исполнителя с меньшим сроком выполнения работ. Как следствие повышается общая сумма заказов и интегральная прибыль предприятия.

Оценочными показателями, которые имеются у каждого процесса выполнения заказа, являются время и стоимость (затраты) его выполнения. Их стараются снизить, понимая под этим оптимизацию.

Распределяя составляющие поступившего заказа по производственным ячейкам, решается задача минимума

$$F = a_1 T/T_0 + a_2 C/C_0 + a_3 S/S_0, \quad (4)$$

где T – время выполнения заказа (критическое время выполнения заказа); C – себестоимость работ; S – сопутствующие затраты; a_i – коэффициенты значимости составляющих оценки (управленческая оценка значимости для конкретного заказа двух оценок); T_0 , C_0 , и S_0 – соответствующие плановые показатели.

Параметр F в выражении (4) представляет собой интегральную взвешенную оценку результатов выполнения конкретного заказа с учетом экспертных значений коэффициентов a_i .

Весовые коэффициенты a_i в выражении (4) отражают значимость времени выполнения заказа T , затрат на выполнение заказа C и сопутствующих затрат S

$$0 \leq a_i \leq 1, \quad i = 1, 2, 3. \quad (5)$$

Направляя поступивший заказ на ту или иную производственную ячейку, учитывается условие:

$$t_j + T_j + h_j \leq R_j, \quad (6)$$

где t_j – трудоемкость поступившего заказа для i -й производственной ячейки; T_j – имеющаяся загрузка i -й производственной ячейки на момент принятия решения; h_j – ожидаемое поступление трудоемкости в контролируемый интервал время для i -й производственной ячейки.

Если время выполнения заказа в технологической цепочке меньше нормативного или если у предприятия имеется запас производственных мощностей, то можно предложить расширенный состав показателей полезности продукции и повысить цену, что даст дополнительную прибыль. Привлечение новых клиентов реализуется через оперативность выполнения заказов, расширение удовлетворенности заказчика за тоже время выполнения заказа, предложение более полезной продукции в рамках стандартного заказа.

Заключение

Применяя сформулированные условия, принципы и рекомендации для конкретного производства, необходимо учитывать:

- особенности бизнес-процессов;
- разнообразие заказов;
- предсказуемость времени поступления очередного заказа;
- степень неопределенности плановой загрузки;
- индивидуальность заказов («под клиента», наличие выбираемых индивидуально дополнительных функций).

Первоочередные задачи при внедрении системы реконфигурируемого – быстро реагирующего – умного производства:

- прогнозирование динамики потока заказов;
- формирование производственных центров;
- выбор состава производственных и инструментальных мощностей;
- определение уровня запаса производственной мощности;
- разработка алгоритма управления потоком выполнения заказов и загрузкой производственных ячеек;
- построение системы мотивации, ориентированной на сокращение времени выполнения заказов;
- учет в системе управления жизненного цикла изделий и всей цепочки поставок, производства и сопровождения;
- рассмотрение стратегической задачи построение динамики жизненного цикла производственного комплекса в условиях стратегии изменения рыночного спроса.

Направления дальнейших исследований

Дальнейшее исследование связано с конкретизацией высказанных положений в примере конкретного производства, а также их рассмотрением применительно к современным предприятиям сферы услуг. Это позволит уточнить, апробировать и показать достоверность высказанных принципов по организации современного производства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сури Р. (2013) *Время – деньги. Конкурентное преимущество быстрореагирующего производства*, М.: БИНОМ. Лаборатория знаний.
2. Koren Y., Jovane F., Heisel U., Moriwaki T., Pritschow G., Ulsoy G., VanBrussel H. (1999) Reconfigurable manufacturing systems. In: *CIRP Annals* 48 (2), 6–12.
3. Балашова Е.С., Владимиров С.С. (2020) Производственная система как концепция управления эффективностью промышленных предприятий *Современные проблемы инновационной экономики*. 7, 1–9. https://doi.org/10.52899/9785883036186_1
4. Koren Y., Kota S. (1999) *Reconfigurable Machine Tools*, U.S. Patent 5, 943, 750.
5. Мысова Е.Э., Балашова Е.С. (2018) Анализ методик внедрения бережливого производства на промышленных предприятиях с учетом специфики российской промышленности. *Противоречия и тенденции развития современного российского общества. Сборник научных статей Всероссийской научно-практической конференции. Московский университет им. С.Ю. Витте, филиал в г. Сергиевом Посаде*, 172–181.
6. Koren Y., Ulsoy A.G. (2002) *Reconfigurable manufacturing system having a production capacity, method for designing same, and method for changing its production capacity*. US Patent 6, 349, 237.
7. Landers R.G., Min B.-K., Koren Y. (2001) Reconfigurable Machine Tools, *CIRP Annals*, 50 (1), 269–274. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)62120-9](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)62120-9)
8. Mehrabi M.G., Ulsoy A.G., Koren Y. (2000) Reconfigurable manufacturing systems: Key to future manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 11 (4), 403–419.
9. Koren Y. (2010) Customized, Personalized and Reconfigurable Products. In: *The global manufacturing revolution: product-process-business integration and reconfigurable systems*. John Wiley & Sons, Inc., 72–102. <https://doi.org/10.1002/9780470618813>
10. Koren Y., Katz R. (2003) *Reconfigurable apparatus and method for inspection during a manufacturing process*. US Patent 6, 567, 162.
11. Koren Y., Hu S.J., Weber T. (1998) Impact of manufacturing system configuration on performance. *CIRP Ann*, 1, 689–698.
12. Maier-Sperdelozzi V., Koren Y., Hu S.J. (2003) Convertibility measures for manufacturing systems. *CIRP Ann*, 52 (1), 367–370.

13. Freiheit T., Koren Y., Hu S.J. (2004) Productivity of parallel production lines with unreliable Machines and material handling" In: *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 1 (1), 98–103, <https://doi.org/10.1109/TASE.2004.829410>
14. Tang L., Yip-Hoi D., Wang W., Koren Y. (2004) Concurrent line-balancing, equipment selection and throughput analysis for multi-part optimal line design. *Int J Manuf Sci Prod*, 6 (1), 71–81.
15. Tang L., Koren Y., Yip-Hoi D.M., Wang W. (2006) Computer-Aided Reconfiguration Planning: An Artificial Intelligence-Based Approach. *ASME. J. Comput. Inf. Sci. Eng.*, 6 (3), 230–240. <https://doi.org/10.1115/1.2218369>
16. Moon Y., Kota S. (2002). Design of Reconfigurable Machine Tools. *ASME. J. Manuf. Sci. Eng.*, 124 (2), 480–483. <https://doi.org/10.1115/1.1452748>
17. Almeida E.E., Luntz J.E., Tilbury D.M. (2007) Event-Condition-Action Systems for Reconfigurable Logic Control. In: *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 4 (2), 167–181. <https://doi.org/10.1109/TASE.2006.880857>
18. Liu J., Shi J., Hu S.J. (2006) Quality Assured Setup Planning Based on the Stream-of-Variation Model for Multi-Stage Machining Processes. In: *Proceedings of the ASME 2006 International Manufacturing Science and Engineering Conference. Manufacturing Science and Engineering*, 2006, 529–538.
19. Hu S.J., Koren Y. (1997) Stream-of-Variation Theory for Automotive Body Assembly, *CIRP Annals*, 46 (1), 1–6. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)60763-X](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)60763-X)
20. Данилов А.А., Силкина Г.Ю. (2020) Принципы функционирования промышленного предприятия в условиях устойчивого развития. *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки*. 13 (5), 82–94. <https://doi.org/10.18721/JE.13506>
21. Kusiak A., Lee G.H. Design of components and manufacturing systems for reconfigurability. (1995) In: *Proceedings of the 1st World Conference on Integrated Design and Process Technology*, 14–20.
22. Деннис Брендл (2016) «Умное» производство: конвергенция различных составляющих. *Control Engineering Россия*.
23. Ассен М., Берг Г., Петерсма П. (2014) *Ключевые модели менеджмента. 60 моделей, которые должен знать каждый менеджер*. М.: Бином.
24. Малкина И.В. (2017) CALS/ИПИ-технологии в формировании компьютерной системы качества изделий автомобилестроения. *Технология машиностроения и материаловедение*, 1, 9–12.
25. Дударева О.В., Аракчеева Д.В., Дударев Д.Н. (2020) Концептуальные аспекты перехода к умному производству в условиях цифровизации. *Организатор производства*, 4, 7–15.
26. Глухов В.В., Колобов А.В., Игумнов Е.М. (2020) Методика оптимизации набора инструментов для повышения эффективности бизнес-системы. *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки*, 13 (5), 95–105. <https://doi.org/10.18721/JE.13507>
27. Родионова В.Н., Каблашова И.В., Логунова И.В., Кривякин К.С. (2022) Методический подход к исследованию направлений повышения эффективности организации производства на предприятии. *Организатор производства*, 1, 36–51. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2022.52.30.004>

REFERENCES

1. Suri R. (2013) *Vremya – dengi. Konkurentnoye preimushchestvo bystroreagiryushchego proizvodstva*, М.: BINOM. Laboratoriya znaniy.
2. Koren Y., Jovane F., Heisel U., Moriwaki T., Pritschow G., Ulsoy G., VanBrussel H. (1999) *Reconfigurable manufacturing systems*. In: *CIRP Annals* 48 (2), 6–12.
3. Balashova Ye.S., Vladimirov S.S. (2020) Proizvodstvennaya sistema kak kontseptsiya upravleniya effektivnostyu promyshlennykh predpriyatiy *Sovremennyye problemy innovatsionnoy ekonomiki*. 7, 1–9. https://doi.org/10.52899/9785883036186_1
4. Koren Y., Kota S. (1999) *Reconfigurable Machine Tools*, U.S. Patent 5, 943, 750.
5. Mysova Ye.E., Balashova Ye.S. (2018) Analiz metodik vnedreniya berezhlivogo proizvodstva na promyshlennykh predpriyatiyakh s uchetom spetsifiki rossiyskoy promyshlennosti. *Protivorechiya i tendentsii razvitiya sovremennogo rossiyskogo obshchestva. Sbornik nauchnykh statey Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Moskovskiy universitet im. S.Yu. Vitte, filial v g. Sergiyevom Posade*, 172–181.

6. Koren Y., Ulsoy A.G. (2002) *Reconfigurable manufacturing system having a production capacity, method for designing same, and method for changing its production capacity*. US Patent 6, 349, 237.
7. Landers R.G., Min B.-K., Koren Y. (2001) Reconfigurable Machine Tools, *CIRP Annals*, 50 (1), 269–274. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)62120-9](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)62120-9)
8. Mehrabi M.G., Ulsoy A.G., Koren Y. (2000) Reconfigurable manufacturing systems: Key to future manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 11 (4), 403–419.
9. Koren Y. (2010) Customized, Personalized and Reconfigurable Products. In: *The global manufacturing revolution: product-process-business integration and reconfigurable systems*. John Wiley & Sons, Inc., 72–102. <https://doi.org/10.1002/9780470618813>
10. Koren Y., Katz R. (2003) *Reconfigurable apparatus and method for inspection during a manufacturing process*. US Patent 6, 567, 162.
11. Koren Y., Hu S.J., Weber T. (1998) Impact of manufacturing system configuration on performance. *CIRP Ann*, 1, 689–698.
12. Maier-Sperdelozzi V., Koren Y., Hu S.J. (2003) Convertibility measures for manufacturing systems. *CIRP Ann*, 52 (1), 367–370.
13. Freiheit T., Koren Y., Hu Y. (2004) Productivity of parallel production lines with unreliable Machines and material handling In: *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 1 (1), 98–103, <https://doi.org/10.1109/TASE.2004.829410>
14. Tang L., Yip-Hoi D., Wang W., Koren Y. (2004) Concurrent line-balancing, equipment selection and throughput analysis for multi-part optimal line design. *Int J Manuf Sci Prod*, 6 (1), 71–81.
15. Tang L., Koren Y., Yip-Hoi D.M., Wang W. (2006) Computer-Aided Reconfiguration Planning: An Artificial Intelligence-Based Approach. *ASME. J. Comput. Inf. Sci. Eng.*, 6 (3), 230–240. <https://doi.org/10.1115/1.2218369>
16. Moon Y., Kota S. (2002). Design of Reconfigurable Machine Tools. *ASME. J. Manuf. Sci. Eng.*, 124 (2), 480–483. <https://doi.org/10.1115/1.1452748>
17. Almeida E.E., Luntz J.E., Tilbury D.M. (2007) Event-Condition-Action Systems for Reconfigurable Logic Control. In: *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 4 (2), 167–181. <https://doi.org/10.1109/TASE.2006.880857>
18. Liu J., Shi J., Hu S.J. (2006) Quality Assured Setup Planning Based on the Stream-of-Variation Model for Multi-Stage Machining Processes. In: *Proceedings of the ASME 2006 International Manufacturing Science and Engineering Conference. Manufacturing Science and Engineering*, 2006, 529–538.
19. Hu S.J., Koren Y. (1997) Stream-of-Variation Theory for Automotive Body Assembly, *CIRP Annals*, 46 (1), 1–6. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)60763-X](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)60763-X)
20. Danilov A.A., Silkina G.Yu. (2020) Printsipy funktsionirovaniya promyshlennogo predpriyatiya v usloviyakh ustoychivogo razvitiya. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskkiye nauki*. 13 (5), 82–94. <https://doi.org/10.18721/JE.13506>
21. Kusiak A., Lee G.H. Design of components and manufacturing systems for reconfigurability. (1995) In: *Proceedings of the 1st World Conference on Integrated Design and Process Technology*, 14–20.
22. Dennis Brendl. (2016) «Umnoye» proizvodstvo: konvergentsiya razlichnykh sostavlyayushchikh. *Control Engineering Rossiya*.
23. Assen M., Berg G., Petersma P. (2014) *Klyuchevyye modeli menedzhmenta. 60 modeley, kotoryye dolzhen znat kazhdy menedzher*. M.: Binom.
24. Malkina I.V. (2017) CALS/IPI-tehnologii v formirovaniy kompyuternoy sistemy kachestva izdeliy avtomobilstroyeniya. *Tekhnologiya mashinostroyeniya i materialovedeniye*, 1, 9–12.
25. Dudareva O.V., Arakcheyeva D.V., Dudarev D.N. (2020) Kontseptualnyye aspekty perekhoda k umnomu proizvodstvu v usloviyakh tsifrovizatsii. *Organizator proizvodstva*, 4, 7–15.
26. Glukhov V.V., Kolobov A.V., Igumnov Ye.M. (2020) Metodika optimizatsii nabora instrumentov dlya povysheniya effektivnosti biznes-sistemy. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskkiye nauki*, 13 (5), 95–105. <https://doi.org/10.18721/JE.13507>
27. Rodionova V.N., Kablashova I.V., Logunova I.V., Krivyakin K.S. (2022) Metodicheskiy podkhod k issledovaniyu napravleniy povysheniya effektivnosti organizatsii proizvodstva na predpriyatii. *Organizator proizvodstva*, 1, 36–51. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2022.52.30.004>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT AUTHOR

ЛОГИНОВ Александр Евгеньевич

E-mail: Loginov.amur@gmail.com

Aleksandr E. LOGINOV

E-mail: Loginov.amur@gmail.com

Поступила: 22.02.2023; Одобрена: 13.03.2023; Принята: 20.03.2023.

Submitted: 22.02.2023; Approved: 13.03.2023; Accepted: 20.03.2023.