

ЗАДАЧА ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА НА ПРОИЗВОДСТВЕ

**Цвиркун А. Д.¹, Дранко О. И.²,
Резчиков А. Ф.³, Степановская И. А.⁴
(ФГБУН Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)
Богомолов А. С.⁵, Кушников В. А.⁶**

*(Саратовский НЦ РАН, СФГБОУ ВО «Саратовский
национальный исследовательский государственный
университет имени Н.Г. Чернышевского», Саратов)*

Представлены результаты разработок по решению задачи повышения производительности труда на средних и крупных предприятиях базовых отраслей экономики России. Дается формальная и содержательная постановка задачи, излагается подход к решению на основе определения коэффициента эффективности. Проводится анализ известных подходов к цифровому управлению и оптимизации производственных процессов. На основании проведенного анализа обосновывается вывод, что повышение производительности труда, как правило, не рассматривается как самоцель. Данный целевой процесс используется для формирования индикаторов интенсивности производства. Глобализация стратегического планирования меняет ситуацию и делает востребованным планирование устойчивого роста производительности труда для системообразующих предприятий. В процессе решения задачи разработана информационно-логическая схема формирования комплексов мероприятий по повышению производительности труда. В этой схеме в отдельные типы выделяются мероприятия, касающиеся ручного и автоматизированного труда, администрирования и документооборота. Мероприятия этих типов соотносятся с различными подзадачами основной задачи. При этом подзадачи выделяются следующие: развитие персонала, повышение мотивации, совершенствование орудий труда, развитие обеспечения ресурсами. На основе рассматриваемой схемы формируются и сравниваются два комплекса мероприятий по основным направлениям достижения цели.

Ключевые слова: бизнес-моделирование, стратегия, повышение производительности труда.

¹ Анатолий Данилович Цвиркун, д.т.н., профессор (tsvirkun@ipu.ru).

² Олег Иванович Дранко, д.т.н., доцент (drankooi@ipu.ru).

³ Александр Федорович Резчиков, д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН (rw4cy@mail.ru).

⁴ Ираида Александровна Степановская, к.т.н., с.н.с. (irstepan@ipu.ru).

⁵ Алексей Сергеевич Богомолов, д.т.н., доцент (bogomolov@iptmuran.ru).

⁶ Вадим Алексеевич Кушников, д.т.н., профессор (kushnikoff@yandex.ru).

1. Введение

Задача повышения к 2030 году производительности труда (ПТ) средних и крупных предприятий базовых и сырьевых отраслей экономики, а также учреждений социальной сферы не менее чем на 40 % поставлена в Национальном проекте России «Производительность труда». Это позволит сократить отставание от стран-лидеров, отмечаемое в различных исследованиях. В частности, в [2] приводится сравнение стран по средней выработке одного занятого, долл. в час (рис. 1).

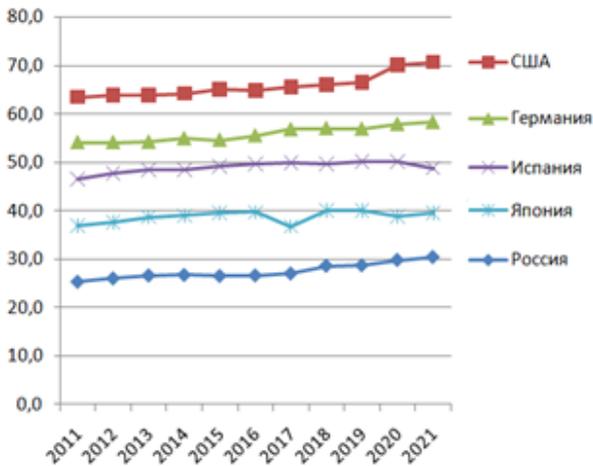


Рис. 1. Средняя выработка одного занятого, долл. в час

При оценке ПТ следует учитывать, что Россия является страной с достаточно большим количеством населения и вслед за этим – большим количеством занятых, которое входит в знаменатель средней ПТ. Однако из данных CompaniesMarketCap.com видно, что ряд стран с достаточно большим количеством занятых (выше медианы – 508 995 чел.) имеет среднюю ПТ выше медианы – 397 тыс. долл. в год: США, Китай, Япония и др. Среди них в Китае и США население больше, чем в России. В Японии население на 19% меньше, чем в России, но преимущество ПТ Японии составляет порядка 30%.

Каждый новый технологический уклад привносит инновационные принципы организации производства, приводящие к кратному увеличению ПТ. Современная эпоха развития экономики знаний порождает цифровые технологии моделирования и оптимизации производственных процессов, способствующие повышению ПТ [1, 6].

Иллюстративным примером может служить динамическая оптимизация производственного процесса по критериям, формулируемым в контексте управления по принципу Just-In-Time [4], применимому как к классическому управлению запасами, так и к регулированию вовлеченности работников в деловой процесс, а также управлению поставками продукции.

Альтернативным подходом к цифровому регулированию ПТ служит организация производства низкокзатратной продукции для массового потребительского рынка при высокой покупательной способности населения [5].

Еще один вариант оптимизации производственного процесса представляет макроэкономический подход, предполагающий сбалансированное решение трех проблем: внедрение прогрессивных технологий за счет основного капитала; подготовку кадров (квалификация, образование и др.) на основе социально-экономических механизмов; организационное управление персоналом и производством [5].

Приведенные методы цифровой оптимизации производственных процессов раскрывают механизмы воздействия на ПТ в цифровой экономике, оценивают ее динамику, но не рассматривают ее рост как целевую функцию оптимизации. Отсутствие четкой системы управления производительностью предприятия существенно ограничивает процессы стратегического планирования развития цифровой экономики на уровне отраслей, регионов и страны в целом. Актуальность этой проблемы подтверждается Национальным проектом «Производительность труда», федеральным проектом «Системные меры по повышению производительности труда», федеральным проектом «Адресная поддержка повышения производительности труда», Президентской программой подготовки кадров «Лидеры производительности».

На этом пути предполагается замена рутинного ручного труда роботизированными технологиями [27], существенное усиление роли «цифрового труда» человека по математическому моделированию и оптимизации производственных процессов, а также развитие «цифровых платформ занятости» [3], сопровождающих стационарную и мобильную пространственно распределенную рабочую среду обслуживания исполнителями услуг с клиентами-потребителями услуг.

Обозначенные аспекты приводят постановке задачи повышения ПТ, излагаемой ниже.

2. Формальная постановка и принцип решения задачи

Повышение производительности труда (ПТ) – сложная, многофакторная (человеческий и технологический факторы, внешние условия) задача со сложно формализуемыми динамическими связями, также множественными ограничениями и рисками. При поиске практически значимого решения такой задачи мы не можем ограничиваться исключительно формальными аналитическими методами. Требуется гибкий, комбинированный подход, объединяющий лучшие практики из различных методологий. Учитывая сказанное и имеющиеся наработки, описанные выше, мы предлагаем следующее понимание и принцип решения данной задачи.

Содержательно требуется наиболее эффективно (в смысле коэффициента эффективности, «Эффект/Затраты») повысить на заданном отрезке времени рассматриваемый показатель функционирования предприятия, избегая при этом нежелательных (экстремальных) отклонений множества других его показателей от рекомендуемых или ожидаемых значений.

Пусть $X_1(t), \dots, X_n(t)$ – выбранные ЛПР характеристики функционирования предприятия на отрезке времени $[t_n, t_k]$, $Y_1(t), \dots, Y_m(t)$ – влияющие на них параметры, принимающие значения на множествах Y_1, \dots, Y_m .

Рассматривается множество комплексов мероприятий $\{P_1, \dots, P_k\}$, влияющих на $X_1(t), \dots, X_n(t)$. Требуется определить такой из этих комплексов, при котором произойдет повышение значений $Z_1(X_1(t), \dots, X_n(t), Y_1(t), \dots, Y_m(t)), \dots, Z_k(X_1(t), \dots, X_n(t),$

$Y_1(t), \dots, Y_m(t)$) и сохранение их на определенном уровне Z'_1, \dots, Z'_k . Таким образом, требуется достижение условия

$$(1) \quad Z_i(t) \geq Z'_i,$$

$i = 1, \dots, k$, при всех $t \in [t_0, t_k]$ и некотором $t_0 \geq t_n$, при всех рассматриваемых $Y_i(t) \in Y_i$, при условии сохранения допустимых значений переменных

$$(2) \quad F(X_1(t), \dots, X_n(t), Y_1(t), \dots, Y_m(t)) \leq 0$$

на отрезке $[t_n, t_k]$, где $F(X_1(t), \dots, X_n(t), Y_1(t), \dots, Y_m(t))$ – заданная вектор-функция при условии сохранения желаемого ЛПП значения коэффициента эффективности $k(P) = R(P)/C(P)$, где $R(P)$ и $C(P)$ – эффект от реализации комплекса P в процентах повышения ПТ и затраты, связанные с реализацией P .

3. Современные подходы к повышению производительности труда на производственных предприятиях

Современные методологические подходы к повышению производительности труда на производстве включают цифровизацию, автоматизацию, бережливое производство, устойчивые практики и развитие персонала. Эти стратегии основаны на интеграции технологий Industry 4.0 и гибких методологий управления [11].

Систематический обзор современных международных публикаций позволяет выделить следующие основные тренды в методах повышения ПТ на промышленных предприятиях.

1. Цифровизация и внедрение Industry 4.0, Industry 5.0. Цифровизация производства с использованием технологий Industry 4.0 [34] включает использование интернета вещей, больших данных, искусственного интеллекта и роботов, что позволяет снизить время простоев и повысить эффективность работы производственных линий. Наряду с вопросами автоматизацией сборочных линий с помощью роботов [38] исследуются задачи нахождения целесообразного баланса при их взаимодействии с человеком [32, 33].

Другое важное направление – использование датчиков IoT для мониторинга расположения и состояния инструментов [14] и оборудования [19] в реальном времени. Прогнозное обслужи-

вание промышленного оборудования [36] основывается на результатах машинного обучения [21]. Эти направления получают развитие при переходе к индустрии 5.0 [26, 30].

2. Методологии бережливого производства (Lean Manufacturing) [28]. Бережливое производство направлено на повышение эффективности процессов за счет устранения потерь времени, материалов и энергии. Фундаментальной основой является Кайджен – японская философия и методология непрерывного улучшения [17]. Метод Кайджен направлен на постепенные, но постоянные улучшения с вовлечением сотрудников всех уровней организации в процесс выявления и устранения проблем. Кайджен широко используется в производственных системах, таких как Toyota Production System (TPS) [23]. Система 5S (5С – сортировка, систематизация, содержание в чистоте, стандартизация, совершенствование (самодисциплина) [29] также основана на принципах бережливого производства. Наиболее эффективно методологии Кайджен и 5S работают в своей синергии: 5S обеспечивает дисциплину и порядок, которые необходимы для успешной реализации Кайджен: без организованного рабочего места улучшения могут быть менее эффективными; Кайджен поддерживает 5S, предотвращая возврат к хаосу: если рабочее место начинает загромождаться, Кайджен предлагает решения для устранения этой проблемы. Для выявления улучшений, осуществляемых с Кайджен и 5S, используются карты потока создания ценностей, Value Stream Mapping [8, 31]. В настоящее время технологии бережливого производства продолжают свое развитие при использовании искусственного интеллекта [22].

3. Адаптивное управление персоналом. Исследователи бережливого производства систематически всегда отмечали важную роль управления персоналом [12, 23]. Современные подходы к управлению персоналом включают гибкие графики работы, обучение сотрудников новым технологиям [24] и создание мотивационных программ. Принцип постоянного обучения сотрудников можно рассматривать как сплав методологии бережливого производства и адаптивного управления персоналом.

4. Гибкие производственные системы (Flexible Manufacturing Systems, FMS). Гибкие производственные системы позволяют

оперативно адаптироваться к изменениям в спросе или спецификациях продукции [10]. Они дают такие преимущества, как снижение времени на переналадку оборудования [37] и возможность выпуска небольших партий продукции без потери эффективности [23].

5. Автоматизация и роботизация производства. Роботы выполняют многие стандартные и повторяющиеся функции быстрее и точнее людей. Различные исследования [15] в странах – лидерах по производительности труда [40, 42] подтверждают существенное увеличение производительности труда за счет роботизации [40]. Дополнительная актуальность здесь возникает в условиях опасных, трудоемких и тяжелых работ [13]. При этом в индустрии 4.0, и тем более – в индустрии 5.0 речь идет не о максимальном исключении людей из процесса производства, а об их сбалансированной коллаборации с роботами [35].

6. Анализ данных и прогнозирование. В эту сферу входит использование современных технологий для аналитики данных [16] при решении большого количества различных задач, связанных с машиностроительным производством. Среди них прогнозирование спроса [39], отказов оборудования [21], оптимизация запасов [30], планирование [18, 20] и техническое обслуживание производства [9].

Основу решения задачи повышения ПТ предприятия или отрасли составляет комбинирование воздействия мероприятий по перечисленным направлениям, с учетом сопутствующих им затрат и планируемого в каждом конкретном случае эффекта. В России нам представляется целесообразным акцентировать внимание на реализации концепций бережливого производства и программ стимулирования мотивации сотрудников различных уровней, их непосредственной заинтересованности в повышении производительности труда.

4. Базовая структура комплексов мероприятий по повышению производительности труда

Анализ комплексов мероприятий по повышению ПТ в современных условиях дает возможность декомпозировать эти мероприятия по отношению к условному роду трудовой дея-

тельности (ручной и автоматизированный труд, администрирование и документообеспечение) и виду самих мероприятий в информационно-логической схеме, один из вариантов которой представлен ниже в таблицах 1–6.

Таблица 1. Повышение ПТ в части анализа и планирования

Ручной труд	Автоматизированный труд	Администрация	Документы
Планирование, хронометрирование операций.	Научная организация труда.	Анализ, выявление узких мест, оптимизация бизнес-процессов.	Планирование подготовки документов.
Управление изменениями и оптимизация взаимодействия между департаментом проектирования и производством: <ul style="list-style-type: none"> – спецификация продукции; – синхронизация продаж и производства в номенклатуре. 			
Согласование условий оптимизации на различных этапах производства. Проблема: следующий этап уменьшает или не использует в полной мере результаты оптимизации на предыдущем этапе. Наоборот: на следующем этапе нет возможности применить разработанные для него процедуры оптимизации, так как на предыдущем этапе не созданы условия для этого.			
Применение ИИ для генерирования и обоснования принимаемых решений.			

Таблица 2. Повышение ПТ в части развития организации труда

Ручной труд	Автоматизированный труд	Администрация	Документы
Организация внутрисменной работы.		Оптимизация пропорций между основным и неосновным (вспомогательный, коммерческий и административный) производственным персоналом.	Анализ исполнения хода документов и устранение повторных переделок, совершенствование логистики документов.
Снижение расходов за счет аутсорсинга.			
Оптимизация производственного планирования и контроля за выполнением заказов. Внедрение автоматизированных систем управления производством (MES-систем). Применение систем управления качеством.			

Таблица 3. Повышение ПТ в части развития персонала

Ручной труд	Автоматизированный труд	Администрация	Документы
Использование опыта, лучших практик, наставничество, дифференцированное обучение, обучение работе на новых оснащенных рабочих местах.	Повышение квалификации в средствах программирования, обучение работе на новых оснащенных рабочих местах.	Курсы, семинары, обмен опытом с лидерами, набор персонала под дефицитные квалификации, аутстафing.	
Программы непрерывного проф. обучения и повышения квалификации.		Использование системы КРП и регулярной оценки результатов работы для выявления потребностей в обучении.	

Таблица 4. Повышение ПТ в части развития мотивации

Ручной труд	Автоматизированный труд	Администрация	Документы
Ориентирование на лидеров.		Обратная связь с персоналом.	Создание стимулов к повышению личной ПТ и ПТ предприятия.
Создание личных стимулов к повышению своей ПТ и повышению ПТ на предприятии в целом.			

Таблица 5. Повышение ПТ в части развития орудий труда

Ручной труд	Автоматизированный труд
<p>Бережливое производство (оптимизация расстановки инструмента и оборудования), эргономика, оснащение и автоматизация рабочих мест. Применение превентивного и предиктивного технического обслуживания.</p> <p>Использование диагностических и мониторинговых систем для выявления и предотвращения поломок.</p> <p>Внедрение эффективного управления запасами запчастей.</p>	<p>Разработка и дополнительная параметризация моделей программирования, выбор целесообразных технологических параметров обработки деталей.</p> <p>Применение превентивного и предиктивного технического обслуживания.</p> <p>Использование диагностических и мониторинговых систем для выявления и предотвращения поломок. Внедрение эффективного управления запасами запчастей.</p>
Автоматизация проектирования (САД-системы) и расчетов (САЕ). Применение Agile и Lean методологий в разработке продуктов.	

Таблица 6. Повышение ПТ в части обеспечения ресурсами

Ручной труд	Автоматизированный труд	Администрация	Документы
Планирование обеспечения ресурсами.			Шаблонизация документов.
Оптимизация использования ресурсов и энергоэффективные технологии. Утилизация и переработка отходов. Внедрение экологически безопасных технологий и процедур.			
Оптимизация цепочек поставок и управление запасами. Автоматизация процессов закупок и снабжения. Внедрение систем мониторинга логистики и транспорта.			

Практические решения, приводящие к повышению ПТ, по нашему мнению, должны базироваться на комбинациях перечисленных в схеме воздействий. В эти комбинации будут входить мероприятия, которые направлены в соответствии с точками возможного роста системы в части повышения ПТ и при этом обеспечиваются выделяемыми ресурсами рассматриваемого предприятия. Общий план внедрения мероприятия по повышению ПТ задается информационно-логической схемой на рис. 2. Варианты результатов проверки условий в этой схеме объединены с действиями, которые сопоставляются этим вариантам, а ниже в блоках указаны ответственные за эти действия подсистемы.

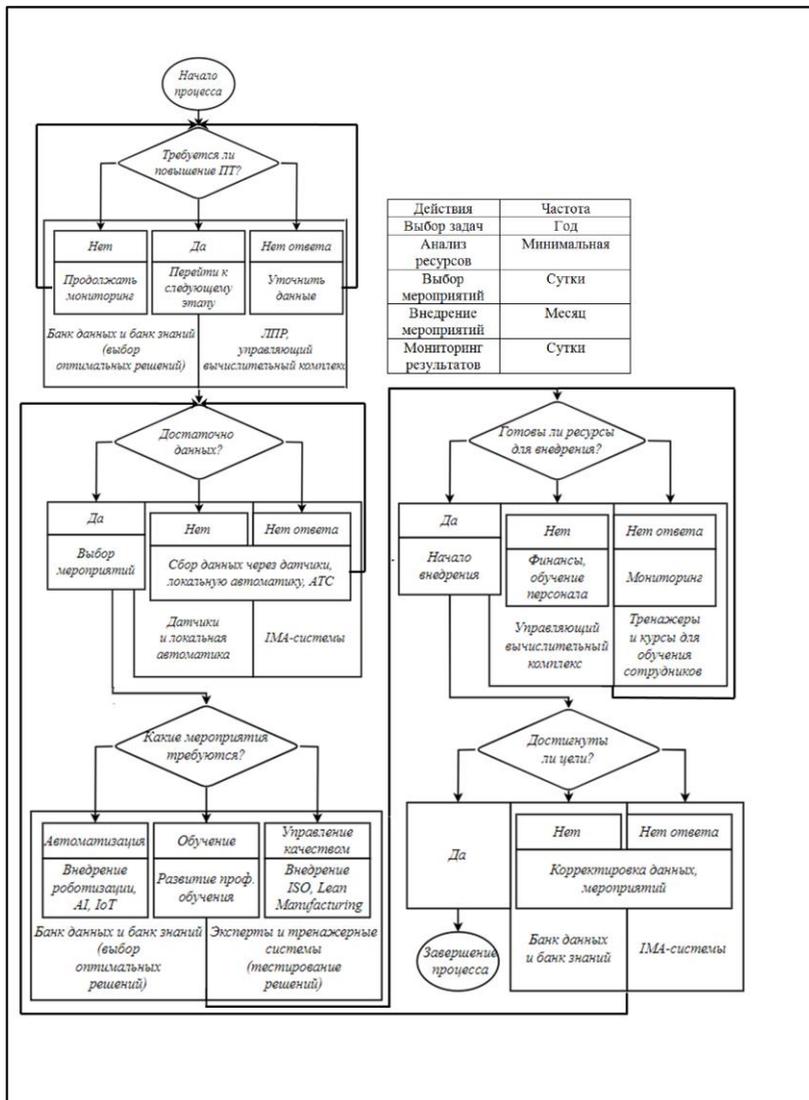


Рис. 2. Информационно-логическая схема принятия решений

5. Модельный пример комплексов мероприятий по повышению производительности труда

Пусть требуется повысить ПТ производственного предприятия численностью сотрудников 100–1000 человек на 10 и более процентов в течении 1 года.

В соответствии с формальной постановки рассматриваемой задачи, в качестве выбранных ЛПР характеристик функционирования предприятия $X_1(t), \dots, X_n(t)$ и внешних факторов $Y_1(t), \dots, Y_m(t)$, преимущественно определяющих ПТ $Z(X_1(t), \dots, X_n(t), Y_1(t), \dots, Y_m(t))$, рассмотрим следующие (берутся средние значения, характеризующие переменную или фактор):

$X_1(t)$ – выработка на 1 работника (ед. продукции/чел. или руб./чел.);

$X_2(t)$ – коэффициент использования оборудования;

$X_3(t)$ – трудоёмкость единицы продукции (часы/ед.);

$X_4(t)$ – уровень брака (% от общего выпуска);

$X_5(t)$ – время выполнения заказа (от сырья до готовой продукции);

$Y_1(t)$ – надёжность поставщиков (экспертная оценка);

$Y_2(t)$ – спрос на продукцию (рост к предыдущему периоду);

$Y_3(t)$ – тарифы на энергоносители (рост к предыдущему периоду);

$Y_4(t)$ – изменения в законодательстве (экспертная оценка);

$Y_5(t)$ – квалификация новых сотрудников (экспертная оценка).

Требуется выбрать комплекс мероприятий, влияющих на перечисленные переменные $X_1(t), \dots, X_n(t)$ и, таким образом, наряду со значениями внешних факторов $Y_1(t), \dots, Y_m(t)$, преимущественно определяющих значение ПТ $Z(X_1(t), \dots, X_n(t), Y_1(t), \dots, Y_m(t))$.

Рассмотрим два модельных комплекса мероприятий P_1 и P_2 , который были предложены ЛПР с этой целью. Комплекс мероприятий P_1 предполагает достижение цели за счет внедрения современных технологий, комплекс мероприятий P_2 – за счет уменьшения потерь и повышение вовлечённости сотрудников. Эти комплексы отражают основные направления решения проблемы и на практике могут использоваться в виде композиции.

Комплекс мероприятий P_1 : автоматизация и цифровизация процессов. Повышение производительности труда за счёт внедрения современных технологий.

1. Диагностика и анализ текущих процессов:

- Провести аудит бизнес-процессов с использованием методов хронометрирования.
- Выявить участки производства с наибольшими потерями времени и ресурсов.

Ориентировочный результат: повышение ПТ на 10%.

2. Внедрение MES-систем (Manufacturing Execution Systems):
Автоматизировать управление производственными процессами для мониторинга и оптимизации в реальном времени.

Интегрировать MES с системами управления качеством и учёта сырья.

Ориентировочный результат: снижение простоев на 10–30%.

3. Автоматизация проектирования и подготовки производства:

Внедрить системы CAD/CAE для ускорения проектирования деталей и узлов.

Установить программное обеспечение для автоматизации расчёта технологических процессов.

Ориентировочный результат: сокращение времени проектирования на 15–30%.

4. Мониторинг оборудования:

Установить системы IoT для диагностики оборудования в режиме реального времени.

Внедрить профилактическое обслуживание на основе данных.

Ориентировочный результат: повышение времени работы оборудования за счёт профилактики на 10–20%

5. Обучение сотрудников:

Провести тренинги по использованию новых систем и технологий.

Обучить персонал основам работы с большими данными для анализа производственных метрик.

Обучение по совмещению профессий.

Ориентировочный результат: улучшение взаимодействия и работы с системами, прирост эффективности на 20–30%.

Предполагаемый результат использования этого комплекса мероприятия включает следующие основные опции:

Увеличение объёмов выпуска (в стоимостном и количественном выражении) продукции без увеличения численности персонала, при наличии возможности реализации произведенной продукции.

Улучшение качества продукции за счёт оперативного выявления дефектов.

Снижение простоев оборудования.

Ключевые улучшения

- Устранение простоев оборудования за счёт IoT-мониторинга.

- Повышение скорости проектирования и производства благодаря внедрению CAD/CAE и MES-систем.

- Минимизация брака за счёт автоматизированного контроля.

Ожидаемое реалистичное повышение ПТ при внедрении комплекса мероприятий 1 равно 10–20% при условии успешного внедрения технологий.

Комплекс мероприятий P_2 : бережливое производство и развитие персонала. Уменьшение потерь и повышение вовлеченности сотрудников.

1. **Оптимизация производственных процессов:**

- Провести анализ рабочего времени с выявлением неэффективных операций.

- Реорганизовать производственные линии с учётом принципов бережливого производства (Lean).

Ориентировочный результат: сокращение времени операций на 7%.

2. **Совершенствование рабочего пространства:**

- Реализовать систему 5S (сортировка, соблюдение порядка, содержание в чистоте, стандартизация, совершенствование).

- Переработать логистику рабочего пространства для сокращения лишних движений сотрудников.

Ориентировочный результат: улучшение рабочего пространства и снижение временных потерь на 3%.

3. Стимулирование мотивации:

- Внедрить систему оценки КРІ с премированием за достижение производственных целей.
- Организовать программы наставничества для обмена опытом между работниками.

Ориентировочный результат: повышение ПТ на 5–20%.

4. Обучение и развитие:

- Запустить регулярные тренинги по эргономике и безопасности труда.
- Проводить внутренние соревнования и хакатоны для поиска идей по улучшению производственных процессов.

Ориентировочный результат: добавочный прирост на 5–20%.

Предполагаемый результат при использовании этого комплекса мероприятий включает:

- Снижение времени на выполнение операций.
- Увеличение вовлеченности сотрудников и улучшение корпоративной культуры.
- Экономия ресурсов и уменьшение экологической нагрузки.

Ключевые улучшения:

- Оптимизация рабочего пространства (5S) и сокращение потерь времени.
- Повышение мотивации и квалификации персонала.
- Уменьшение отходов и неэффективных операций.

Ожидаемое реалистичное ПТ: 5–10%, упор делается на постепенные изменения и вовлеченность сотрудников.

Для анализа рассматриваемых комплексов мероприятий необходимо оценить время их реализации и требуемые финансовые вложения. Оценка всех этих затрат в рассматриваемом модельном примере является условной и основана на общем представлении о типичных расходах на мероприятия, связанные с автоматизацией, внедрением Lean-подходов, обучением персонала и приобретением оборудования. Использовались отчёты и исследования по внедрению MES-систем и Lean-подходов

[17, 25, 30], включая дополнительные расходы на оборудование, обучение персонала и поддержку системы, внедрении автоматизации и Lean, статистические данные об обучении персонала и внедрении ИТ и публикации в специализированных изданиях (Automation World, Industry Week и др.).

Затраты на внедрение CAD/CAE-систем включают стоимость лицензий, обучение сотрудников для интеграции с существующими процессами. Внедрение IoT-решений [41] для мониторинга оборудования требует инвестиций в датчики, программное обеспечение и инфраструктуру для сбора и анализа данных. Затраты на обучение зависят от количества сотрудников, продолжительности и формы обучения (внутреннее или с привлечением внешних специалистов). Кроме того, эти затраты включают оплату обучения сотрудников вне их рабочего времени.

Затраты при реализации комплекса мероприятий 1 (автоматизация и цифровизация процессов с оценкой затрат).

1. Диагностика и анализ текущих процессов. Проведение аудита бизнес-процессов, включая хронометрирование и выявление узких мест: 1–2 мес., 1000–5000 у.е. (приглашение экспертов и использование аналитических инструментов).

2. Внедрение MES-систем. Установка системы управления производственными процессами и её интеграция с другими системами: 4–6 мес., 10000 у.е. (лицензия, внедрение, обучение персонала).

3. Автоматизация проектирования и подготовки производства. Внедрение CAD/CAE-систем для ускорения проектирования и оптимизации технологических процессов: 3–4 мес., 6000 у.е. на одно рабочее место (покупка лицензий и интеграция с производственными линиями).

4. Мониторинг оборудования. Установка IoT-датчиков для отслеживания состояния оборудования и профилактического обслуживания: 2–3 мес., 7000 у.е. (закупка оборудования и настройка).

5. Обучение сотрудников. Проведение тренингов по использованию новых технологий и систем: 1–2 мес., 2000 у.е. (услуги тренеров, методические материалы).

Общие затраты по комплексу мероприятий 1: 10–15 мес., 25000–30 000 у.е.

Этот комплекс мероприятий требует значительных временных затрат на внедрение технологий, интеграцию систем, настройку оборудования и обучение персонала.

Комплекс мероприятий 2 (бережливое производство и развитие персонала с оценкой затрат).

1. Оптимизация производственных процессов. Анализ рабочих процессов, их реорганизация с использованием принципов Lean: 3–4 мес., 4000 у.е. (работа консультантов и внутренний анализ).

2. Совершенствование рабочего пространства. Реализация системы 5S для улучшения порядка и эргономики: 2–3 мес., 2000 у.е. (организация рабочего пространства, обучение сотрудников).

3. Мероприятия по стимулированию и мотивации. Внедрение системы оценки КРП и программы премирования: 1–2 мес., 4000 у.е. (разработка системы и финансирование премий).

4. Обучение и развитие персонала. Проведение регулярных тренингов и организация внутренних мероприятий для сотрудников: 2–3 мес., 4000 у.е. (оплата тренеров и организация мероприятий).

Общие затраты по комплексу мероприятий 2: 6–9 мес., 12 000–16 000 у.е.

Этот комплекс мероприятий ориентирован на внедрение более простых решений, связанных с организацией труда и развитием сотрудников, и реализуется быстрее за счёт меньшей технической сложности мероприятий.

Сравнение рассматриваемых комплексов мероприятий по итоговым показателям приводится в таблице 7.

Таблица 7. Сравнение планов повышения ПТ

Комплекс мероприятий, P	P_1	P_2
Общие затраты, $C(P)$, тыс. у.е.	25–30	25–30
Время реализации, мес.	10–15	10–15
Эффект, $R(P)$ (прирост ПТ, %)	10–20	5–10
Коэффициент эффективности, $k(P)$	0,55	0,58

Интервальное вычисление [7] диапазона возможных значений коэффициента эффективности $k(P_1)$ для первого комплекса мероприятий дает в результате интервал $[0,33; 0,8]$ со средним значением 0,55, а $k(P_2)$ для второго комплекса – интервал $[0,31; 0,83]$ со средним 0,58. Поэтому в среднем более эффективным можно считать P_2 . При этом для конкретных предприятий сравнение P_1 и P_2 может иметь другой результат.

На рис. 3 величина коэффициентов $k(P_1)$ и $k(P_2)$ для рассматриваемых комплексов мероприятий отражена в виде градиента цвета, который направлен от большего значения коэффициента (темный) к меньшему его значению (светлый).

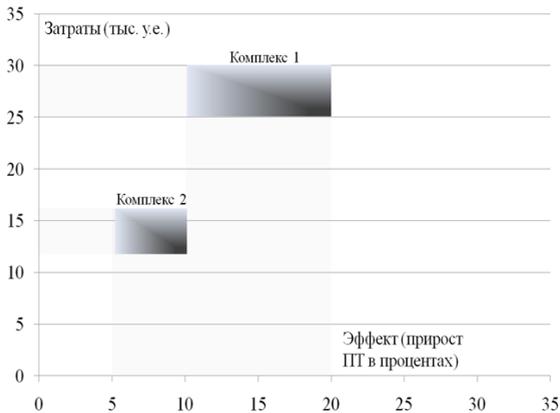


Рис. 3. Затраты и эффект комплексов мероприятий 1 и 2

В целом мероприятия из обоих комплексов не противоречат между собой и могут использоваться совместно. Но при этом может возникать необходимость разделения ресурсов между ними. Например, человеческого ресурса, когда на рассматриваемом временном горизонте имеющийся коллектив сотрудников не сможет качественно провести рассматриваемые мероприятия различных направлений.

6. Заключение

В работе предлагаются концептуальные положения по созданию цифровой платформы моделирования и многоцелевой оптимизации проектов повышения производительности труда, включая подход к выбору мероприятий по повышению производительности труда. Формально ставится задача повышения производительности труда. Предлагается метод нахождения рекомендаций по целесообразным воздействиям при решении данной задачи на основе использования комбинаций блоков проверенных международной практикой мероприятий. При этом вводятся базовая структура комплексов мероприятий и информационно-логическая схема действий по повышению производительности труда в зависимости от рода задач и видов деятельности. Множество рекомендуемых комплексов мероприятий по повышению производительности труда рассматривается как подмножество комбинаций мероприятий из базовой структуры. Приводится модельный пример двух таких комплексов мероприятия и сравнение их с использованием метода «Эффект – затраты».

Литература

1. АЛИЕВ И.М. *Влияние цифровой экономики на производительность труда* // Экономика труда. – 2021. – Т. 8, №9. – С. 917–930.
2. ВИКТОРОВА В.А., СИЛАКОВА Л.В. *Выявление актуальных компетенций для повышения производительности труда населения в условиях цифровизации России* // Экономика труда. – 2023. – Т. 10, №7. – С. 999–1018.
3. ГНЕВАШЕВА В.А. *Цифровые платформы занятости* // РППЭ. – 2022. – №9(143). – С. 81–85.
4. МЕЛКОЗЕРОВА Д.О., РУДЬ Н.Ю. *Особенности применения инструментов "JUST IN TIME" в современной российской экономике* // E-Management. – 2021. – №1. – С. 85–94.
5. МИРОНОВА О.А., БОГДАНОВА Р.М. *Анализ зарубежного опыта использования факторов повышения производитель-*

- ности труда на предприятии // Вестник РГЭУ РИНХ. – 2021. – №2(74). – С. 122–128.
6. СТУКЕН Т.Ю., ЛАПИНА Т.А., КОРЖОВА О.С. *Оценка влияния цифровизации на производительность труда в организации (на примере промышленных предприятий)* // Вестник ОмГУ. Серия: Экономика. – 2023. – №2. – С. 74–79.
 7. ШАРЫЙ С.П. Конечномерный интервальный анализ. – Новосибирск: XYZ, 2019. – 635 с.
 8. BATWARA A., SHARMA V., MAKKAR M. et al. *Towards smart sustainable development through value stream mapping – a systematic literature review* // Heliyon. – 2023. – Vol. 9, No. 5. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15852>.
 9. BOUSDEKIS A., LEPENIOTI K. et al. *A Review of Data-Driven Decision-Making Methods for Industry 4.0 Maintenance Applications* // Electronics. – 2021. – Vol. 10, No. 7. – DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics10070828>.
 10. CELIK A.K., OZCELIK F. *Assembly line rebalancing problem with human-robot collaboration and a hyper-matheuristic solution approach* // Computers & Industrial Engineering. – 2025. – Vol. 200. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110795>.
 11. CHANG Q., WASEEM M. *From Nash Q-learning to Nash-MADDPG: Advancements in multiagent control for multiproduct flexible manufacturing systems* // Journal of Manufacturing Systems. – 2024. – Vol. 74. – P. 129–140. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2024.03.004>.
 12. DATTA D., GUTHRIE J. *Human Resource Management and Labor Productivity: Does Industry Matter?* // Academy of Management Journal. – 2005. – Vol. 48, No. 1. – DOI: <https://doi.org/10.5465/AMJ.2005.15993158>.
 13. DMYTRIYEV Y., CARNEVALE M., GIBERTI H. *Enhancing flexibility and safety: collaborative robotics for material handling in end-of-line industrial operations* // Procedia Computer Science. – 2024. – Vol. 232. – P. 2588–2597. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.02.077>.
 14. DOAN H., TRAN M., VU V. et al. *Machine learning and IoT-based approach for tool condition monitoring: A review and future prospects* // Measurement. – 2023. – Vol. 207. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.112351>.

15. DUAN D., CHEN S., FENG Z. et al. *Industrial Robots and Firm Productivity* // Structural Change and Economic Dynamics. – 2023. – Vol. 67. – P. 388–406.
16. FRANKE F., FRANKE S., RIEDEL R. *AI-based Improvement of Decision-makers' Knowledge in Production Planning and Control* // IFAC-PapersOnLine. – 2022. – Vol. 55, No. 10. – P. 2240–2245. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.10.041>.
17. IMAI M. *Kaizen: The Key To Japan's Competitive Success*. – New York: McGraw-Hill Education, 1986. – 260 p.
18. IANG Y., DAI P., FANG P. et al. *A2-LSTM for predictive maintenance of industrial equipment based on machine learning* // Computers & Industrial Engineering. – 2022. – Vol. 172, Part A. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108560>.
19. JUSTUS V., KANAGACHIDAMBARESAN G.R. *Intelligent Single-Board Computer for Industry 4.0: Efficient Real-Time Monitoring System for Anomaly Detection in CNC Machines* // Microprocessors and Microsystems. – 2022. – Vol. 93, No. 2. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2022.104629>.
20. KRISHNAN T., KHAN A., ALQURNI J. *Aggregate Production Planning and Scheduling in the Industry 4.0 Environment* // Procedia Computer Science. – 2022. – Vol. 204, No. 2 – P. 784–793. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.08.095>.
21. KHAN M., SINGH K., KHAN W. *A critical study on the implementation of operation, control and maintenance techniques for flexible manufacturing systems in small scale industries* // Materials Today: Proceedings. – 2023. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.05.225>.
22. KUMAR P. *Failure prediction using artificial intelligence for heavy duty equipment* // Materials Today: Proceedings. – 2022. – Vol. 66, No. 5. – P. 3154–3161. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.08.026>.
23. KUMAR S., NATHAN V., ASHIQUE S. et al. *Productivity enhancement and cycle time reduction in Toyota production system through jishuken activity – Case study* // Materials Today: Proceedings. – 2021. – Vol. 37, No. 2. – P. 964–966. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.181>

24. LEON R. *Employees' reskilling and upskilling for industry 5.0: Selecting the best professional development programmes* // Technology in Society. – 2023. – Vol. 75, No. 6. – P. 102393. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102393>.
25. MAYNEZ-GUADERRAMA A., LÓPEZ V., URÍAS A. *La importancia de la gestión de recursos humanos para la manufactura esbelta* // Estudios Gerenciales. – 2024. – Vol. 40, No. 171. – P. 193–203. – DOI: <https://doi.org/10.18046/j.estger.2024.171.6450>
26. MURTAZA A., SAHER A., ZAFAR M. et al. *Paradigm shift for predictive maintenance and condition monitoring from Industry 4.0 to Industry 5.0: A systematic review, challenges and case study* // Results in Engineering. – 2024. – Vol. 24. – P. 102935. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102935>.
27. PENG J., WANG D., ZHAO J. et al. *Meta-learning enhanced adaptive robot control strategy for automated PCB assembly* // Journal of Manufacturing Systems. – 2025. – Vol. 78. – P. 46–57. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2024.11.009>.
28. POPOV A. *Modern Approaches to the Implementation and Use of Lean Production Model* // BIO Web of Conferences. – 2023. – Vol. 76. – DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237602002>.
29. RANDHAWA J., AHUJA I. *5S implementation methodologies: Literature review and directions* // Int. Journal of Productivity and Quality Management (IJPQM). – 2017. – Vol. 20, No. 1. – P. 48–74. – DOI: <https://doi.org/10.1504/IJPQM.2017.080692>.
30. RIZQI Z., CHOU S. *Neuroevolution reinforcement learning for multi-echelon inventory optimization with delivery options and uncertain discount* // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2024. – Vol. 134, No. 9. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.108670>
31. ROMERO L., CONTRERAS A. *Applying Value Stream Mapping in Manufacturing: A Systematic Literature Review* // IFAC-PapersOnLine. – 2017. – Vol. 50. – Issue 1. – P. 1075–1086. – <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.385>
32. SAGAR D. WAGH, SUMEDH N. CHIWANDE *Implementation of Manufacturing Execution System (MES) to Increase Productivity and Competitiveness in the Manufacturing Sector* // Int. Journal for Research in Applied Science and Engineering

- Technology. – 2024. – Vol. 12, Iss. IV. – P. 3703–3714. – DOI: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.60682>.
33. SHAHIN M., MAGHANAKI M., HOSSEINZADEH A. et al. *Improving operations through a lean AI paradigm: a view to an AI-aided lean manufacturing via versatile convolutional neural network* // Int J Adv Manuf Technol. – 2024. – Vol. 133. – P. 5343–5419. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-024-13874-4>.
 34. SHAO G., KIBIRA D., FRECHETTE S. *Digital Twins for Advanced Manufacturing: The Standardized Approach* // In: Grieves M., Hua E.Y. (eds) *Digital Twins, Simulation, and the Metaverse. Simulation Foundations, Methods and Applications*. – Springer, Cham, 2024. – P. 145–169. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-69107-2_7.
 35. SILVA A., SIMÕES A., BLANC R. *Supporting decision-making of collaborative robot (cobot) adoption: The development of a framework* // Technological Forecasting and Social Change. – Elsevier, 2024. – Vol. 204(C). – P. 123406. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123406>.
 36. SILVESTRI L., FORCINA A., INTRONA V. et al. *Maintenance transformation through Industry 4.0 technologies: a systematic literature review* // Computers in Industry. – 2020. – Vol. 123. – <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103335>.
 37. SUBRAMANIYAN C., PRAKASH S., BHUVANESH N. et al. *Study based on the reduction of lot time by implementing set production and FMS in the traditional batch production system* // Materials Today: Proceedings. – 2021. – Vol. 45, Part 2. – P. 502–506. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.102>.
 38. TRANAB M., ZHANG S., DOANC H. et al. *Machine learning and IoT-based approach for tool condition monitoring: A review and future prospects* // Measurement. – 2023. – Vol. 207. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.112351>.
 39. WANG Y., WANG X., CHEN S. et al. *Integrated optimization of multi-station multi-robot assembly welding line: Application for automotive industry* // Expert Systems with Applications. – 2025. – Vol. 267. – P. 126116. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.126116>.

40. XU G., QIU Y., JINGYU Q. *Artificial intelligence and labor demand: An empirical analysis of Chinese small and micro enterprises* // Heliyon. – 2024. – Vol. 10, No. 3. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33893>.
41. YAN N., WU T., WANG J. et al. *Industry spillover effects of robot applications on labor productivity: Evidence from China* // Economic Analysis and Policy. – 2025. – Vol. 229, No. 1. – P. 1272–1286. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2024.106858>.
42. ZHAO Y., SAID R., ISMAIL N. *Impact of industrial robot on labour productivity: Empirical study based on industry panel data* // Innovation and Green Development. – 2024. – Vol. 3, No. 2. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.igd.2024.100148>.

THE TASK OF INCREASING LABOR PRODUCTIVITY IN MACHINERY PRODUCTION

Anatoly Tsvirkun, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Doctor of Science, Professor (tsvirkun@ipu.ru).

Oleg Dranko, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Doctor of Science, Assistant Professor (olegdranko@gmail.com).

Aleksandr Rezchikov, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Doctor of Science, Corresponding Member Russian Academy of Sciences (rw4cy@mail.ru).

Iraida Stepanovskaya, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Cand.Sc., Senior Researcher (irstepan@ipu.ru).

Aleksey Bogomolov, Federal Research Center “Saratov Research Center of the RAS”, Saratov State University, Saratov, Doctor of Science, Assistant Professor (alexbogomolov@yandex.ru).

Vadim Kushnikov, Federal Research Center “Saratov Research Center of the RAS”, Saratov State University, Saratov, Doctor of Science, Professor (kushnikoff@yandex.ru).

Abstract: The results of developments to solve the problem of increasing labor productivity in medium and large enterprises in the basic sectors of the Russian economy are presented. A formal and substantive formulation of the problem is given, and an approach to solution based on determining the efficiency coefficient is outlined. An analysis of known approaches to digital control and optimization

of production processes is carried out. Based on the analysis, the conclusion is substantiated that increasing labor productivity, as a rule, is not considered an end in itself. This target process is used to generate indicators of production intensity. The globalization of strategic planning is changing the situation and making planning for sustainable growth in labor productivity for systemically important enterprises in demand. In the process of solving the problem, an information and logical scheme for the formation of complexes of measures to increase labor productivity was developed. In this scheme, activities related to manual labor, automated labor, administration and document flow are distinguished into separate types. In this scheme, activities related to manual and automated work, administration and document flow are distinguished into separate types. Activities of these types correspond to various subtasks of the main task. In this case, the following subtasks are identified: personnel development, increasing motivation, improving tools, developing the provision of resources. Based on the scheme under consideration, two sets of measures are formed and compared in the main directions of achieving the goal.

Key words: business modeling, strategy, increasing labor productivity.

УДК 004.942

ББК 22.18

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии Ф.И. Ерешко*

Поступила в редакцию 17.02.2025.

Опубликована 31.07.2025.