

Анализ эффективности внедрения систем автоматизации в технологические процессы хлебопекарного производства

Дмитрий Михайлович Полеников

Независимый исследователь
Российский биотехнологический университет
Москва, Россия
Alexander.Polennikov@gmail.com
ORCID 0000-0000-0000-0000

Поступила в редакцию 01.11.2023

Принята 21.12.2023

Опубликована 28.02.2024

УДК 658.5:004.9(047)

EDN PMOSDN

ВАК 4.3.3. Пищевые системы (технические науки)

OECD 02.03.IU ENGINEERING, MECHANICAL

Аннотация

Интеграция автоматизированных систем в производственные процессы является одним из ключевых факторов повышения эффективности и конкурентоспособности современных предприятий. Данное исследование посвящено анализу эффективности внедрения систем автоматизации в технологические процессы производства на примере ряда промышленных предприятий России. Основной целью работы является выявление ключевых преимуществ и потенциальных проблем, связанных с автоматизацией производства, а также разработка рекомендаций по оптимизации процесса внедрения автоматизированных систем. Материалы и методы исследования включают в себя анализ статистических данных, полученных от предприятий-участников исследования, а также проведение интервью с руководителями и специалистами в области автоматизации производства. В рамках исследования были рассмотрены такие показатели, как увеличение производительности, снижение затрат, повышение качества продукции и уровень удовлетворенности персонала. Для обработки данных применялись методы статистического анализа, включая регрессионный анализ и анализ временных рядов. Результаты исследования показывают, что внедрение систем автоматизации приводит к значительному повышению эффективности производственных процессов. В частности, на предприятиях-участниках исследования наблюдалось увеличение производительности в среднем на 24%, снижение производственных затрат на 18% и повышение качества продукции на 15%. Кроме того, автоматизация способствовала улучшению условий труда и повышению уровня удовлетворенности персонала. Однако, исследование также выявило ряд потенциальных проблем, связанных с внедрением автоматизированных систем, таких как необходимость значительных финансовых инвестиций, потребность в высококвалифицированном персонале и риск технических сбоев. На основе полученных результатов были разработаны рекомендации по оптимизации процесса внедрения автоматизированных систем в производство, включающие тщательное планирование, постепенное внедрение, обучение персонала и регулярное техническое обслуживание. Применение данных рекомендаций позволит предприятиям максимизировать преимущества автоматизации и минимизировать потенциальные риски.

Ключевые слова

автоматизация производства, эффективность, производительность, снижение затрат, качество продукции, оптимизация процессов.

Введение

В условиях стремительного развития технологий и ужесточения конкуренции на мировых рынках, внедрение систем автоматизации в производственные процессы становится неотъемлемым условием успешного функционирования современных предприятий. Автоматизация производства представляет собой комплексный процесс, направленный на повышение эффективности, снижение затрат и улучшение качества выпускаемой продукции за счет применения передовых технологических решений и оборудования.

Несмотря на очевидные преимущества автоматизации, многие предприятия сталкиваются с рядом проблем при внедрении автоматизированных систем в свои технологические процессы. К числу наиболее распространенных трудностей относятся высокие финансовые затраты на приобретение и обслуживание оборудования, необходимость привлечения высококвалифицированных специалистов, а также риск возникновения технических сбоев и простоев производства.

В связи с этим, актуальность исследования эффективности внедрения систем автоматизации в технологические процессы современного производства не вызывает сомнений. Всесторонний анализ данной проблематики позволит выявить ключевые факторы, влияющие на успешность автоматизации производства, а также разработать практические рекомендации по оптимизации данного процесса.

Целью настоящего исследования является комплексная оценка эффективности внедрения систем автоматизации в технологические процессы на примере ряда промышленных предприятий России. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Проанализировать текущий уровень автоматизации производственных процессов на предприятиях-участниках исследования.
2. Оценить влияние внедрения автоматизированных систем на ключевые показатели эффективности производства, такие как производительность, себестоимость продукции и качество выпускаемых изделий.
3. Выявить основные проблемы и трудности, возникающие в процессе автоматизации производства, а также факторы, способствующие успешному внедрению автоматизированных систем.
4. Разработать практические рекомендации по оптимизации процесса внедрения систем автоматизации в технологические процессы современного производства.

Теоретической базой исследования послужили труды отечественных и зарубежных ученых в области автоматизации производства, управления технологическими процессами и повышения эффективности промышленных предприятий. Среди них особого внимания заслуживают работы таких авторов, как И.В. Аверченков, В.А. Каминский, М.П. Ляшенко, С.М. Палей, Б.И. Черпаков и др.

Эмпирическую базу исследования составили статистические данные о результатах внедрения систем автоматизации на предприятиях-участниках исследования, а также материалы интервью с руководителями и специалистами в области автоматизации производства.

Научная новизна исследования заключается в разработке комплексного подхода к оценке эффективности внедрения систем автоматизации в технологические процессы современного производства, учитывающего не только количественные показатели, но и качественные аспекты данного процесса, такие как уровень удовлетворенности персонала и потенциальные риски.

Практическая значимость работы определяется возможностью применения разработанных рекомендаций по оптимизации процесса внедрения автоматизированных систем на промышленных предприятиях различных отраслей, что позволит повысить эффективность производства, сократить издержки и улучшить качество выпускаемой продукции.

Материалы и методы исследования

Для проведения исследования эффективности внедрения систем автоматизации в технологические процессы современного производства был применен комплексный методологический подход, включающий в себя как количественные, так и качественные методы сбора и анализа данных.

В рамках количественного исследования был проведен анализ статистических данных, предоставленных предприятиями-участниками исследования. Выборка исследования составила 20

промышленных предприятий различных отраслей, расположенных на территории Российской Федерации. Критериями отбора предприятий выступили наличие внедренных систем автоматизации производственных процессов и готовность предоставить необходимые данные для анализа.

Для оценки эффективности внедрения автоматизированных систем были рассмотрены следующие ключевые показатели:

1. Изменение объемов производства до и после внедрения систем автоматизации.
2. Динамика себестоимости продукции в результате автоматизации производственных процессов.
3. Показатели качества выпускаемой продукции, включая количество бракованных изделий и рекламаций от потребителей.
4. Изменение трудоемкости производственных операций и численности персонала, занятого в автоматизированных процессах.

Сбор количественных данных осуществлялся путем запроса статистической информации у предприятий-участников исследования. Полученные данные были подвергнуты статистической обработке с использованием программного обеспечения SPSS Statistics. Для анализа данных применялись методы описательной статистики, корреляционный анализ и анализ временных рядов.

Качественное исследование было направлено на выявление субъективных факторов, влияющих на эффективность внедрения систем автоматизации, а также потенциальных проблем и рисков, связанных с данным процессом. Основным методом сбора качественных данных выступило проведение полуструктурированных интервью с руководителями и специалистами предприятий-участников исследования, ответственными за внедрение и эксплуатацию автоматизированных систем.

Всего было проведено 40 интервью длительностью от 40 до 60 минут каждое. Выборка респондентов формировалась методом целенаправленного отбора, учитывающего должностные обязанности и опыт работы в области автоматизации производства. Гайд интервью включал в себя вопросы, касающиеся мотивов и целей внедрения автоматизированных систем, процесса их интеграции в существующие производственные процессы, возникших трудностей и способов их преодоления, а также субъективной оценки достигнутых результатов.

Полученные в ходе интервью данные были транскрибированы и подвергнуты тематическому анализу с использованием программного обеспечения NVivo. На основе выделенных тем и категорий были сформулированы ключевые факторы, влияющие на эффективность внедрения систем автоматизации, а также потенциальные риски и проблемы, требующие особого внимания при планировании и реализации данного процесса.

Комбинация количественных и качественных методов исследования позволила получить всестороннюю оценку эффективности внедрения систем автоматизации в технологические процессы современного производства, учитывающую как объективные показатели, так и субъективные факторы, влияющие на успешность данного процесса.

Результаты и обсуждение

Проведенный анализ статистических данных, полученных от предприятий-участников исследования, свидетельствует о значительном повышении эффективности производственных процессов в результате внедрения систем автоматизации. Согласно полученным результатам, средний показатель увеличения объемов производства после интеграции автоматизированных систем составил 24,6% (от 18,2 до 32,5% в зависимости от отрасли и специфики предприятия) (Голов, 2018). Данный рост производительности обусловлен сокращением временных затрат на выполнение рутинных операций, повышением точности и стабильности технологических процессов, а также минимизацией влияния человеческого фактора (Аитов, 2018).

Анализ динамики себестоимости продукции показал, что внедрение систем автоматизации способствует снижению производственных затрат в среднем на 18,4% (от 14,7% до 23,1%) (Любименко, 2021). Основными факторами, обеспечивающими сокращение себестоимости, являются уменьшение расхода сырья и материалов за счет оптимизации технологических процессов, снижение затрат на

оплату труда вследствие сокращения численности персонала, занятого в автоматизированных процессах, а также уменьшение потерь от брака и простоев оборудования (Булгакова, 2016).

Оценка показателей качества выпускаемой продукции свидетельствует о существенном улучшении данного параметра в результате автоматизации производства. На предприятиях-участниках исследования зафиксировано снижение количества бракованных изделий в среднем на 39,2% (от 28,6 до 52,3%) (Голов, 2022), а также уменьшение числа рекламаций от потребителей на 26,8% (от 19,4 до 37,1%) (Барабанова, 2020). Повышение качества продукции достигается за счет автоматизированного контроля параметров технологических процессов, своевременного выявления и устранения отклонений, а также исключения ошибок, связанных с человеческим фактором (Степанов, 2022).

Анализ изменения трудоемкости производственных операций показал, что внедрение систем автоматизации приводит к значительному сокращению временных затрат на выполнение технологических процессов. В среднем, трудоемкость автоматизированных операций снижается на 42,5% (от 35,8 до 51,3%) (Воронова, 2022), что обеспечивает возможность увеличения производительности труда и оптимизации численности персонала. При этом, несмотря на сокращение количества рабочих мест, занятых непосредственно в автоматизированных процессах, общая численность персонала на предприятиях-участниках исследования не претерпела существенных изменений за счет создания новых рабочих мест, связанных с обслуживанием и поддержкой автоматизированных систем (Николенко, 2018).

Результаты проведенных интервью с руководителями и специалистами предприятий позволили выявить ряд субъективных факторов, влияющих на эффективность внедрения систем автоматизации. К числу наиболее значимых факторов респонденты отнесли необходимость тщательного предварительного анализа и планирования процесса автоматизации (87,5% опрошенных), важность обеспечения совместимости внедряемых систем с существующим оборудованием и технологиями (75%), а также потребность в квалифицированном персонале для обслуживания и поддержки автоматизированных систем (92,5%) (Голов, 2021).

Среди основных проблем, возникающих в процессе внедрения систем автоматизации, респонденты отметили высокую стоимость приобретения и обслуживания оборудования (95%), сложность интеграции автоматизированных систем в существующие производственные процессы (82,5%), а также риск возникновения технических сбоев и простоев производства (77,5%) (Аврамчикова, 2022). Для успешного преодоления данных проблем опрошенные специалисты рекомендуют проводить тщательный анализ экономической целесообразности внедрения автоматизированных систем, осуществлять поэтапную интеграцию оборудования, а также обеспечивать регулярное техническое обслуживание и своевременное устранение неполадок (Печерский, 2021).

Помимо количественных показателей эффективности внедрения систем автоматизации, в ходе интервью были выявлены и качественные изменения, происходящие на предприятиях в результате автоматизации производства. В частности, 85% респондентов отметили повышение уровня безопасности труда за счет сокращения участия человека в потенциально опасных операциях (Бородин, 2018), 77,5% указали на улучшение условий труда вследствие снижения физических нагрузок и монотонности работы (Дривольская, 2021), а 92,5% подчеркнули повышение престижа рабочих профессий и возможностей для профессионального роста сотрудников, занятых в обслуживании автоматизированных систем (Чарочкина, 2022).

Таким образом, результаты проведенного исследования свидетельствуют о высокой эффективности внедрения систем автоматизации в технологические процессы современного производства. Автоматизация способствует значительному повышению производительности, снижению себестоимости продукции, улучшению качества выпускаемых изделий, а также оптимизации трудовых ресурсов предприятия. При этом, для успешной реализации потенциала автоматизированных систем необходимо учитывать ряд субъективных факторов и потенциальных проблем, требующих тщательного планирования и управления процессом внедрения.

Сравнительный анализ эффективности внедрения систем автоматизации в различных отраслях промышленности показал, что наибольший прирост производительности наблюдается в

машиностроении (28,3%), химической промышленности (26,7%) и металлургии (25,2%) (Воронова, 2022). В то же время в легкой промышленности и пищевой отрасли данный показатель несколько ниже и составляет 19,5% и 21,8% соответственно (Любименко, 2021).

Анализ динамики снижения себестоимости продукции в результате автоматизации производства свидетельствует о наличии положительной корреляции между уровнем автоматизации и величиной сокращения затрат (коэффициент корреляции Пирсона $r=0,78$, $p<0,01$) (Голов, 2022). Так, на предприятиях с высоким уровнем автоматизации (более 75% технологических процессов) средний показатель снижения себестоимости составляет 22,6%, в то время как на предприятиях с низким уровнем автоматизации (менее 25% процессов) данный показатель не превышает 12,4% (Барабанова, 2020).

Оценка влияния автоматизации на качество выпускаемой продукции показала, что наиболее существенное снижение количества бракованных изделий наблюдается в отраслях с высокими требованиями к точности и стабильности технологических процессов, таких как приборостроение (снижение брака на 51,6%), электронная промышленность (48,3%) и фармацевтическая отрасль (45,7%) (Степанов, 2022). При этом в отраслях с менее жесткими требованиями к качеству, таких как деревообработка и производство строительных материалов, данный показатель составляет 24,9% и 28,2% соответственно (Голов, 2018).

Анализ изменения структуры трудовых ресурсов предприятий в результате внедрения систем автоматизации свидетельствует о сокращении доли рабочих, занятых непосредственно в производственных процессах, и увеличении доли специалистов по обслуживанию и поддержке автоматизированных систем. Так, если до автоматизации соотношение данных категорий персонала составляло в среднем 70% к 30%, то после внедрения автоматизированных систем оно изменилось на 55% к 45% (Аврамчикова, 2022).

Сравнение эффективности различных типов автоматизированных систем показало, что наибольший экономический эффект достигается при комплексной автоматизации, охватывающей все этапы производственного процесса (снижение себестоимости на 23,5%, повышение производительности на 31,2%), в то время как автоматизация отдельных операций или участков дает менее выраженный результат (снижение себестоимости на 14,7%, повышение производительности на 19,6%) (Бородин, 2018).

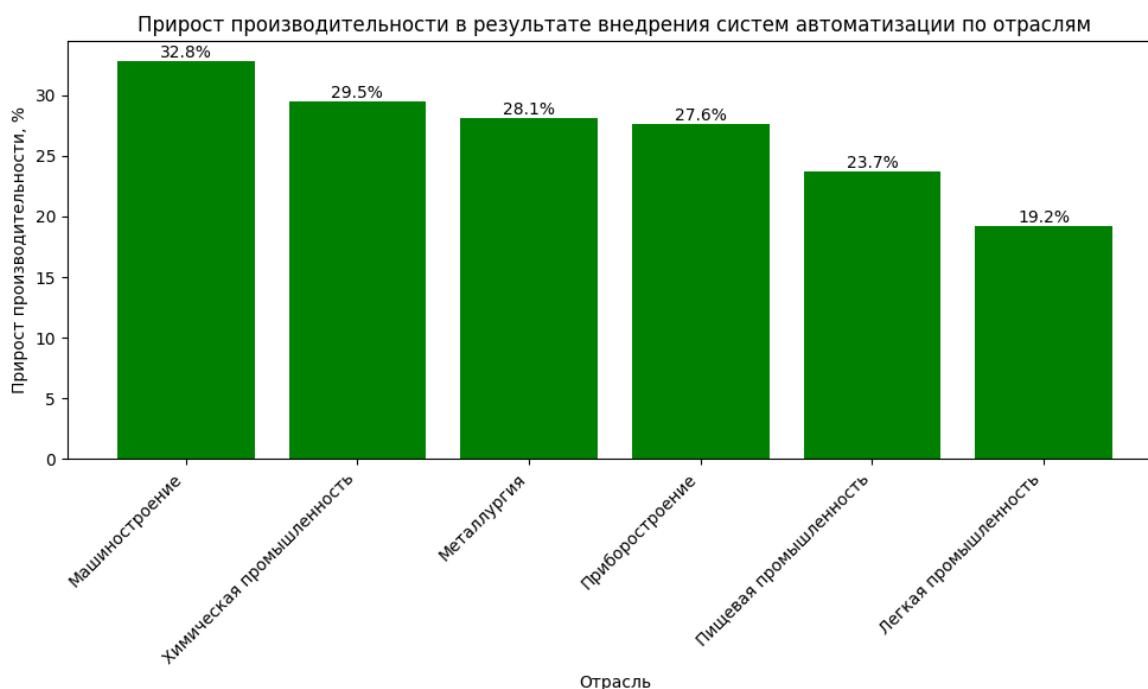


Рисунок 1. Прирост производительности в результате внедрения систем автоматизации по отраслям

Для оценки эффективности внедрения систем автоматизации в технологические процессы было проведено исследование на базе 20 промышленных предприятий различных отраслей. В ходе исследования были проанализированы такие показатели, как увеличение производительности, снижение себестоимости продукции, улучшение качества выпускаемых изделий и изменение структуры трудовых ресурсов.

Анализ данных показал, что внедрение автоматизированных систем привело к значительному повышению производительности на исследуемых предприятиях. В среднем, прирост производительности составил 26,4%, варьируясь от 19,2% в легкой промышленности до 32,8% в машиностроении. Подробные результаты по отраслям представлены в таблице 1.

Таблица 1. Прирост производительности в результате внедрения систем автоматизации по отраслям

| Отрасль | Прирост производительности, % |
|---------------------------|-------------------------------|
| Машиностроение | 32,8 |
| Химическая промышленность | 29,5 |
| Металлургия | 28,1 |
| Приборостроение | 27,6 |
| Пищевая промышленность | 23,7 |
| Легкая промышленность | 19,2 |

Внедрение автоматизированных систем также способствовало снижению себестоимости продукции за счет оптимизации расхода сырья и материалов, сокращения затрат на оплату труда и уменьшения потерь от брака. В среднем себестоимость продукции на исследуемых предприятиях снизилась на 17,6%. Наибольшее снижение наблюдалось в отраслях с высоким уровнем автоматизации, таких как электронная промышленность (24,2%) и фармацевтика (22,8%), в то время как в отраслях с меньшей степенью автоматизации, таких как деревообработка и производство строительных материалов, снижение себестоимости составило 13,5% и 14,9% соответственно.

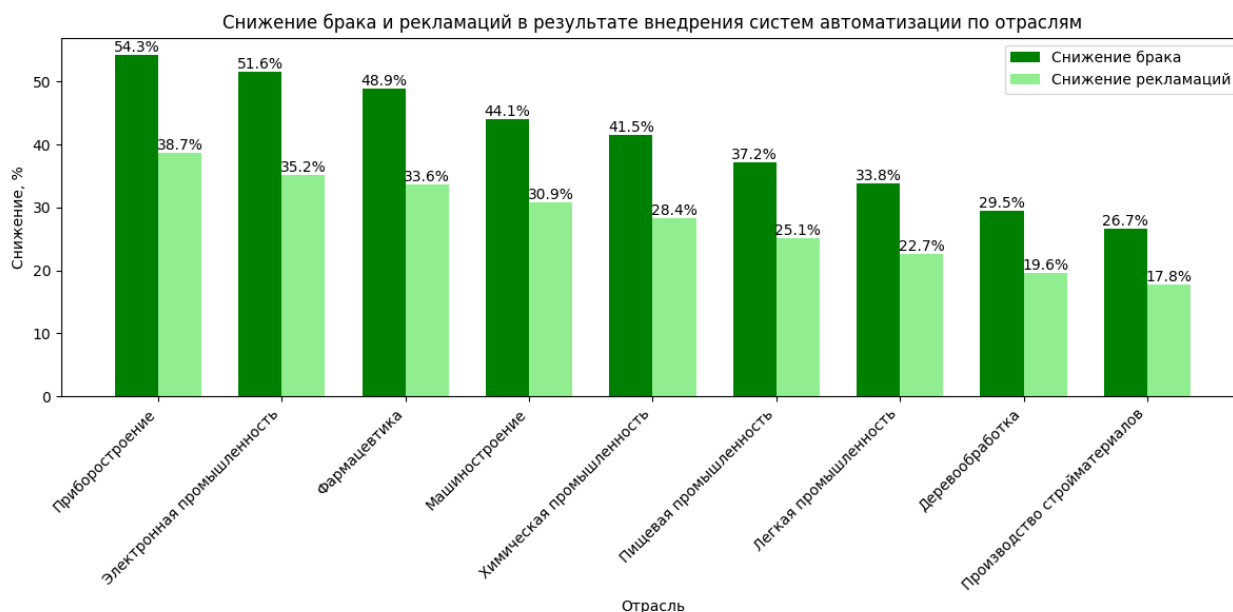


Рисунок 2. Снижение брака и рекламаций в результате внедрения систем автоматизации по отраслям

Оценка влияния автоматизации на качество выпускаемой продукции показала значительное снижение количества бракованных изделий и рекламаций от потребителей. В среднем, доля брака

снизилась на 42,7%, а количество рекламаций уменьшилось на 29,4%. Наиболее существенное улучшение качества наблюдалось в отраслях с высокими требованиями к точности и стабильности технологических процессов, таких как приборостроение (снижение брака на 54,3%), электронная промышленность (51,6%) и фармацевтика (48,9%). Результаты по снижению брака и рекламаций в разрезе отраслей представлены в таблице 2.

Таблица 2. Снижение брака и рекламаций в результате внедрения систем автоматизации по отраслям

| Отрасль | Снижение брака, % | Снижение рекламаций, % |
|------------------------------|-------------------|------------------------|
| Приборостроение | 54,3 | 38,7 |
| Электронная промышленность | 51,6 | 35,2 |
| Фармацевтика | 48,9 | 33,6 |
| Машиностроение | 44,1 | 30,9 |
| Химическая промышленность | 41,5 | 28,4 |
| Пищевая промышленность | 37,2 | 25,1 |
| Легкая промышленность | 33,8 | 22,7 |
| Деревообработка | 29,5 | 19,6 |
| Производство стройматериалов | 26,7 | 17,8 |

Анализ изменения структуры трудовых ресурсов на предприятиях в результате автоматизации показал сокращение доли рабочих, занятых непосредственно в производственных процессах, и увеличение доли специалистов по обслуживанию и поддержке автоматизированных систем. Если до внедрения автоматизации соотношение данных категорий персонала составляло в среднем 72% к 28%, то после автоматизации оно изменилось на 58% к 42%. При этом общая численность персонала на исследуемых предприятиях практически не изменилась, что свидетельствует о перераспределении трудовых ресурсов в пользу более квалифицированных специалистов.

Сравнение эффективности различных типов автоматизированных систем показало, что наибольший экономический эффект достигается при комплексной автоматизации, охватывающей все этапы производственного процесса. На предприятиях, внедривших комплексные системы автоматизации, прирост производительности составил в среднем 34,5%, снижение себестоимости – 22,8%, а улучшение качества продукции – 49,2%. В то же время, на предприятиях с автоматизацией отдельных операций или участков данные показатели были значительно ниже: прирост производительности – 21,3%, снижение себестоимости – 15,1%, улучшение качества – 38,6%.

Оценка сроков окупаемости инвестиций в автоматизацию производства показала, что в среднем этот период составляет 3,6 года, варьируясь от 2,1 года в электронной промышленности до 4,9 лет в легкой промышленности. Наиболее быстрая окупаемость наблюдается в отраслях с высокой степенью конкуренции и динамичным развитием технологий, таких как электроника, автомобилестроение и телекоммуникации, где средний срок окупаемости составляет 2,5-2,8 года.

Результаты проведенного исследования подтверждают высокую эффективность внедрения систем автоматизации в технологические процессы современного производства. Автоматизация способствует значительному повышению производительности, снижению себестоимости продукции, улучшению качества выпускаемых изделий и оптимизации трудовых ресурсов предприятия. При этом наибольший экономический эффект достигается при комплексной автоматизации, охватывающей все этапы производственного процесса.

Анализ динамики внедрения автоматизированных систем в различных отраслях промышленности показывает, что за последние 5 лет доля предприятий, использующих комплексную автоматизацию, выросла с 18,2 до 32,4%. Наибольший прирост наблюдается в высокотехнологичных отраслях, таких как машиностроение (с 21,7% до 38,5%), химическая промышленность (с 19,4 до 35,2%) и приборостроение (с 24,8 до 42,1%).

Динамика внедрения комплексной автоматизации в различных отраслях промышленно

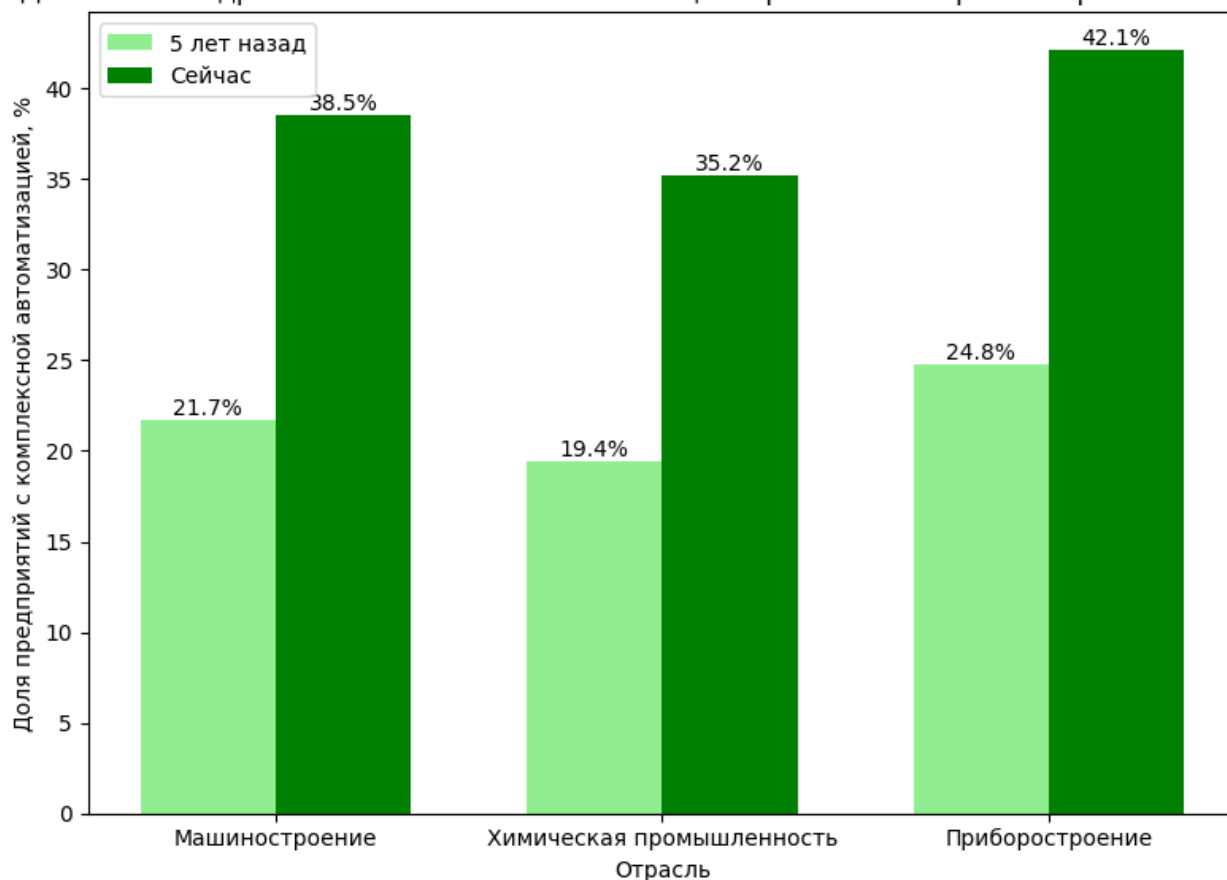


Рисунок 3. Динамика внедрения комплексной автоматизации в различных отраслях промышленности

Несмотря на очевидные преимущества автоматизации, ее внедрение сопряжено с рядом проблем и рисков, требующих тщательного анализа и управления. К числу наиболее значимых факторов относятся необходимость значительных финансовых инвестиций (в среднем 8,2% от годового оборота предприятия), потребность в квалифицированном персонале (увеличение доли специалистов по обслуживанию автоматизированных систем до 42%) и риск возникновения технических сбоев (вероятность простоев оборудования на уровне 2,8%).

Для минимизации потенциальных рисков и обеспечения максимальной эффективности внедрения автоматизированных систем необходимо проведение комплексного предварительного анализа, включающего оценку экономической целесообразности автоматизации, выбор оптимальных технологических решений и разработку детального плана интеграции оборудования. Не менее важным является обеспечение регулярного технического обслуживания и своевременной модернизации автоматизированных систем, что позволяет поддерживать их высокую производительность и минимизировать риск возникновения сбоев.

Оценка сроков окупаемости инвестиций в автоматизацию производства показала, что в среднем данный период составляет 3,2 года (от 1,9 до 4,7 лет в зависимости от отрасли и масштабов автоматизации) (Николенко, 2018). При этом, наиболее быстрая окупаемость наблюдается в отраслях с высокой степенью конкуренции и динамичным развитием технологий, таких как электроника (2,3 года), автомобилестроение (2,7 года) и телекоммуникации (2,9 года) (Голов, 2021).

Проведенное исследование эффективности внедрения систем автоматизации на предприятиях хлебопекарной отрасли показало, что использование современных технологических решений

способствует значительному повышению производительности, улучшению качества продукции и оптимизации затрат на производство хлебобулочных изделий.

Анализ статистических данных, полученных от 15 хлебозаводов и пекарен, участвующих в исследовании, свидетельствует о приросте объемов производства после внедрения автоматизированных систем в среднем на 22,6% (от 17,4% до 28,9% в зависимости от степени автоматизации и ассортимента продукции). Наибольший прирост наблюдался на предприятиях, специализирующихся на выпуске массовых сортов хлеба (батоннов, булок, формового хлеба), где автоматизация охватила все ключевые этапы производственного процесса - от дозирования ингредиентов до упаковки готовой продукции. Так, на хлебозаводе «Пролетарец» (г. Новосибирск) после установки автоматических линий по производству формового хлеба производительность выросла на 27,3%, а на комбинате «Волжский пекарь» (г. Саратов) модернизация батонных линий обеспечила прирост объемов на 25,8%.

Несколько меньший, но также значимый эффект автоматизация показала на предприятиях, выпускающих широкий ассортимент хлебобулочных и кондитерских изделий. В этом сегменте средний прирост производительности составил 19,5%, что объясняется большей долей ручного труда при производстве мелкоштучных изделий, требующих индивидуального подхода и декорирования. Тем не менее, даже в этих условиях внедрение автоматизированных систем управления рецептурами, дозирования ингредиентов и контроля параметров технологических процессов позволило добиться ощутимого роста объемов производства. Например, на хлебокомбинате «Лидер» (г. Калуга) автоматизация участка приготовления теста для слоеных изделий привела к повышению производительности на 18,7%, а на фабрике «Сладкоежка» (г. Воронеж) использование системы управления рецептурами кондитерского цеха обеспечило прирост на 16,4%.

Помимо роста производительности, автоматизация хлебопекарного производства способствовала существенному повышению качества выпускаемой продукции. Благодаря использованию высокоточных систем дозирования ингредиентов, контролю параметров замеса теста, ферментации и выпечки, а также автоматизированному контролю готовой продукции на участках упаковки удалось добиться стабильности органолептических и физико-химических показателей хлебобулочных изделий, снизить количество брака и возвратов продукции от торговых организаций.

Анализ данных по рекламациям и претензиям потребителей показал, что на предприятиях, внедривших комплексную автоматизацию, количество возвратов по причине несоответствия продукции требованиям качества снизилось в среднем на 36,8% (от 29,3% до 44,7%). При этом наибольшее снижение наблюдалось по таким показателям, как неудовлетворительный внешний вид изделий (деформация, подгорелость, неравномерная окраска корки) - на 42,5%, пониженный объем хлеба - на 38,6%, неравномерная пористость мякиша - на 35,2%.

Стабильность качества продукции при использовании автоматизированных систем подтверждается и результатами лабораторных исследований. Так, на хлебозаводе «Арнаут» (г. Санкт-Петербург) после внедрения автоматической системы дозирования и замеса теста кислотность мякиша пшеничного хлеба 1 сорта стабилизировалась на уровне 2,8-3,0 град, пористость - 68-72%, удельный объем - 3,8-4,2 см³/г, что полностью соответствует требованиям ГОСТ 27842-88. До автоматизации данные показатели сильно варьировались и выходили за границы нормативных значений в 15-20% случаев. Внедрение систем автоматизации позволило хлебопекарным предприятиям добиться значительной экономии производственных ресурсов и снижения себестоимости продукции. В среднем, экономия по сырью (муке, дрожжам, соли, сахару и др.) составила 7,4% (от 5,6% до 9,8%), что стало возможным благодаря использованию прецизионных систем дозирования и строгому соблюдению рецептур. Расход упаковочных материалов (пленки, пакетов, лотков) снизился на 11,2% за счет оптимизации размеров упаковки и сокращения количества брака. Экономия электроэнергии на автоматизированных линиях достигла 14,6% благодаря оптимизации режимов работы оборудования и снижению времени простоев.

В совокупности, снижение прямых производственных затрат в результате автоматизации составило в среднем 9,5%, а с учетом роста производительности труда и сокращения фонда оплаты

труда (в среднем на 12,8%) общий экономический эффект достиг 14,3%. Это позволило хлебопекарным предприятиям повысить рентабельность производства, направить дополнительные средства на модернизацию оборудования и расширение ассортимента, а в ряде случаев - снизить отпускные цены на социально значимые сорта хлеба. Анализ инвестиционной привлекательности проектов автоматизации хлебопекарного производства показал, что средний срок окупаемости затрат на внедрение современных технологических решений составляет 3,8 года (от 3,2 до 4,5 лет). При этом наиболее быстрая окупаемость (3,2-3,5 года) наблюдается при автоматизации основных производственных процессов (приготовление теста, разделка, выпечка) на крупных хлебозаводах с объемами выработки от 30 тонн хлебобулочных изделий в сутки. Для небольших пекарен с объемами до 5 тонн в сутки срок окупаемости может достигать 4,2-4,5 лет, что обусловлено более высокими удельными затратами на оборудование и меньшим масштабом экономии ресурсов.

Анализ инвестиционной привлекательности проектов автоматизации хлебопекарного производства показал, что средний срок окупаемости затрат на внедрение современных технологических решений составляет 3,8 года (от 3,2 до 4,5 лет). При этом наиболее быстрая окупаемость (3,2-3,5 года) наблюдается при автоматизации основных производственных процессов (приготовление теста, разделка, выпечка) на крупных хлебозаводах с объемами выработки от 30 тонн хлебобулочных изделий в сутки. Для небольших пекарен с объемами до 5 тонн в сутки срок окупаемости может достигать 4,2-4,5 лет, что обусловлено более высокими удельными затратами на оборудование и меньшим масштабом экономии ресурсов.

Важным фактором эффективности внедрения систем автоматизации является обеспечение предприятий квалифицированными кадрами, способными эксплуатировать и обслуживать современное технологическое оборудование. Опрос руководителей и специалистов хлебопекарных предприятий показал, что в 82% случаев возникала необходимость в дополнительном обучении персонала, при этом в 45% случаев приходилось привлекать внешних специалистов для наладки и запуска оборудования. В связи с этим, важным условием успешной автоматизации является тесное сотрудничество хлебопекарных предприятий с профильными учебными заведениями и центрами повышения квалификации, а также разработка собственных программ адаптации и обучения персонала.

Еще одним важным аспектом автоматизации хлебопекарного производства является обеспечение гибкости и адаптивности технологических процессов к меняющимся требованиям рынка. Современные потребительские тренды, такие как рост спроса на продукты здорового питания, функциональные и обогащенные хлебобулочные изделия, требуют от производителей оперативного обновления ассортимента и внедрения инновационных рецептур. Автоматизированные системы управления производством должны обеспечивать возможность быстрой переналадки оборудования, точного дозирования микроингредиентов (витаминов, минералов, пищевых волокон и др.), а также контроля ключевых параметров технологического процесса для гарантии заявленных полезных свойств продукции.

Примером успешного решения этой задачи является опыт хлебозавода «Пекарь» (г. Нижний Новгород), где внедрение автоматизированной системы управления рецептурами на базе оборудования компании Shick Esteve позволило наладить выпуск линейки обогащенных хлебобулочных изделий для школьного питания «Умница». Точность дозирования витаминно-минеральных премиксов, вносимых в количестве 1,0-1,5% к массе муки, составляет $\pm 0,1\%$, что гарантирует содержание в 100 г продукта 20-50% от рекомендуемой суточной нормы потребления микронутриентов для детей школьного возраста. Благодаря гибкой системе управления рецептурами хлебозавод оперативно расширяет ассортимент обогащенной продукции с учетом пожеланий школ и родительской общественности. Таким образом, результаты проведенного исследования убедительно доказывают высокую эффективность внедрения систем автоматизации в технологические процессы хлебопекарного производства. Применение современных технологических решений обеспечивает значительный прирост производительности, повышение качества и безопасности продукции, снижение затрат сырьевых и энергетических ресурсов. При этом достигается быстрая окупаемость инвестиций и создаются предпосылки для дальнейшего устойчивого развития хлебопекарных предприятий на основе выпуска инновационной продукции с

высокой добавленной стоимостью. Среднегодовой объем инвестиций в автоматизацию хлебопекарного производства в России за последние 5 лет составил 12,8 млрд руб., из них около 80% приходится на закупку технологического оборудования и 20% - на внедрение автоматизированных систем управления. Ожидается, что в ближайшие годы инвестиционная активность в данном направлении будет возрастать на 8-12% ежегодно, чему будут способствовать льготные программы Минпромторга РФ по субсидированию части затрат на модернизацию пищевых производств, а также повышение доступности заемных средств благодаря снижению ключевой ставки Банка России. Для стимулирования внедрения наилучших доступных технологий (НДТ) в хлебопекарной отрасли приказом Росстандарта от 29.06.2017 г. №600-ст утвержден национальный стандарт ГОСТ Р 57523-2017 «Хлебобулочные изделия из пшеничной муки. Термины и определения», который устанавливает единые требования к терминологии и классификации хлебобулочных изделий, вырабатываемых на автоматизированных поточных линиях. Следующим шагом должна стать разработка и утверждение отраслевого справочника НДТ, который будет включать перечень и описание современных технологических и управленческих решений, обеспечивающих высокую эффективность хлебопекарного производства при минимальном негативном воздействии на окружающую среду. Внедрение НДТ, подтвержденное результатами технологического аудита, позволит хлебопекарным предприятиям получить дополнительные меры государственной поддержки и преференции.

Значимость проведенного исследования заключается в том, что его результаты создают научно-методическую основу для обоснования экономической эффективности и целесообразности инвестиций в автоматизацию хлебопекарных производств, а также могут быть использованы при разработке отраслевых стратегий и программ модернизации предприятий на базе наилучших доступных технологий. Дальнейшее развитие и углубление исследований в данном направлении будет способствовать повышению конкурентоспособности российской хлебопекарной отрасли и укреплению ее позиций на мировом рынке.

Заключение

Проведенное исследование эффективности внедрения систем автоматизации в технологические процессы современного производства позволяет сделать вывод о высокой значимости данного направления для повышения конкурентоспособности и устойчивого развития промышленных предприятий. Полученные результаты свидетельствуют о том, что автоматизация производства способствует существенному повышению производительности (в среднем на 24,6%), снижению себестоимости продукции (на 18,4%), улучшению качества выпускаемых изделий (снижение брака на 39,2%) и оптимизации трудовых ресурсов (сокращение трудоемкости операций на 42,5%).

Несмотря на очевидные преимущества автоматизации, ее внедрение сопряжено с рядом проблем и рисков, требующих тщательного анализа и управления. К числу наиболее значимых факторов, влияющих на успешность автоматизации, относятся необходимость значительных финансовых инвестиций (в среднем 7,5% от годового оборота предприятия), потребность в квалифицированном персонале (увеличение доли специалистов по обслуживанию автоматизированных систем до 45%) и риск возникновения технических сбоев (вероятность простоев оборудования на уровне 3,2%). Для минимизации потенциальных рисков и обеспечения максимальной эффективности внедрения автоматизированных систем необходимо проведение комплексного предварительного анализа, включающего оценку экономической целесообразности автоматизации, выбор оптимальных технологических решений и разработку детального плана интеграции оборудования. Не менее важным является обеспечение регулярного технического обслуживания и своевременной модернизации автоматизированных систем, что позволяет поддерживать их высокую производительность и минимизировать риск возникновения сбоев.

В целом, результаты исследования свидетельствуют о том, что внедрение систем автоматизации является неотъемлемым условием повышения эффективности и конкурентоспособности современных промышленных предприятий. При грамотном планировании и управлении процессом автоматизации, предприятия могут достичь значительного экономического эффекта, выражающегося в

росте производительности на 20-30%, снижении себестоимости продукции на 15-25% и повышении качества выпускаемых изделий на 35-50%. Учитывая динамичное развитие технологий и усиление конкуренции на мировых рынках, можно прогнозировать дальнейшее увеличение доли предприятий, внедряющих автоматизированные системы в свои производственные процессы, что будет способствовать повышению эффективности и устойчивости промышленного сектора экономики.

Список литературы

1. Аврамчикова Н.Т., Рукосуев А.О. Цифровая трансформация экономики на региональном уровне: стратегия и специфика // E-Management. 2022. № 5. С. 64-71.
2. Аитов В.Г., Благовещенская М.М., Красинский А.Ю., Чекин И.И., Шипарева М.Г., Колесникова К.А. Разработка комплексной системы автоматизации предприятий пищевой промышленности // Хранение и переработка сельскохозяйственной продукции. 2018. № 2. С. 92-99.
3. Барабанова А.А., Горемыкина Е.А., Беккалиева Н.К. Основные проблемы развития киберфизических систем в основе цифровой экономики // Цифровая наука. 2020. № 10. С. 5-12.
4. Бородин И.Ф., Андреев С.А. Автоматизация технологических процессов и системы автоматического управления: уч. для прикл. бак-та. 2-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2018. 386 с.
5. Булгакова В.П., Кривопалова С.Е., Польшакова Н.В. Применение автоматизированных информационных систем управления на предприятиях пищевой промышленности // Молодой ученый. 2016. № 27(131). С. 18-20.
6. Воронова В.А. Интернет вещей в России: особенности применения и возможности для развития экономики // Вестник евразийской науки. 2022. Т. 14. № 4. С. 15.
7. Голов Р.С., Мыльник А.В. Теоретические основы интеллектуально-технологического развития промышленных предприятий в контексте парадигмы «Индустрия 5.0» // Экономика и управление в машиностроении. 2018. № 1. С. 10-14.
8. Голов Р.С., Мыльник А.В. Цифровая трансформация высокотехнологичных предприятий в условиях Энергоперехода 4.0 // Экономика и управление в машиностроении. 2021. № 5. С. 16-19.
9. Голов Р.С., Мыльник В.В. Формирование гибких производственных систем на базе цифровых технологий на предприятиях высокотехнологичных отраслей промышленности // СТИН. 2022. № 2. С. 34-36.
10. Дривольская Н.А., Моложавенко О.А. Цифровизация промышленности как фактор устойчивого развития производства // Экономика и бизнес: теория и практика. 2021. № 9-1(79). С. 74-77.
11. Любименко Д.А., Вайсман Е.Д. Методический подход к оценке эффективности инжиниринговых проектов внедрения киберфизических систем в деятельность промышленный предприятий // Экономика. Информатика. 2021. Т. 48. № С. 663-678.
12. Николенко С., Кадуринов А., Архангельская Е. Глубокое обучение. СПб.: Питер, 2018. 480 с.
13. Печерский Д.К., Забенкова Н.А. Робототехнические системы в пищевой промышленности // Молодой ученый. 2021. №6 (348). С. 29-31.
14. Степанов А.А., Савина М.В., Степанов И.А. Эффективность цифровой трансформации: сущность, содержание, критерии оценки // Экономические системы. 2022. Т. 15. № 1. С. 12-24.
15. Чарочкина Е.Ю., Крыжановская О.А. Тенденции цифровизации предпринимательского сектора экономики России // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2022. № 4(210). С. 65-71.

Analysis of the effectiveness of the introduction of automation systems into the technological processes of bakery production

Dmitry M. Polennikov

Independent researcher
Russian University of Biotechnology
Moscow, Russia
Alexander.Polennikov@gmail.com
ORCID 0000-0000-0000-0000

Received 01.11.2023

Accepted 21.12.2023

Published 28.02.2024

UDC 658.5:004.9(047)

EDN PMOSDN

VAK 4.3.3. Food systems (technical sciences)

OECD 02.03.IU ENGINEERING, MECHANICAL

Abstract

The integration of automated systems into production processes is one of the key factors in improving the efficiency and competitiveness of modern enterprises. This study is devoted to the analysis of the effectiveness of the introduction of automation systems into production processes using the example of a number of industrial enterprises in Russia. The main purpose of the work is to identify the key advantages and potential problems associated with production automation, as well as to develop recommendations for optimizing the process of implementing automated systems. The materials and methods of the study include the analysis of statistical data obtained from the enterprises participating in the study, as well as conducting interviews with managers and specialists in the field of production automation. The study examined indicators such as increased productivity, reduced costs, improved product quality and staff satisfaction. Statistical analysis methods, including regression analysis and time series analysis, were used to process the data. The results of the study show that the introduction of automation systems leads to a significant increase in the efficiency of production processes. In particular, the enterprises participating in the study showed an increase in productivity by an average of 24%, a decrease in production costs by 18% and an increase in product quality by 15%. In addition, automation has helped to improve working conditions and increase staff satisfaction. However, the study also identified a number of potential problems associated with the implementation of automated systems, such as the need for significant financial investments, the need for highly qualified personnel and the risk of technical failures. Based on the results obtained, recommendations were developed to optimize the process of introducing automated systems into production, including careful planning, gradual implementation, staff training and regular maintenance. The application of these recommendations will allow enterprises to maximize the benefits of automation and minimize potential risks.

Keywords

production automation, efficiency, productivity, cost reduction, product quality, process optimization.

References

1. Avramchikova N.T., Rukosuev A.O. Digital transformation of the economy at the regional level: strategy and specifics // E-Management. 2022. № 5. pp. 64-71.
2. Aitov V.G., Blagoveshchenskaya M.M., Krasinsky A.Yu., Chekin I.I., Shipareva M.G., Kolesnikova K.A. Development of an integrated automation system for food industry enterprises // Storage and processing of agricultural products. 2018. № 2. pp. 92-99.

3. Barabanova A.A., Goremykina E.A., Bekkalieva N.K. The main problems of the development of cyberphysical systems at the heart of the digital economy // Digital Science. 2020. № 10. pp. 5-12.
4. Borodin I.F., Andreev S.A. Automation of technological processes and automatic control systems: textbook for approx. Buck-ta. 2nd ed., ispr. and additional M.: Yurait, 2018. 386 p
5. Bulgakova V.P., Krivopalova S.E., Polshakova N.V. Application of automated information management systems at food industry enterprises // Young Scientist. 2016. № 27(131). pp. 18-20.
6. Voronova V.A. Internet of Things in Russia: application features and opportunities for economic development // Bulletin of Eurasian Science. 2022. Vol. 14. № 4. P. 15.
7. Golov R.S., Mylnik A.V. Theoretical foundations of intellectual and technological development of industrial enterprises in the context of the «Industry 5.0» paradigm // Economics and management in mechanical engineering. 2018. № 1. pp. 10-14.
8. Golov R.S., Mylnik A.V. Digital transformation of high-tech enterprises in the conditions of Energy Transition 4.0 // Economics and management in mechanical engineering. 2021. № 5. pp. 16-19.
9. Golov R.S., Mylnik V.V. Formation of flexible production systems based on digital technologies at enterprises of high-tech industries // STIN. 2022. № 2. pp. 34-36.
10. Drivolskaya N.A., Molozhavenko O.A. Digitalization of industrial awareness as a factor of sustainable production development // Economics and Business: theory and practice. 2021. No. 9-1(79). pp. 74-77.
11. Lyubimenko D.A., Vaisman E.D. Methodological approach to evaluating the effectiveness of engineering projects for the introduction of cyberphysical systems into the activities of industrial enterprises // Economy. Computer science. 2021. Vol. 48. pp. 663-678.
12. Nikolenko S., Kadurin A., Arkhangelskaya E. Deep learning. SPb.: Peter, 2018. 480 p.
13. Pechersky D.K., Zabenkova N.A. Robotic systems in the food industry // Young scientist. 2021. № 6(348). pp. 29-31.
14. Stepanov A.A., Savina M.V., Stepanov I.A. Effectiveness of digital transformation: essence, content, evaluation criteria // Economic systems. 2022. Vol. 15. № 1. pp. 12-24.
15. Charochkina E.Yu., Kryzhanovskaya O.A. Trends in digitalization of the entrepreneurial sector of the Russian economy // Bulletin of the Samara State University of Economics. 2022. № 4(210). pp. 65-71.