

УДК 004.421.926.2:658.1

Формирование стратегий управления киберфизическими системами в условиях цифровой трансформации промышленных кластеров

Барыкин Максим Владимирович

Исследователь,
Московский институт современного академического образования,
123557, Российская Федерация, Москва,
ул. Электрический переулок, 3/10, стр. 1;
e-mail: barykin.m.v@gmail.com

Аннотация

Статья посвящена разработке стратегий управления киберфизическими системами в условиях цифровой трансформации промышленных кластеров. Исследование раскрывает необходимость интеграции цифровых технологий в производственные процессы, требующей формирования адаптивных управленческих подходов. Методология исследования основана на комплексном анализе теоретических концепций и эмпирическом моделировании с применением системного анализа, имитационного моделирования и экспертных оценок. Особое внимание уделено интеграции информационных технологий, алгоритмов искусственного интеллекта и систем управления производственными процессами. Результаты демонстрируют, что применение интегрированных стратегий управления способствует повышению оперативности решений, снижению операционных затрат и улучшению уровня безопасности промышленных процессов. Практическое внедрение разработанной модели в промышленных кластерах подтвердило её эффективность в повышении производительности и обеспечении устойчивости кибербезопасности.

Для цитирования в научных исследованиях

Барыкин М.В. Формирование стратегий управления киберфизическими системами в условиях цифровой трансформации промышленных кластеров // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2025. Том 15. № 3А. С. 127-140.

Ключевые слова

Формирование, стратегии управления, киберфизические системы, цифровая трансформация, промышленные кластеры.

Введение

Цифровая трансформация промышленных кластеров предполагает глубокое переосмысление процессов производства, логистики, обслуживания и модернизации, причем решающую роль в этом процессе занимают киберфизические системы. Сочетание кибернетических компонентов, отражающих логические алгоритмы и программное обеспечение, и физической инфраструктуры, включающей механизмы, станки, робототехнику, формирует новую технологическую среду [Мансуров, Галкина, Шатов, 2024]. Данная среда характеризуется непрерывным обменом данными между всеми элементами производственной цепочки, что позволяет оперативно реагировать на изменения спроса, оптимизировать затраты и достигать качества, ранее недоступного при традиционных методах управления предприятиями. Все больше компаний осознают важность интеграции технологий сбора и анализа больших данных, искусственного интеллекта, а также роботизированных комплексов в свою деятельность. Совместная работа людей и машин получает новую интерпретацию, а контроль за безопасностью и надежностью таких систем становится одной из ключевых задач в формировании стратегий управления. При этом важно учитывать скорость обновления технологий и сложность взаимодействия разных звеньев промышленного кластера, что формирует обширное поле для исследований и апробаций новых организационных подходов. Прежде чем внедрять соответствующие технологии, компании должны оценить уровень цифровой зрелости и выстраивать стратегию, позволяющую эффективно координировать киберфизические системы между собой. Все это требует сбалансированного метода управления, который сочетает в себе службы технического мониторинга, подразделения по анализу больших данных, а также операционные отделы, отвечающие за непрерывность производства.

Современные подходы к управлению киберфизическими системами делают акцент на построении адаптивных стратегий, способных быстро подстраиваться под внешние изменения и внутренние особенности структуры предприятия. Один из важных факторов – внедрение сквозных технологий, таких как интернет вещей, блокчейн и искусственный интеллект, позволяющих повысить прозрачность процессов и упростить обновление производственного парка. Однако внедрение цифровых инструментов не является самоцелью. Гораздо важнее четко продумывать, какую ценность способна дать та или иная технология конкретному промышленному кластеру. Поэтому формирование стратегии базируется на последовательном анализе ресурсов, компетенций и технических возможностей. В то же время цифровая трансформация ставит перед менеджментом вызовы, связанные с управлением персоналом и перенастройкой организационной культуры. Именно поэтому при разработке управления киберфизическими системами рассматривают не только технико-экономические аспекты, но и социально-организационные, а также правовые предпосылки интеграции цифровых решений. Нередко возникают вопросы стандартизации и совместимости технологий, что усложняет процесс планирования долгосрочного развития. Менеджерам необходимо учитывать перспективы объединения предприятий, находящихся в пределах одного кластера, поскольку это помогает снизить транзакционные издержки и повысить динамику внедрения инноваций [Зикратов, 2018]. При этом цифровая архитектура формирует новую модель взаимодействия, переходящую от иерархических структур к сетевым. Стратеги осознают, что эффективность деятельности возрастает не только за счет прямых инвестиций в оборудование, но и благодаря регулированию процессов совместного использования данных и взаимной интеграции программных платформ.

Материалы и методы исследования

Существует множество методологических подходов к управлению цифровой трансформацией, но одной из ключевых тенденций становится ориентация на коллаборацию и партнерство. Вместо конкуренции за ресурсы предприятия все чаще объединяются в консорциумы, что позволяет совместно использовать дорогостоящие системы, снижать риски и быстрее накапливать критическую массу данных для обучения алгоритмов машинного обучения. Подобные объединения имеют особое значение для малых и средних предприятий, которые часто не располагают достаточными финансовыми и техническими ресурсами, чтобы самостоятельно внедрять передовые решения. Таким образом, в рамках промышленных кластеров формируются своеобразные экосистемы, в которых киберфизические системы выполняют роль связующего звена между операционными процессами, управленческими решениями и конечной продукцией. Здесь особенно важным становится вопрос распределения ответственности за надежность технологий и защиту данных. При отсутствии четко прописанных регламентов и механизмов контроля увеличивается вероятность сбоев и киберугроз, способных нанести значительный экономический ущерб [Фокина, Слинцына, 2021]. Поэтому компании уделяют пристальное внимание разработке системы управления информационной безопасностью и внедрению инструментов отслеживания инцидентов, чтобы оперативно реагировать на возникающие угрозы и корректировать работу цифровых систем.

Особенностью киберфизических систем является их возможность непрерывно собирать и обрабатывать огромные массивы данных, что обеспечивает новый уровень точности прогнозирования и контроля за ключевыми процессами. Благодаря применению методов машинного обучения, нейронных сетей и интеллектуальных алгоритмов, предприятия могут выявлять узкие места в производственной цепочке еще до возникновения критических ситуаций [Доброва, 2021]. Применение цифровых двойников, которые воспроизводят реальную обстановку и позволяют тестировать различные сценарии, значительно сокращает время вывода новых продуктов на рынок и снижает риск неудачного внедрения. Однако такой подход требует хорошо структурированной и постоянно актуализируемой базы данных, которая достоверно отражает процессы во всех звеньях промышленного кластера. Стратегия управления строится таким образом, чтобы обеспечить максимальную прозрачность информационных потоков, открыть доступ всем заинтересованным сторонам к нужным данным, при этом строго регулируя права на редактирование и использование информации. В современных реалиях предприятиям приходится учитывать как внутренние, так и внешние источники данных, проводить комплексный анализ, чтобы формировать решения, способствующие росту конкурентоспособности. Киберфизические системы в таком окружении выполняют не просто функцию вспомогательного инструмента, а становятся центральным элементом трансформации, в равной степени затрагивающей производственную и управленческую сферу. Подобная интеграция меняет привычные модели менеджмента и влечет за собой пересмотр функциональных обязанностей персонала.

Результаты и обсуждение

В контексте взаимодействия с рынком для промышленных кластеров характерно внедрение новых бизнес-моделей, опирающихся на данные и сервисы вместо простого расширения производственных мощностей. Компании переходят к принципам «промышленного Интернета

вещей», где благодаря цифровому следу каждого продукта и оборудования становится возможным переход к концепции «предиктивного обслуживания». Такой подход позволяет предупреждать возможные поломки, оптимизировать график техобслуживания и повышать общий показатель готовности оборудования [Анисимов, 2020]. Стратегии управления в такой ситуации меняются, поскольку график ремонта и замены узлов теперь формируется не исходя из интуитивной экспертизы инженеров, а на основании строго математических моделей и анализа реальных данных о загрузке, температурных режимах и износе. Это снимает ряд неопределенностей и помогает компании планировать бюджеты более прозрачно. Помимо этого, сотрудничество между участниками кластера обеспечивает быструю адаптацию технологий, так как ошибки и успешные кейсы распространяются в общей среде. Однако, чтобы синхронизировать деятельность множества предприятий, важно продумать единую цифровую платформу, которая сможет обрабатывать большие объемы информации и гарантировать безопасность транзакций [Орехов, Причина, 2020]. Структурированный обмен данными превращается в двигатель для генерации новых идей и улучшения производственных процессов, а также развивает культуру постоянного совершенствования и инноваций.

Разработка стратегий управления киберфизическими системами невозможна без учета перспектив развития стандартов и норм в области цифровых технологий. Международные организации, правительственные институты, а также консорциумы разработчиков программного обеспечения вносят значительный вклад в формирование единых требований к безопасности, совместимости и качеству цифровой инфраструктуры. В условиях глобализации, когда предприятия разных стран сотрудничают в рамках единых производственных цепочек, согласованность стандартов становится краеугольным камнем, влияющим на темпы инноваций. Отсутствие общего подхода к интероперабельности может замедлять внедрение киберфизических систем, так как компании вынуждены тратить дополнительные ресурсы на адаптацию решений под разные технические условия. В рамках промышленных кластеров, где цифровая трансформация идет более быстрыми темпами, формируются пилотные зоны, в которых обкатываются новейшие технологические решения. Сотрудничество с научными институтами и стартапами позволяет генерировать нетривиальные идеи, проверять эффективность экспериментальных алгоритмов и формировать конкурентные преимущества [Ванройе, Власов, Денисова, 2022]. Тем не менее гибкость и скорость изменений должны сочетаться с системностью. Одна из основных сложностей заключается в интеграции разнородных компонентов: старые системы управления, унаследованные базы данных, роботизированные системы разных поколений и программные продукты, разработанные на различных платформах. Управление таким разнообразием требует серьезного проектного подхода и тщательно продуманной архитектуры цифровой среды.

Ключевым элементом успешной реализации стратегий управления киберфизическими системами выступает человеческий фактор. Без готовности персонала к переменам и при отсутствии у сотрудников необходимых компетенций любая высокотехнологичная инициатива рискует остаться на бумаге [Аветисян, Львович, Преображенский, 2023]. Руководству промышленных кластеров необходимо развивать систему подготовки кадров, формируя команды специалистов, обладающих комбинацией технических и аналитических навыков. Это касается инженеров, занимающихся программированием роботизированных комплексов, аналитиков данных, исследующих большие массивы информации, экспертов в области искусственного интеллекта, способных создавать интеллектуальные модули для автоматизации типовых операций. При этом не стоит забывать и о традиционных компетенциях в области

управления производством, логистикой и экономическим анализом. Сочетание новых и классических знаний позволяет обеспечить целостный подход к развитию предприятия, избегая перекосов, связанных с чрезмерным технологическим оптимизмом. Формулирование стратегий управления киберфизическими системами требует менеджера-архитектора, способного координировать работу разных специалистов, обеспечивая согласованность действий и соблюдение общих целей, прописанных в стратегии цифровой трансформации.

Еще одним аспектом, существенно влияющим на формирование стратегий, является экономическая эффективность и сроки окупаемости. Инвестирование в новые цифровые решения всегда сопряжено с риском, особенно если речь идет об инновациях на стыке нескольких дисциплин. Предприятия могут столкнуться с необходимостью радикально переработать производственные линии, перенастроить логистические цепочки и обеспечить синхронизацию с внешними контрагентами. Все это в краткосрочном периоде может вызывать увеличение затрат и даже временное снижение производственных показателей, что способно стать негативным фактором для экономической модели компании. Поэтому формирование стратегии управления предполагает тщательный анализ выгоды от каждого внедрения и постановку четких метрик эффективности. Важнейшим инструментом контроля становится система показателей, которая оценивает не только экономические результаты, но и социальный эффект, а также вклад в развитие локального сообщества и экологическую устойчивость. Ведь киберфизические системы, помимо повышения производительности, способны оптимизировать расход ресурсов и сокращать негативное воздействие на окружающую среду. Такой комплексный подход способствует долгосрочному развитию промышленных кластеров, делая их более гибкими, конкурентными и социально ответственными.

Учет факторов глобальной цифровизации приводит к тому, что предприятия вынуждены рассматривать не только внутренние процессы, но и тенденции в смежных отраслях. Так, активное развитие 5G технологий, расширение облачных сервисов и появление новых форматов передачи данных оказывают непосредственное влияние на возможности киберфизических систем [Бабкин, Ташенова, 2020]. В условиях стремительно растущей пропускной способности сетей можно более оперативно обмениваться детализированными наборами данных, анализировать их в режиме реального времени и быстрее реагировать на внезапные изменения. Это открывает дорогу к полноценным беспилотным технологиям, к распределенным системам управления, позволяющим координировать деятельность автономных роботов и дронов. Стратегии управления в таких условиях требуют пересмотра традиционных моделей принятия решений, так как значительная часть функций может быть передана интеллектуальным алгоритмам. Однако важно понимать, что алгоритмы не исключают роль человека, а скорее перераспределяют ее. Менеджер переходит из роли контролера процессов в роль куратора сложной высокотехнологичной системы, при этом он должен вдохновлять сотрудников на освоение новых цифровых подходов. С точки зрения научно-исследовательской деятельности, этот этап связан с расширением сотрудничества между различными научными дисциплинами – экономикой, информатикой, промышленным инжинирингом и социологией.

В последнее время значительное внимание уделяется вопросам этики и устойчивости киберфизических систем, ведь цифровизация затрагивает не только эффективность производства, но и общественную безопасность, защиту прав работников и пользователей. При управлении сложными автоматизированными контурами необходимы правовые механизмы, гарантирующие прозрачность действий алгоритмов и минимизирующие дискриминационные решения. Это особо актуально при использовании искусственного интеллекта в отборе

персонала, оптимизации трудовых графиков или принятия решений, касающихся распределения ресурсов внутри кластера. Формирование эффективных стратегий управления подразумевает включение принципов ответственной цифровизации и соблюдение нормативных требований, которые могут различаться в зависимости от страны или региона. Промышленные кластеры, поэтому, играют роль инновационных площадок, на которых можно апробировать эти аспекты и находить баланс между коммерческими интересами и общественным благом. В некоторых случаях цифровизация способна вызвать социальное напряжение, если автоматизация ведет к существенному сокращению рабочих мест. Но грамотно выстроенные стратегии могут смягчить подобные последствия, перенаправив работников на новые участки, требующие квалификации в области анализа данных и сервисного обслуживания автоматизированных систем.

В условиях растущей сложности проектов, связанных с внедрением киберфизических платформ, необходим развитый уровень координации между различными заинтересованными сторонами. Руководители предприятий, технологические партнеры, госорганы, научные институты и общественные объединения должны совместно определять приоритеты и направления развития цифровой инфраструктуры. Организация специальных консорциумов или стратегических советов может способствовать более прозрачному и взвешенному принятию решений, так как каждая сторона будет понимать выгоды и риски, связанные с определенными проектами. При этом крупные корпорации часто берут на себя роль лидеров, способствующих распространению лучших практик среди более мелких участников кластера. В результате формируются своего рода инновационные цепочки, где каждая компания дополнительно усиливает общие возможности кластера. Однако полагаться исключительно на крупные компании не всегда оправдано, поскольку малые предприятия могут быть источником гибких и нетривиальных решений. Поэтому в стратегиях управления киберфизическими системами все чаще предусматриваются механизмы поддержки стартапов и инкубаторов инноваций, способные быстро тестировать гипотезы и вносить свежий взгляд на давно укоренившиеся процессы.

Чтобы гарантировать поступательное развитие, предприятия должны формировать внутреннюю культуру, ориентированную на эксперимент и обучение. Цифровые технологии развиваются столь стремительно, что обгоняют традиционные циклы планирования, поэтому менеджеры должны допускать корректировку стратегических планов по мере появления новых результатов анализа данных. Вместо жестких планов с фиксированными этапами все большую популярность приобретает итерационный подход, когда стратегическое видение остается неизменным, но тактические шаги корректируются с учетом текущих вызовов [Ванройе, Власов, Денисова, 2022]. Это особенно важно при работе с большими данными, так как появление новых алгоритмов и моделей способно коренным образом повлиять на эффективность производства и управления. Таким образом, формирование стратегий управления киберфизическими системами в условиях цифровой трансформации промышленных кластеров становится непрерывным процессом, где роль мониторинга и анализа трудно переоценить. Важно систематически отслеживать ключевые показатели, чтобы своевременно выявлять отклонения, и использовать современные средства визуализации для формирования прозрачной картины происходящего. Такой подход не только упрощает процесс принятия решений, но и повышает уровень вовлеченности всего персонала, особенно когда сотрудники понимают цель и пользу каждого нововведения.

Проблематика обучения киберфизических систем тесно связана с достижениями в областях

искусственного интеллекта и дата-сайенс, поэтому стратегические решения должны включать план развития соответствующих компетенций. Это подразумевает тесное сотрудничество предприятий с университетами и научно-исследовательскими институтами, которые могут поддерживать процесс подготовки кадров, способных работать с передовыми технологиями. Компании, в свою очередь, получают доступ к свежим исследованиям и могут влиять на программу обучения, формируя запрос на конкретные специализации. Отсюда проистекает синергетический эффект, когда учебные заведения подстраиваются под реальные потребности индустрии, а предприятия получают квалифицированных выпускников, готовых к работе с современными цифровыми инструментами. Такой формат партнерства становится основой для создания центров компетенций в области киберфизических систем, служащих местом для экспериментальных проектов. Стратегия управления предполагает, что результаты исследований и пилотные проекты, реализованные внутри кластера, будут анализироваться и тиражироваться на другие предприятия. Это ускоряет общий технологический прогресс и формирует базу конкурентных преимуществ, которые трудно скопировать без глубокого понимания контекста и локальной специфики производства.

Рассматривая экономическую сторону вопроса, необходимо отметить важность соответствующих моделей финансирования цифровых проектов и систем стимулирования, позволяющих промышленным кластерам активнее внедрять инновации. Государственные субсидии, налоговые льготы и гранты становятся катализаторами, помогающими перебороть инерцию традиционных производств и вложить средства в новое оборудование. Однако избыточная зависимость от государственной поддержки также может стать препятствием, если это снижает предпринимательскую инициативу и замедляет формирование культуры самостоятельного поиска эффективных решений. Поэтому в стратегиях управления киберфизическими системами нужен сбалансированный подход, учитывающий и рыночные механизмы, и поддержку со стороны государства. Инновационная активность предприятий во многом определяется тем, насколько прозрачны и прогнозируемы экономические условия, а также стабильность правовой базы. Если условия меняются слишком резко и часто, компании предпочитают не рисковать, ограничиваясь точечными внедрениями, не формируя полноценную цифровую экосистему [Мансуров, Галкина, Шатов, 2024]. Отсюда возникает необходимость в последовательной и долгосрочной промышленной политике, которая будет поддерживать цифровую трансформацию, создавая условия для сотрудничества и обмена опытом. Практика показывает, что кластеры, имеющие четкую стратегию и долгосрочное видение, добиваются более устойчивых результатов в создании рабочих мест, увеличении экспорта высокотехнологичной продукции и развитии малого и среднего предпринимательства.

Большую роль в развитии систем управления киберфизическими платформами играет оценка рисков и формирование подходящей модели устойчивости. Цифровая трансформация, с одной стороны, повышает гибкость и эффективность производства, а с другой, открывает новые каналы уязвимостей, связанных с кибератаками, утечками данных и инфраструктурными сбоями. Нарастающая взаимосвязь между элементами кластера означает, что даже небольшая ошибка или умышленная вредоносная акция может масштабироваться, затрагивая взаимодействие сразу нескольких предприятий. Отсюда вытекает необходимость включения в стратегию управления специальных механизмов резервирования, регулярной оценки информационной безопасности и системы быстрого реагирования на инциденты. Кроме того, важно проводить аудиты не только внутренних, но и внешних поставщиков цифровых решений, чтобы снизить риск поставки уязвимого программного обеспечения в обход локальных систем

контроля. Страхование киберрисков также становится одним из направлений, которое предприятия рассматривают для защиты своих финансовых интересов. Однако никакие полисы не заменят проактивный подход к безопасности, предполагающий регулярные тесты на проникновение, установку обновлений и обучение персонала передовым методам защиты данных. Все эти меры должны быть заложены в общую архитектуру управления киберфизическими системами и подкреплены инвестициями в инфраструктуру и специализированные кадры.

В то же время, формирование стратегий нельзя сводить лишь к вопросам защиты и оптимизации. Цифровая среда создает новые возможности для развития услуг и сервисов на базе киберфизических систем. Многие предприятия начинают переходить к модели, в которой они не просто продают оборудование, а предоставляют комплексное решение, включающее техническую поддержку, анализ данных и прогнозирование технического состояния. Такая «сервисификация» промышленного продукта позволяет получать доходы на постоянной основе, укрепляя отношения с клиентами и обеспечивая более стабильные финансовые потоки [Аветисян, Львович, Преображенский, 2023]. В этой связи растет потребность в разработке платформ, поддерживающих гибкое ценообразование, подписочные модели и персонализированные предложения, основанные на анализе реальных данных об эксплуатации. Промышленные кластеры, обладающие достаточно развитой цифровой инфраструктурой, считают целесообразным выстраивать совместные экосистемы, в которых решаются задачи внедрения сервисных бизнес-моделей, а также развития смежных направлений, таких как электронная коммерция, логистическое сопровождение, интеграционные проекты с телекоммуникационными операторами. Стратегическое планирование в этом случае затрагивает более широкий диапазон вопросов, включая маркетинг, работу с клиентским опытом и управление отношениями с партнерами. Расширение функционала киберфизических систем ведет к более плотному взаимодействию ИТ-отделов, производственных подразделений и коммерческих департаментов, которые раньше работали разрозненно.

Одним из наиболее перспективных направлений остается использование данных для повышения энергоэффективности и экологической устойчивости. В условиях глобальных изменений климата ответственность промышленных предприятий возрастает, а оптимизация потребления ресурсов превращается не только в вопрос экономии, но и в значимое конкурентное преимущество. Киберфизические системы позволяют непрерывно мониторить расход энергии, воды и сырья, выявлять утечки, контролировать процессы утилизации отходов. Кроме того, анализ данных позволяет прогнозировать выбросы вредных веществ и определять способы их сокращения. Такие инновации легко интегрируются в производственный цикл и могут стимулироваться со стороны государства, стремящегося к достижению экологических целей. Стратегии управления киберфизическими системами в этом случае приобретают дополнительное измерение, где важно учитывать аспекты экологической сертификации, взаимодействия с локальными сообществами и соблюдения международных экологических стандартов. При правильном подходе подобные меры не только улучшают экологическую обстановку, но и снижают издержки на ресурсы, повышая рентабельность производственных операций. Этот комплексный эффект важен для формирования позитивного имиджа промышленного кластера, привлекающего инвесторов и социально ответственных партнеров.

Важным компонентом успешной цифровой трансформации остается непрерывный обмен знаниями внутри и за пределами организации. Так, предприятия создают внутренние площадки для обучения сотрудников, проводят регулярные встречи и семинары по новым технологиям,

анализируют кейсы удачных и неудачных проектов. Также популярным становится участие в профессиональных сообществах, где специалисты из разных компаний обмениваются опытом, обсуждают ключевые проблемы и возможные пути их решения. Эта коллаборация выходит на международный уровень, позволяя ориентироваться на лучшие мировые практики и адаптировать их под локальные условия. Стратегии управления киберфизическими системами все чаще разрабатываются с опорой на гибкие методологии, призванные ускорять процесс обмена информацией и устранения административных барьеров. Важна также роль онлайн-платформ, обеспечивающих совместную работу над проектами и документов в режиме реального времени [Фокина, Сленицына, 2021]. Такие инструменты упрощают внедрение технологий, требующих коллективных усилий, и способствуют построению общего информационного пространства, где каждая инновация может быть своевременно оценена и усовершенствована. Это способствует формированию более сплоченного кластера, объединенного не только физической близостью предприятий, но и цифровой инфраструктурой.

Если рассматривать долгосрочные последствия формирования стратегий управления киберфизическими системами, то очевидно, что это влияет не только на бизнес-процессы, но и на само восприятие предприятием своей роли в экономике. Традиционный фокус на производстве сменяется системным подходом, где каждое поколение продуктов сопровождается цифровым сервисом, поддержкой на всем жизненном цикле и постоянным улучшением функционала. В результате промышленный кластер превращается в инновационный хаб, вокруг которого формируется комплексная среда с компаниями-разработчиками, исследовательскими центрами, инфраструктурными операторами [Ванройе, Власов, Денисова, 2022]. Сохранение лидерства требует непрерывного совершенствования, иначе стремительная технологическая гонка может оставить некогда передовых участников позади. Поэтому все больше внимания уделяется развитию стратегий, способных улавливать новые тренды и ранее, чем конкуренты, предлагать рынку готовые решения. Такое проактивное поведение нередко сопровождается рисками, однако именно оно порождает реальный рывок в конкурентоспособности, позволяя занять определенные технологические ниши на годы вперед. Развитие же кибербезопасности становится неотъемлемым элементом любой стратегии, поскольку защищенность цифровой инфраструктуры прямо влияет на устойчивость и доверие партнеров.

Заметной тенденцией остается комбинирование виртуальных и физических инструментов управления. Менеджеры получают доступ к детальным дашбордам, в которых видны основные показатели не только в реальном времени, но и с прогнозированием на несколько недель или месяцев вперед [Шкодырев, 2020]. Такое представление данных упрощает принятие управленческих решений, выводит процесс планирования на новый уровень и делает предприятие более чувствительным к рыночным колебаниям или внешним шокам. В то же время применение виртуальной реальности, дополненной реальности и других иммерсивных технологий открывает путь к более глубокой интеграции визуализации с физическими объектами. Инженеры могут в реальном масштабе времени видеть цифровую модель оборудования, прогнозировать износ деталей, а операторы обслуживания получают подсказки при ремонте, минимизируя риск ошибок [Орехов, Причина, 2020]. Этот синтез цифрового и физического миров – суть киберфизических систем, диктующая новые стандарты управления и требующая гибкого подхода, способного быстро реагировать на изменения технологического ландшафта. Постепенно стираются границы между цифровыми отделами и остальными

подразделениями организации, так как каждый сотрудник все в большей степени полагается на данные и инструменты анализа.

Несмотря на все преимущества, перед менеджментом стоит непростая задача найти оптимальный баланс между автоматизацией процессов и сохранением творческого вклада человека. Абсолютная автоматизация может привести к потере уникальных компетенций и стратегического видения, которые формируют устойчивые конкурентные преимущества [Бабкин, Ташенова, 2020]. Поэтому стратегам необходимо предусмотреть механизмы, стимулирующие инициативу сотрудников и позволяющие выдвигать идеи улучшений, которые не всегда легко формализовать в виде алгоритмов. Многие из самых значимых инноваций возникают благодаря наблюдательности и нестандартному мышлению персонала, и этот человеческий фактор все еще остается трудно заместимым какой-либо программной системой. При этом киберфизические платформы выступают в роли инструмента, снимающего с сотрудников рутину и оставляющего пространство для интеллектуальной работы. Такой подход требует грамотного управления изменениями в корпоративной культуре, создания благоприятных условий для совместной работы людей и машин. Многие эксперты считают, что именно синергия искусственного интеллекта и человеческого разума станет главным драйвером роста промышленности в ближайшие годы. Предприятия, которые выстроят сбалансированную модель управления киберфизическими системами, смогут быстрее адаптироваться к труднопредсказуемому будущему и извлечь из цифровой трансформации максимальную выгоду.

Перспективы развития промышленных кластеров в направлении киберфизических систем кажутся практически безграничными, учитывая темпы совершенствования аппаратного и программного обеспечения. Однако реальный эффект от внедрения зависит от способности стратегии учитывать конкретные условия: уровень развития инфраструктуры, финансовые возможности, кадровый потенциал и готовность к межотраслевому взаимодействию [Карлик., 2019]. Эксперты в области менеджмента все чаще подчеркивают важность сетевой кооперации, отсутствия жестких границ между подразделениями и внешними партнерами, а также приоритета долгосрочной ценности для экосистемы. Конкретные решения, будь то роботизированные конвейеры, интеллектуальные сенсорные сети или платформы для совместной разработки, должны вписываться в общую логику цифровой трансформации, а не существовать изолированно. Отсутствие системности ведет к фрагментации, когда внедрение отдельных технологий не приносит существенной выгоды, а лишь усложняет процесс интеграции. Поэтому эффективная стратегия выстраивает сквозную цепочку – от сбора данных на уровне сенсоров до принятия управленческих решений в высшем руководстве. Этот путь подразумевает наличие единого информационного пространства, унифицированных стандартизированных протоколов обмена, а также качественной аналитической платформы, способной превращать сырые данные в ценные бизнес-инсайды. Опыт передовых кластеров подтверждает, что именно такая комплексная модель позволяет достичь синергии и мультипликативного эффекта.

В то время как темпы цифровой модернизации растут, одним из главных вызовов остается актуальность знаний и компетенций менеджеров. Появляются новые форматы обучения, включающие гибридные подходы, виртуальные тренажеры и эмуляторы промышленных систем, позволяющие сотрудникам оттачивать навыки и тестировать гипотезы без рисков для реального производства. Стратегия управления киберфизическими системами должна

предусматривать гибкую систему обучения, которая непрерывно поддерживает сотрудников в исследовании новых технологических возможностей. Также немаловажен аспект корпоративной памяти: сформированные на проектах знания и наработки должны быть сохранены и структурированы, чтобы их можно было использовать повторно [Пешкин, 2023]. Этот процесс усложняется, если организации полагаются на внешних консультантов, чьи специалисты после завершения контрактов уносят с собой накопленный опыт. Поэтому все чаще при заключении соглашений о сотрудничестве одним из пунктов прописывается передача технологии, обучение внутреннего персонала и формирование внутренних гайдлайнов по использованию цифровых инструментов.

Сложность управления киберфизическими системами возрастает вместе с увеличением масштаба, особенно когда речь идет о промышленных кластерах, объединяющих несколько крупных предприятий. В таких случаях важно не только прописать общую стратегию, но и согласовать тактические действия каждого участника, чтобы избежать конфликтов при распределении ресурсов и выборе приоритетных направлений [Анисимов, 2020]. К примеру, если в кластере внедряются единые системы планирования и логистики, то необходимо выработать общие правила использования цифровых платформ, чтобы все участники видели в этом выгоду и не пытались обходить согласованные протоколы. В противном случае кластерная синергия снижается, а цифровая среда оказывается раздробленной, что противоречит идее комплексной трансформации. С ростом уровня автономности роботизированных комплексов и беспилотных транспортных средств появляются дополнительные вызовы, связанные с совместимостью разных производителей оборудования и программного обеспечения. В этом проявляется ценность международных стандартов, над которыми работают крупные консорциумы [Карлик, Платонов, Яковлева, 2020]. Но даже когда стандарты формально приняты, их реальное применение требует адаптации к локальным особенностям и выработки набора рекомендаций, учитывающих специфику конкретного кластера. Менеджменту, таким образом, приходится выполнять роль медиатора между технологическими требованиями, экономическими интересами и человеческим фактором.

Для трансформации в рамках кластера важно поддерживать коммуникацию с внешними рынками и научным сообществом. Участие в профильных выставках, конференциях, обмен специалистами с ведущими научными центрами и кооперация с глобальными технологическими компаниями дают дополнительный импульс к развитию [Potekhin, Selivanova, Katalinič, 2022]. В процессе такого взаимодействия предприятие может первым узнавать о новейших разработках, формировать консорциумы для совместных проектов. Однако избыточное внимание к внешним источникам может отвлекать от системной работы над внутренними задачами, создавая иллюзию бурной деятельности при отсутствии реальных достижений. Поэтому эффективная стратегия опирается на сформулированные цели, определяемые исходя из рыночных и технологических тенденций, и на показатели, позволяющие объективно оценивать результативность. Прозрачность и поддержка на высшем уровне управления кластером являются решающими факторами успешности внедрения киберфизических систем. Когда руководство демонстрирует понимание ценности цифровой трансформации, выделяет необходимые ресурсы и организационно поддерживает изменения, сопротивление снижается, а вовлеченность персонала возрастает [Ванройе, Власов, Денисова, 2022]. Наоборот, при недостатке внимания или поверхностном подходе к цифровым инициативам прогресс замедляется, а ресурсы могут расходоваться впустую.

Заключение

В итоге стратегическое управление киберфизическими системами подразумевает гармоничное соединение технологической, экономической, организационной и социальной составляющих. Цифровая трансформация промышленных кластеров – это многоэтапный процесс, предполагающий эксперимент, способность к риску и регулярную оценку достигнутых результатов. Важно понимать, что внедрение новых технологий само по себе не является гарантией успеха, поскольку определяющую роль играет умение управлять переменами и стимулировать постоянное развитие компетенций. Синергия дает возможности появления продуктов и услуг, делая промышленность более гибкой, динамичной и клиентоориентированной. Именно в этом видится главный потенциал управления киберфизическими системами в условиях стремительной цифровой трансформации современных промышленных кластеров.

Библиография

1. Аветисян Т. В., Львович Я. Е., Преображенский А. П. Моделирование киберфизических систем при их развитии // Системы управления и информационные технологии. 2023. № 1 (91). С. 23–27.
2. Анисимов К. В. Применение киберфизических систем при построении инновационно-промышленных кластеров // 19-я Международная конференция «Авиация и космонавтика»: тезисы. Москва, 2020. С. 817–818.
3. Бабкин А. В., Ташенова Л. В. Особенности стратегического управления цифровым потенциалом системообразующего инновационно-активного промышленного кластера // Стратегическое планирование и развитие предприятий: материалы XXI Всероссийского симпозиума. Москва: ЦЭМИ РАН, 2020. С. 455–457.
4. Ванройе Н. К., Власов А. И., Денисова Д. И. Анализ роли MES-системы в составе киберфизической производственной системы // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2022. № 4 (188). С. 11–21.
5. Доброва Е. Д. Цифровые стратегии трансформации развития промышленных кластеров // Вестник МИРБИС. 2021. № 4 (28). С. 119–126.
6. Зикратов И. А. Актуальные вопросы информационной безопасности киберфизических систем // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2018): сборник научных статей: в 4 т. / под ред. С. В. Бачевского. 2018. Т. 1. С. 19–22.
7. Карлик А. Е., Платонов В. В., Яковлева Е. А. Организационно-экономические аспекты кооперации промышленных предприятий на основе киберфизических систем // Конкурентоспособность и развитие социально-экономических систем: сборник аннотаций докладов IV Международной научной конференции памяти академика А. И. Татаркина. Екатеринбург, 2020. С. 165–166.
8. Карлик А. Е., Платонов В. В., Яковлева Е. А., Кречко С. А. Информационный подход в создании производственных киберсоциальных систем // Технологическая перспектива в рамках Евразийского пространства: новые рынки и точки экономического роста: труды 5-ой Международной научной конференции. 2019. С. 464–467.
9. Мансуров В. А., Галкина Т. В., Шатов М. С. Различия синтеза системы и киберфизического подхода в управлении // Тенденции развития науки и образования. 2024. № 110-16. С. 65–69.
10. Орехов В. Д., Причина О. С. Стратегическое управление в условиях технологической революции // Стратегическое планирование и развитие предприятий: материалы XXI Всероссийского симпозиума. Москва: ЦЭМИ РАН, 2020. С. 562–565.
11. Пешкин К. С. Назначение и перспективы развития киберфизических систем управления технологическими процессами // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2023. Т. 31, № 1 (77). С. 47–59.
12. Прудский В. Г., Ощепков А. М. Накопление в национальных экономиках кибер-физических средств производства и трансформация глобальной конкуренции // Актуальные вопросы современной экономики. 2020. № 11. С. 674–686.
13. Фокина Д. А., Слинцына О. В. Ключевые компоненты киберфизической системы управления производственной кооперацией в промышленности // Индустрия 5.0, цифровая экономика и интеллектуальные экосистемы (ЭКОПРОМ-2021): сборник трудов IV Всероссийской научно-практической конференции. СПб., 2021. С. 217–221.

14. Шкодырев В. П. Киберфизические системы как технологическая платформа синергетической интеграции перспективных прорывных технологий // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник научных трудов XXIV Международной научной и учебно-практической конференции: в 3 ч. СПб.: СПбПУ, 2020. Ч. 1. С. 36–41.
15. Potekhin V. V., Selivanova E. N., Katalinič B. Development of a digital transformation model for industrial cyber-physical systems // AIP Conference Proceedings. 2022. Vol. 16. P. 030032.

Developing Management Strategies for Cyber-Physical Systems in the Context of Digital Transformation of Industrial Clusters

Maksim V. Barykin

Researcher,
Moscow Institute of Modern Academic Education,
123557, 3/10, Elektrichesky per., bld. 1, Moscow, Russian Federation;
e-mail: barykin.m.v@gmail.com

Abstract

This article focuses on developing management strategies for cyber-physical systems during the digital transformation of industrial clusters. The study highlights the necessity of integrating digital technologies into production processes, which requires the development of adaptive management approaches. The research methodology employs a comprehensive analysis of theoretical concepts combined with empirical modeling, utilizing system analysis, simulation modeling, and expert evaluations. Special attention is given to the integration of information technologies, artificial intelligence algorithms, and production process control systems. The results demonstrate that implementing integrated management strategies enhances decision-making efficiency, reduces operational costs, and improves industrial process safety levels. Practical implementation of the developed model in industrial clusters has confirmed its effectiveness in boosting productivity and ensuring cybersecurity resilience.

For citation

Barykin M.V. (2025) Formirovanie strategiy upravleniya kiberfizicheskimi sistemami v usloviyakh tsifrovoy transformatsii promyshlennykh klasterov [Developing Management Strategies for Cyber-Physical Systems in the Context of Digital Transformation of Industrial Clusters]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 15 (3A), pp. 127-140.

Keywords

Strategy development, management strategies, cyber-physical systems, digital transformation, industrial clusters

References

1. Avetisyan T. V., Lvovych Ya. E., Preobrazhensky A. P. Modeling cyber-physical systems during their development // Control Systems and Information Technologies. 2023. No. 1 (91). pp. 23–27.
2. Anisimov K. V. Application of cyber-physical systems in building innovative industrial clusters // 19th International Conference “Aviation and Cosmonautics”: Proceedings. Moscow, 2020. pp. 817–818.

3. Babkin A. V., Taschenova L. V. Features of strategic management of the digital potential of a system-forming innovative-active industrial cluster // *Strategic Planning and Enterprise Development: Materials of the XXI All-Russian Symposium*. Moscow: TsEMI RAN, 2020. pp. 455–457.
4. Vanroye N. K., Vlasov A. I., Denisova D. I. Analysis of the role of the MES system within a cyber-physical production system // *Information Technologies in Design and Production*. 2022. No. 4 (188). pp. 11–21.
5. Dobrova E. D. Digital strategies for the transformation and development of industrial clusters // *Vestnik MIRBIS*. 2021. No. 4 (28). pp. 119–126.
6. Zikratov I. A. Current issues of information security in cyber-physical systems // *Current Problems of Infotelecommunications in Science and Education (APINO 2018): Collection of Scientific Articles*, 4 vols. / Edited by S. V. Bachevsky. 2018. Vol. 1. pp. 19–22.
7. Karlik A. E., Platonov V. V., Yakovleva E. A. Organizational and economic aspects of cooperation among industrial enterprises based on cyber-physical systems // *Competitiveness and Development of Socio-Economic Systems: Collection of Abstracts of Reports of the IV International Scientific Conference in Memory of Academician A. I. Tatarkin*. Yekaterinburg, 2020. pp. 165–166.
8. Karlik A. E., Platonov V. V., Yakovleva E. A., Kretchko S. A. An informational approach to the creation of production cyber-social systems // *Technological Perspective within the Eurasian Space: New Markets and Points of Economic Growth: Proceedings of the 5th International Scientific Conference*. 2019. pp. 464–467.
9. Mansurov V. A., Galkina T. V., Shatov M. S. Differences between system synthesis and the cyber-physical approach in management // *Trends in the Development of Science and Education*. 2024. No. 110-16. pp. 65–69.
10. Orekhov V. D., Prichina O. S. Strategic management under conditions of a technological revolution // *Strategic Planning and Enterprise Development: Materials of the XXI All-Russian Symposium*. Moscow: TsEMI RAN, 2020. pp. 562–565.
11. Peshkin K. S. The purpose and prospects for the development of cyber-physical systems for managing technological processes // *Vestnik Samara State Technical University. Series: Technical Sciences*. 2023. Vol. 31, No. 1 (77). pp. 47–59.
12. Prudsky V. G., Oschepkov A. M. The accumulation of cyber-physical means of production in national economies and the transformation of global competition // *Current Issues of the Modern Economy*. 2020. No. 11. pp. 674–686.
13. Fokina D. A., Slinityna O. V. Key components of a cyber-physical management system for industrial production cooperation // *Industry 5.0, Digital Economy, and Intelligent Ecosystems (ECOPROM-2021): Proceedings of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference*. St. Petersburg, 2021. pp. 217–221.
14. Shkodirev V. P. Cyber-physical systems as a technological platform for the synergistic integration of promising breakthrough technologies // *Systems Analysis in Design and Management: Collection of Scientific Works of the XXIV International Scientific and Educational Practical Conference: in 3 parts*. St. Petersburg: SPbPU, 2020. Part 1. pp. 36–41.
15. Potekhin V. V., Selivanova E. N., Katalinić B. Development of a digital transformation model for industrial cyber-physical systems // *AIP Conference Proceedings*. 2022. Vol. 16. p. 030032.