

УДК 004.75:658

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРИФЕРИЙНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ
В УПРАВЛЕНИИ ПРОМЫШЛЕННЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ**

Крамаренко Анна Константиновна, к.э.н., доцент

Давыдовская Софья Валерьевна, аспирант

Брестский государственный технический университет

Kramarenko Anna, PhD in Economics, annnakramarenko@yandex.by

Davydovskaya Sofia Valerievna, graduate student, sofadavydovskaya@gmail.com

Brest State Technical University

Аннотация. В статье изложены некоторые особенности и проблемы применения периферийных вычислений в деятельности промышленных предприятий в условиях развития цифровой экономики в Беларуси. Показано, что периферийные вычисления – это современный элемент перехода от локальной автоматизации отдельных производственных операций к формированию распределенных интеллектуальных производственных экосистем.

Ключевые слова: цифровая экономика, промышленные предприятия, периферийные вычисления, управление производством.

Современная среда промышленного предприятия находится на пути системной и необратимой цифровой трансформации. В рамках нее происходит постепенный переход от локальной автоматизации отдельных производственных операций к формированию распределенных интеллектуальных производственных экосистем. Данный процесс сопровождается все большим взаимодействием физических производственных объектов, цифровых платформ, аналитических систем и коммуникационных протоколов [1]. Если ранее основное внимание уделялось повышению производительности отдельных узлов, в современное время внимание переходит на сквозную цифровизацию цепочки создания стоимости и формирование самоадаптирующихся систем управления.

Основной сложностью для менеджмента промышленных предприятий становится обработка экспоненциально растущих объемов информации, формируемой инфраструктурой промышленного Интернета вещей [2]. Информация поступает с датчиков, исполнительных устройств, систем мониторинга, MES-систем и ERP-платформ. Тем самым, появляются многослойные информационные потоки. Они обладают высокой частотой, часто разнородны и требуют обработки в режиме реального времени. Поэтому возникают сложности в их хранении, передаче, расшифровке и др.

Классическая модель цифровых вычислений в таких условиях имеет ограничения, связанные с работой централизованной инфраструктуры. Такие системы цифровых вычислений, обладающие высокой эластичностью и масштабируемостью, не позволяют достичь необходимого времени отклика для современных производственных задач. Задержки, возникающие при передаче данных в удаленные дата-центры и обратно, затрудняют применение систем цифровых вычислений в системах с заданными временами.

Измерения показывают, что время задержки в общедоступных сетях изменяются со 150 до 500 миллисекунд. А время отклика, необходимое для управления ключевым оборудованием (станками с ЧПУ, роботизированными манипуляторами, др.), составляет от 1 до 10 миллисекунд. Такое несоответствие ограничивает централизованную обработку данных. Поэтому многие промышленные предприятия переходят к периферийным вычислениям, предусматривающим перенос вычислительных мощностей и алгоритмов обработки данных непосредственно к источнику их образования.

Применение периферийных вычислений позволяет уменьшить величину задержки и повысить предсказуемость функционирования системы, что является важным требованием для промышленного предприятия. Кроме того, применение периферийных вычислений позволяет снижать нагрузку на опорные каналы связи за счет фильтрации данных. Известно, что до 80-90 % генерируемых телеметрических данных являются «информационным шумом» [3]. Это стабильные значения параметров, которые не влияют на принятие решений. Использование периферийных вычислений также обеспечивает потоковую обработку данных с их предварительной обработкой (включая выявление аномалий) в режиме реального времени.

В целом, методическая база периферийных вычислений предусматривает построение многоуровневой архитектуры, включающей периферийный, промежуточный и облачный уровни вычислений. Периферийный уровень - это первичная обработка информации с процедурами вывода по обученным моделям и управление оборудованием на местах. На промежуточном уровне происходит агрегация данных, взаимодействие между узлами и текущее управление производством. На облачном уровне - долгосрочное хранение данных, аналитика и обучение моделей. Работа этих трех уровней обеспечивает баланс между скоростью обработки и вычислительной мощностью, а также повышает способность системы сохранять работоспособность при отказах.

Распределенная организация цифровой инфраструктуры предприятия соответствует принципам адаптивного управления. Оно основано на принятии решений на локальном уровне [4]. Распределенная организация позволяет уменьшить временные потери, возникающие при принятии решений по уровням управления. В результате происходит переход в деятельности предприятия от иерархической модели к горизонтальной модели управления. В ней обеспечивается высокая самостоятельность отдельных производственных единиц при принятии решений.

Внедрение периферийных вычислений требует модернизации и перестройки существующей цифровой инфраструктуры предприятия. Важным становится внедрение распределенных вычислительных узлов в деятельности производственных подразделений, систем управления обновлением производственных устройств [3; 4]. Одновременно возрастает роль подходов к организации и сопровождению программных решений, способствующих сокращению времени внедрения изменений в текущую деятельность. Это формирует новые требования к квалификации персонала, который должен обладать компетенциями в области сетевых технологий, анализа данных, искусственного интеллекта, др.

Особенностью периферийных вычислений является возможность контейнеризации программных решений. Она обеспечивает изоляцию процессов, переносимость программных приложений и возможность быстрого масштабирования. В деятельности промышленного предприятия это означает, что при изменении производственной нагрузки или номенклатуры выпуска, появляется возможность развертывания требуемых аналитических модулей на периферийных узлах в течение малого периода времени. Системы управления такими приложениями обеспечивают и гибкость инфраструктуры при перераспределении производственной нагрузки путем создания промежуточного уровня для обработки данных.

Применение периферийных вычислений также важно в проведении анализа для разработки прогнозов. Периферийные вычисления позволяют изучать сигналы, различные вибрации и звуки в работе оборудования. Это важно для своевременного выявления потенциальных неисправностей [3; 4]. Такой механизм присутствует и в работе цифровых двойников. Цифровые двойники представляют собой модели ключевого оборудования, которые работают одновременно с реальным изучаемым объектом. Полученные данные позволяют проводить сценарный анализ, прогнозировать поведение изучаемого объекта и оптимизировать режим его работы.

Искусственный интеллект, используемый в данном контексте, расширяет функциональные возможности периферийных вычислений за счет применения алгоритмов анализа изображений.

Это позволяет своевременно выявлять дефекты и контролировать качество выпуска. В результате снижается брак и растет производительность производственной деятельности.

Экономическая выгода от применения периферийных вычислений определяется следующими основными факторами:

- снижением затрат на передачу данных от оборудования в аналитику;
- уменьшением времени простоя оборудования;
- продлением срока службы оборудования;
- повышением общей производительности труда.

Дополнительно снижаются капитальные затраты за счет более рационального использования ресурсов.

В контексте обеспечения технологической независимости периферийные вычисления позволяют промышленным предприятиям быть работоспособными даже при ограничении доступа к внешним цифровым сервисам. А использование открытых программных решений способствует формированию и поддержке независимой цифровой инфраструктуры, что особенно важно для стратегически значимых отраслей.

Рассмотрение периферийных вычислений в рамках концепции Индустрии 5.0, ориентированной на человека, также заслуживает особого внимания. Периферийные вычисления способствуют работе систем дополненной реальности, виртуальной реальности и интеллектуальных носимых устройств. Внедрение изучаемых вычислений в контексте концепции Индустрии 5.0 позволяет создавать безопасные и эргономичные условия труда, снижать уровень производственного травматизма.

Также периферийные вычисления помогают внедрять и реализовывать экологические подходы и энергоэффективные решения в деятельность промышленных предприятий [5]. Они снижают нагрузку на централизованные дата-центры, уменьшая энергопотребление и своеобразный углеродный след. Кроме того, используются алгоритмы оптимизации энергопотребления, которые помогают в автоматическом режиме регулировать работу конкретного оборудования.

Периферийные вычисления и применяют подход нулевого доверия, при котором каждое устройство проходит проверку и затем получает разрешение на доступ. Это позволяет фильтровать трафик и обеспечивает защиту от несанкционированного доступа. Распределение данных снижает вероятность взлома всей системы через определенную точку входа.

При всех перечисленных преимуществах внедрения периферийных вычислений в деятельность промышленных предприятий, возникают и определенные риски. Ключевые из них:

- возможная фрагментация производственных данных;
- возможные сложности управления распределенной инфраструктурой;
- необходимость обеспечения согласованности данных;
- увеличения уязвимости из-за большого количества подключенных устройств.

Для минимизации данных рисков требуется внедрение систем централизованного мониторинга, которые могли бы записывать события, отслеживать нежелательные запросы, собирать и анализировать данные [6].

Подводя итог, следует сказать, что периферийные вычисления - это современный элемент перехода от локальной автоматизации отдельных производственных операций к формированию распределенных интеллектуальных производственных экосистем.

Их внедрение требует комплексного подхода, включающего модернизацию ИТ-инфраструктуры, развитие компетенций персонала и пересмотр существующих управленческих моделей. Эффективное использование таких вычислений обеспечивает повышение производительности промышленного предприятия, безопасности и экологичности производственных систем, формируя основу для долгосрочного конкурентного преимущества на рынке.

Список использованных источников

1. Манцурова, Н.В. Цифровая трансформация бизнеса: вызовы и возможности / Н.В. Манцурова // Бизнес. Образование. Экономика : сб. ст. VI Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 3–4 апр. 2025 г. – Минск : Ин-т бизнеса БГУ, 2025. – С. 10–14.

2. Отраслевые финансы : учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-25 01 04 Финансы и кредит / Т.Н. Лобан, М.П. Самоховец, М.И. Бухтик, А.В. Киевич. – Пинск : Полесский государственный университет, 2018. – 67 с. – EDN: HJQCIV.

3. Кравцевич, Г.А. Современные CRM-системы в деятельности коммерческих предприятий: обзор рынка Беларуси и зарубежных стран / Г.А. Кравцевич, А.К. Крамаренко // Проблемы устойчивого развития регионов Республики Беларусь и сопредельных стран : сборник статей XII международной научно-практической конференции, Могилев, 26 мая 2023 г. / Министерство образования Республики Беларусь, Могилевский государственный университет имени А.А. Кулешова ; редкол.: Н.В. Маковская [и др.]. – Могилев : МГУ им. А.А. Кулешова, 2024. – С. 38–42.

4. Крамаренко, А.К. Инновации в деятельности микро- и малых организаций на рынке / А.К. Крамаренко // Проблемы современной экономики: глобальный, национальный и региональный контекст : сборник научных статей / Учреждение образования «Гродненский государственный университет им. Янки Купалы» ; редкол.: М.Е. Карпицкая (гл. ред.), С.Е. Витун (зам. гл. ред.) [и др.]. – Гродно : ГрГУ, 2023. – С. 82–91.

5. Потапова Н.В., Четырбок Н.П. Роль малого бизнеса в экономике Республики Беларусь / Н.В. Потапова, Н.П. Четырбок // Современные аспекты экономики. 2021. № 4 (284). С. 23-29.

6. Ливенский В.М., Лисовский М.И., Янковский И.А. Тенденции развития сетевых форм организации цифровой экономики в РБ / В.М. Ливенский, М.И. Лисовский, И.А. Янковский // Современные аспекты экономики. 2021. № 3 (283). С. 26-32.