

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ В ОБЛАЧНОМ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОМ АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВАХ

Е.В. Сундюкова, Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, sundukova234k@gmail.com.

УДК 004.7:004.9:67

Аннотация. Облачные технологии удаленного сбора данных в совокупности с промышленным интернетом вещей предоставляют возможность модификации моделей во всех производственных подразделениях, включая новейшие и быстро развивающиеся технологии аддитивного производства. В данной статье представлен анализ концепции облачных вычислений, облачного производства, интернета вещей, а также их взаимосвязи в эпоху четвертой промышленной революции.

Ключевые слова: интернет вещей; облачные технологии; облачное производство; аддитивное производство; интеллектуальное производство.

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT AND USE OF THE INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS IN CLOUD AND INTELLIGENT ADDITIVE MANUFACTURING

E.V. Syundyukova, Nizhny Novgorod State University N.I. Lobachevsky.

Annotation. Cloud technologies of remote data collection in combination with the industrial Internet of Things provide the possibility of model modification in all production units, including the latest and rapidly developing additive manufacturing technologies. This article presents an analysis of the concept of cloud computing, cloud manufacturing, the Internet of Things, as well as their relationship in the era of the Fourth Industrial Revolution.

Keywords: internet of things; cloud technologies; cloud manufacturing; additive manufacturing; intelligent manufacturing.

Введение

Информационные технологии (*Information technologies, IT*) меняют производство во всем мире, переходя к цифровым и сложным современным промышленным процессам, которые можно назвать «умным производством» или «Индустрией 4.0» [1]. Технология аддитивного производства (*Additive Manufacturing, AM*) оказывает большее влияние на четвертое поколение промышленной революции, чем другие производственные технологии. Интернет вещей является одним из ключевых компонентов Индустрии 4.0 [2]. Сегодня Индустрия 4.0, использующая ключевые технологии для значительного повышения эффективности распределения ресурсов на сетевом уровне, совместно использует динамические сервисы *AM* в облачной производственной среде (*Cloud Manufacturing, CM*) [3]. Система *AM* претерпевает серьезные изменения из-за неопределенности и новых требований, предъявляемых глобализацией и растущим использованием интернета вещей [4]. Согласно Международному комитету *ASTM F42* [7], *AM* – это набор процессов комбинирования материалов, который позволяет изготавливать детали по данным *3D*-модели, обычно послойно. Он включает в себя интеграцию различных типов наборов данных, начиная с файла проектирования, преобразование файла проектирования в файл, читаемый принтером, данные,

генерируемые принтером и бортовыми диагностическими датчиками, и, наконец, данные, генерируемые в ходе производственного анализа деталей [5]. Эта новая методология промышленной деятельности, обеспечивающая одноступенчатое производство компонентов сложной геометрии, имеющих форму сетки, с компьютерным управлением, обеспечивает быструю разработку продукта. *AM* зарекомендовало себя как смена парадигмы в сфере производства, которое традиционно в значительной степени опиралось на цепочки поставок, использование крепежных элементов или процессов соединения для сборки деталей в рамках компонента, а также традиционно доступные материалы, ограничивающие его возможности в дальнейшем повышении функциональности и эффективности компонентов. Кроме того, формирующаяся модель *CM* может облегчить доступ к различным ресурсам *AM* с минимальными инвестициями. Ожидается, что *CM* сосредоточится на поддержке процесса *AM* и потребностей клиентов на протяжении всего производственного процесса от проектирования до печати, а не на предоставлении простых услуг *3D*-печати [6].

Первое приложение *CM* связано с производственным процессом *AM*, включающим подключение и эксплуатацию текущих производственных ресурсов (например, машин *AM/3D*-принтеров и соответствующих устройств). В связи с этим *AM* может быть использовано внутри концепции *CM*. Следующее приложение имеет отношение к службам конечных пользователей, которые используют интернет-ресурсы *AM/3D*-печати вместо своего *3D*-принтера на месте [7]. Такое удаленное, а также интегрированное на месте передовое аддитивное производство для своей эффективности должно использовать подход к управлению производственной системой (*Manufacturing system management, MSM*) в *CM*, который включает принятие ресурсов, распределенные ресурсы, подключение, цифровую базу данных, поиск, сопоставление, всестороннюю оценку, выбор услуг, конфигурацию, планирование, транзакции, сервисную сеть, систему безопасности и прикладную систему [8]. *MSM* в перспективе свяжет интернет вещей (*Internet of things, IoT*), большие данные (*Big data, BD*) и облачные вычисления (*Cloud Computing, CC*) в *CM* [9].

CM позволяет подключать к *AM* сервисную платформу на базе интернета вещей. Платформа *CM* способна интегрировать программные приложения и цифровые сервисы в производственный процесс в веб-среде для предоставления доступа как поставщику услуг, так и пользователю через интернет. Облачная платформа может планировать выбранные задачи для всех подключенных и распределенных *3D*-принтеров. Эти задачи могут включать планирование групповых деталей при каждой печати (загрузка чертежа компонента) или размещение отдельной детали в процессе печати для каждого элемента. Этот список задач необходимо запланировать с использованием определенного алгоритма, чтобы клиенты могли гибко и быстро реагировать на любые изменения, когда они захотят добавить, отредактировать или удалить задачи для печати [10].

CM – это интеллектуальная платформа, основанная на знаниях [11], которая может повысить устойчивость и эффективность производства на протяжении всего процесса и производственного цикла четырьмя способами. Эти способы включают совместное проектирование, улучшенную автоматизацию, повышенную устойчивость процессов и сокращение отходов или повторных этапов. На рис. 1 представлено предлагаемое графическое изображение интегрированного *AM* с интеллектуальным облаком.

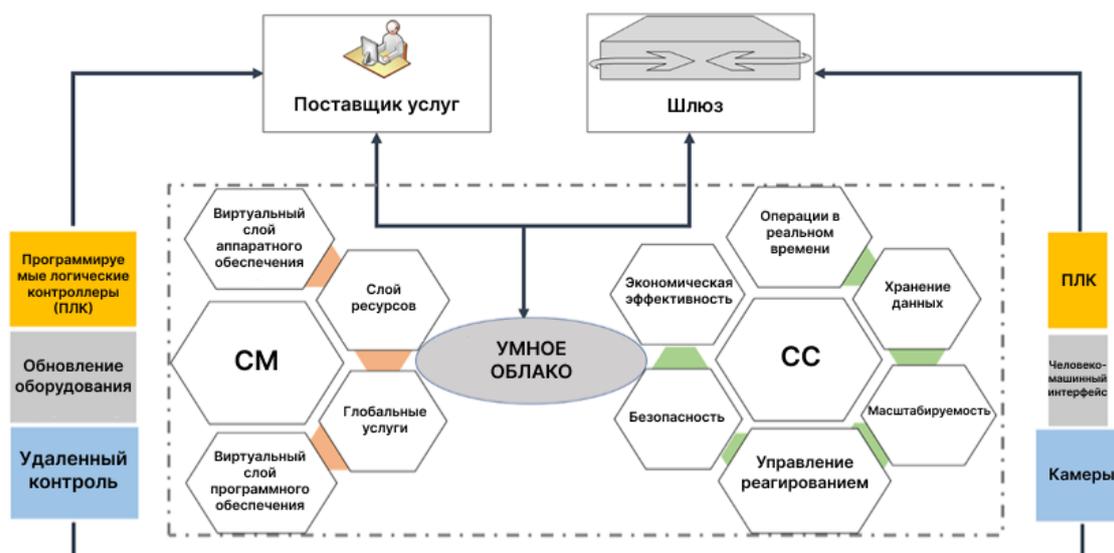


Рисунок 1

Облачная платформа

Облачная платформа – это сервис или решение для изменения производства, распространения, потребления и ценообразования программного обеспечения. Она нужна для разработки функций и приложений по требованию, чтобы изменить преобладающие ИТ-модели в отрасли [12].

Облачные вычисления

Для *СС* были разработаны масштабируемые и эффективные системы управления базами данных, согласованные с новыми архитектурами обработки данных. Облачные данные, состоящие из языка запросов, среды выполнения, хранилища и инфраструктуры, будут контролироваться в рамках многоуровневой архитектуры.

СС – это сочетание компьютерных технологий и модели решений, основанных на информационных технологиях. *СС* может преобразовать приложения и системы из базы, ориентированной на продукт, в глобальную, распределенную и сервисно-ориентированную базу. *СС* обладает такими возможностями, как управляемый интерфейс, независимость от местоположения и источников, отслеживаемость, универсальный и виртуальный доступ. *СС* – это комбинация общего пула по требованию и настраиваемых вычислительных ресурсов. *СС* трансформирует процессы, сети и масштабы бизнеса и развивает его динамические возможности [13].

Как правило, рассматриваются два варианта внедрения *СС* в производство: Индустрия 4.0 (умное производство) и *СМ*. Первый частично использует облачные сервисы, в то время как второй – полностью поддерживается с их помощью.

Облачное производство

СМ – это сервисно-ориентированная и распределенная сеть с включенным моделированием производства, которая быстро развивается. Она поддерживает переход от производственного процесса к процессу, основанному на обслуживании системы *СМ*, что особенно подходит для технологии *АМ*. Эта концепция и модель описывают функциональные производственные подсистемы. *СМ* – это интегрированная структура *СС* и *IoT*, которая обеспечивает виртуализированные ресурсы, ориентированные на обслуживание. Наиболее важные вопросы, которые могут быть рассмотрены в *СМ*, включают планирование, системы управления,

гибкость, комбинацию ресурсов, бизнес-модели, совместимость данных, безопасность, поставщиков данных, координацию между машинами, автоматизацию и эффективное взаимодействие.

СМ использует и расширяет концепцию СС для преобразования процессов в компонентные и интегрированные производственные мощности с глобальными оптимизированными ресурсами. Для поддержки двух типов облачных пользователей – клиентских и корпоративных – были разработаны методы обслуживания с использованием согласованных моделей данных для описания облачного сервиса. Облачные технологии, помимо совместного использования ресурсов и экономической эффективности, приносят обрабатывающей промышленности ряд преимуществ, таких как оперативность и масштабируемость производства [14].

Умное СМ – это следующий эволюционный этап СМ, основанный на повсеместном внедрении, включающем интернет, IoT, мобильную, телекоммуникационную и цифровые сети, информационные технологии. Операционные процессы от проектирования до производства интегрированы в виде сервисов СМ [14]. Одной из типичных характеристик СМ является использование по требованию, что окупает производственные возможности. Поэтому так важно учитывать затраты, связанные с облачным сервисом СМ. Различные аспекты этой стоимости в СМ включают стоимость всего цикла функционирования облачного сервиса.

Производственные возможности в СМ состоят из различных аппаратных и программных ресурсов, человеческих знаний и возможностей. Стоимость всего цикла СМ включает в себя эксплуатационные расходы, анализ рынка, налоги, стоимость консультаций, бизнес-аутсорсинга, логистической транспортировки, обработки и проверки продукции и услуг [15]. Важные преимущества СМ связаны с производственными возможностями, которые включают моделирование обслуживания, управление и оценку баланса спроса и предложения. Эти возможности могут быть использованы в области управления данными и интеграции возобновляемых источников энергии. Изменение сочетания этих возможностей может привести к развитию облачных структур для получения практических и устойчивых преимуществ.



Рисунок 2

СМ предлагает различные решения, которые могут преодолеть барьеры, препятствующие устойчивому производству. На рис. 2 описаны компоненты облачной платформы и решения для аддитивного производства. Данные собираются, хранятся и передаются по всей цепочке поставок. Накопление, интеграция, а затем потоки данных в облаке являются сложной задачей, поскольку общий доступ к ним должен показывать, какими данными делятся пользователи сети, в каком объеме и с кем.

Облачная технология управления объединяет взаимодействие машин (*Machine to machine, M2M*), *IoT*, *BD* и *CC* для ускорения коммуникации и оптимизации потока данных как показано на рис. 3. Анализ больших данных помогает осуществлять мониторинг и проверку компонентов процесса производства на каждом этапе. *M2M* способствует коммуникации и обмену информацией между машинами. Ограниченный обмен данными может происходить между пользователями облака и заказчиками на начальных этапах.



Рисунок 3

Интернет вещей

Интернет вещей потенциально помогает решать производственные задачи. *IoT* и *СМ* взаимосвязаны. *СМ* может динамически увеличивать или уменьшать ресурсы в соответствии с потребностями пользователей облака, управлять и планировать их использование для обеспечения эффективности производства [16]. *СМ* позволяет обрабатывать данные, относящиеся к конструкции, свойствам исходного сырья, а также генерируемые в процессе производства, включая данные журнала регистрации и диагностических датчиков. Технологическая производственная платформа объединяет множество функций, требует поддержки *СМ* на различных этапах – от проектирования до фактического изготовления детали. Приложения интернета вещей включают оптимизацию и мониторинг производительности оборудования, контроль качества продукции и интерфейс «человек-машина». Интернет вещей занимает определенное положение в отрасли, изменяя способы производства, планирования, распределения, обслуживания и доработки товаров. Интернет вещей поддерживает специальные промышленные сервисы, такие как сбор, хранение и анализ данных устройств для облегчения производственных процессов. Огромный потенциал приложения интернета вещей требует постоянных капиталовложений и усовершенствованных инноваций как в сервисах, так и в приложениях [17].

С точки зрения продвинутого производства, сервисы, основанные на *IoT*, позволили осуществлять мониторинг процесса, необходимый для обеспечения производства детали без дефектов [17]. Аддитивное производство включает в себя множество этапов, выполняемых автоматизированной системой, и ошибка в исполнении может привести к потере времени и ресурсов. Системы, основанные на *IoT*, могут отслеживать процесс и предупреждать пользователя заранее. В качестве расширения система, основанная на *IoT*, также может быть использована для защиты процесса производства от кибератак [18].

Промышленный интернет вещей

Появление машин с полноценным программным обеспечением и других элементов для взаимодействия с физическим миром привело к тому, что обрабатывающая промышленность внедрила технологию промышленного интернета вещей (*Industrial internet of things, IIoT*). *IIoT* обеспечивает более высокий уровень автоматизации, что снижает когнитивные нагрузки, возлагаемые на оператора за счет удаленного мониторинга. Кроме того, *IIoT* играет «умную» роль за кулисами в управлении производственной системой. Стандартная архитектура систем *IIoT* в общем виде приобретает каркас и структуру путем объединения существующих функций и добавления «умных» технических возможностей для обеспечения самоконтролируемой системы обратной связи. Появление *IIoT* выгодно для обрабатывающей промышленности в следующих аспектах:

- Разработка машин со средствами удаленного управления и мониторинга.
- Подход к человеко-машинной коммуникации как к киберфизической системе (*Cyber physical system, CPS*).
- Внедрение технологических инфраструктур *IIoT*, таких как *5G*, *M2M*, умного производства.
- Всестороннее изменение процесса производства.
- Вспомогательные логистические услуги, такие как планирование, распределение, сервисное обслуживание и комплектация продукции.

IIoT и облачные приложения не только могут улучшить производственные операции на всех уровнях, но и позволят оптимизировать интеллектуальное производство. Интеграция операций *IIoT* в облако – сложный и требующий решения процесс, поскольку производители должны уделять внимание подготовке стандартизированного планирования для решения этих задач. *IIoT* помогает сократить время простоя, повысить оперативность и производительность, экономичность и рентабельность затрат.

Взаимосвязь между *СС*, *IoT*, *СМ* и *IIoT*

СМ – это концепция и модель, основанные на *СС*, *IoT* и других передовых технологиях в среде информационного производства. *СМ* сможет продвигать производственную индустрию на объединенной сетевой, интеллектуальной, сервисно-ориентированной платформе и, таким образом, поднимет объем собираемой производственной информации до желаемого уровня [19]. *IoT* и *СС* были изучены и применены во многих областях, поскольку они могут интерпретировать *M2M*-связь (включая взаимодействие человека с человеком, человека с машиной и машины с машинами), а также использование по требованию и совместную эксплуатацию ресурсов.

СМ объединяет *IoT* и *СС* для улучшения оперативности принятия решений, безопасности, эффективности, снижения затрат и ориентировано на обслуживание

AM, что приводит к созданию продвинутого AM. На рис. 4 показан цикл AM от этапа проектирования до изготовления конечных продуктов, которые могут быть реализованы в среде CM через взаимосвязи между CC и IoT. Фактически CM использует эту взаимосвязь для интеграции производственных ресурсов в процесс AM. Взаимосвязь между CM, IoT и CC проявляется во взаимном и разделяемом влиянии между IoT для анализа производственных ресурсов и возможностей на основе CC и сети пользователей на протяжении всего жизненного цикла продукта [19].

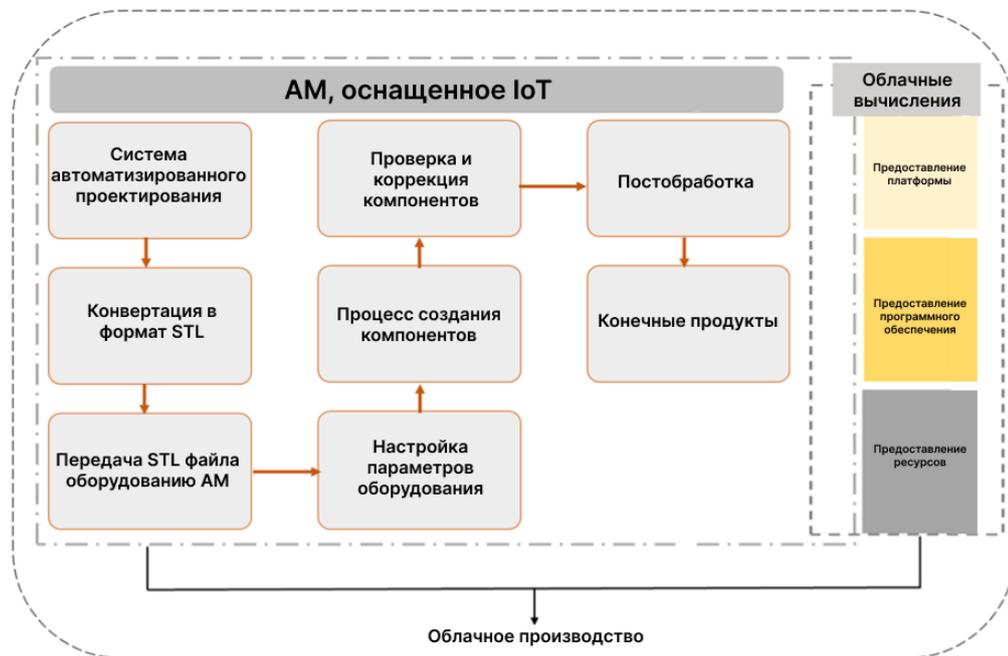


Рисунок 4

CM сервис предоставляет вспомогательные системы, необходимые для управления операциями на облачной производственной платформе. Услуги CM включают в себя:

- Поддержку мультиагентной работы и безопасности данных.
- Оптимизацию производственного процесса.
- Дистанционный подход к управлению и мониторингу производства в режиме реального времени.
- Урегулирование внештатных ситуаций.
- Объединение данных и их преобразование.
- Контроль доступа для нескольких пользователей.
- Настройку функций платформы.

Заключение

Технологии AM объединяют несколько стадий производства с последовательным набором этапов для получения готового продукта, близкого к чистовому. Таким образом, AM по своей сути подходит для интеграции с облачной системой. Встроенные CM технологии управления AM на основе облачных технологий позволяют использовать такие функции, как мониторинг датчиков, удаленный сбор данных и интеллектуальное взаимодействие между машинами, обеспечивая, таким образом, огромный потенциал для изменения стандартной схемы во всех секторах производства. Появляющаяся сегодня адаптация промышленных платформ на базе интернета вещей в передовую производственную

систему может помочь использовать существующие устаревшие инфраструктуры для потенциального превращения их в инфраструктуры с добавленной стоимостью в эпоху больших данных.

Литература

1. Петров В.А. Программно-целевая организация производства и оперативного управления в условиях групповой технологии и гибких автоматизированных производств. – М.: Лениздат, 1984. – 176 с.
2. Rudolph J.P., Emmelmann C. A cloud-based platform for automated order processing in additive manufacturing. *Procedia Cirp*, 2017. – № 66. – P. 412-417.
3. Simeone A., Caggiano A., Zeng Y. Smart cloud manufacturing platform for resource efficiency improvement of additive manufacturing services. *Procedia CIRP*, 2020. – № 88. – P. 387-392.
4. Haseltalab V., Yaman U. A Cloud manufacturing application for additive manufacturing methods. In *2019 IEEE Int Conf Mech (ICM)*, 2019. – № 1. – P. 287-292.
5. Lehnhus D., Wuest T., Wellsandt S., Bosse S., Kaihara T., Thoben K.D., Busse M. Cloud-based automated design and additive manufacturing: a usage data-enabled paradigm shift. *Sensors*, 2015. – № 15 (12). – P. 32079-32122.
6. Tao F., Zhang L., Liu Y., Cheng Y., Wang L., Xu X. Manufacturing service management in cloud manufacturing: overview and future research directions. *J. Manuf Sci Eng*, 2015. – № 137 (4).
7. ASTM Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies. Standard terminology for additive manufacturing general principles and terminology. *ISO/ASTM52900-15*, 2015.
8. Wang Y., Zheng P., Xu X., Yang H., Zou J. Production planning for cloud-based additive manufacturing. A computer vision- based approach. *Robot Comput Integr Manuf*, 2019. – № 58. – P. 145-157.
9. Fisher O., Watson N., Porcu L., Bacon D., Rigley M., Gomes R.L. Cloud manufacturing as a sustainable process manufacturing route. *J. Manuf Syst*, 2018. – № 47. – P. 53-68.
10. Schmidt B., Wang L. Cloud-enhanced predictive maintenance. *Int J. Adv Manuf Tech*, 2018. – № 99 (1). – P. 5-13.
11. Giessmann A., Legner C. Designing business models for cloud platforms. *Inf Syst J*, 2016. – № 26 (5). – P. 551-579.
12. Battleson D.A., West B.C., Kim J., Ramesh B., Robinson P.S. Achieving dynamic capabilities with cloud computing: An empirical investigation. *Eur J Inf Syst*, 2016. – № 25 (3). – P. 209-230.
13. Fiert E., Bohmann T., Korhau A., Conger S., Gable G. Service management and engineering in information systems research. *J. Strateg Inf Syst*, 2013. – № 22 (1). – P. 46-50.
14. Trembley D.K., Haghnegahdar L., Wang Y. A survey of advanced manufacturing with legacy machinery: The Internet of Other Things. In *Proceedings of the 2018 IISE Annual Conference 1-6*, 2018.
15. Loeser F., Recker J., Brocke J.V., Molla A., Zarnekow R. How IT executives create organizational benefits by translating environmental strategies into Green IS initiatives. *Inf Syst J*, 2017. – № 27 (4). – P. 503-553.
16. Morelli D.A., de Arruda Ignacio P.S. Assessment of research and case studies on Cloud Manufacturing: A bibliometric analysis, 2021.
17. Verboeket V., Krikke H. The disruptive impact of additive manufacturing on supply chains: A literature study, conceptual framework, and research agenda? 2019. – № 111. – P. 91-107.

18. Guo L. A system design method for cloud manufacturing application system // Int J Adv Manuf Tech, 2016. – № 84 (1-4). – P. 275-289.
19. Skarlat O., Borkowski M., Schulte S. Towards a methodology and instrumentation toolset for cloud manufacturing. In 2016 1st International Workshop on Cyber-Physical Production Systems (CPPS) 1-4. IEEE, 2016.