

## АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛА ИННОВАЦИЙ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

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

**УДК 004.7:004.9:67**

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются основные тенденции и преимущества, которые могут быть получены от использования облачных решений в отрасли аддитивного производства. Проводится анализ существующих инновационных технологий, основанных на облачных вычислениях, таких как облачное моделирование, хранение данных и совместная работа, а также анализируется их потенциал в контексте аддитивного производства. Особое внимание уделяется возможностям оптимизации процессов, улучшению качества и эффективности производства, а также снижению затрат.

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

### ANALYSIS OF THE POTENTIAL OF INNOVATIONS OF CLOUD TECHNOLOGIES IN ADDITIVE MANUFACTURING

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

**Annotation.** This article considers the main trends and advantages that can be obtained from the use of cloud solutions in the additive manufacturing industry. The analysis of existing innovative technologies based on cloud computing, such as cloud modeling, data storage and collaboration, and also analyzes their potential in the context of additive manufacturing. Particular attention is paid to the possibilities of optimizing processes, improving the quality and efficiency of production, as well as reducing costs.

**Keywords:** Internet of things; cloud technologies; cloud production; additive manufacturing; intelligent manufacturing.

#### **Введение**

Аддитивное производство создает ряд уникальных проблем и возможностей для внедрения облачных систем. С одной стороны, облачные системы по своей сути подходят для высоко интегрированных и автоматизированных процессов, таких как аддитивное производство. И наоборот, внедрение облачных сервисов остается прерогативой компании и зависит от конкретного процесса, что делает производственную сферу в целом уязвимой для взломов и кибератак. В свете этого в данной статье объясняются преимущества облачных технологий и уникальные проблемы, с которыми сталкиваются облачные системы, специфичные для процесса аддитивного производства.

#### **Проблемы**

Облачное производство (*Cloud Manufacturing, CM*) в основном предоставляет сервисную поддержку для управления транзакциями и задачами на малых и средних предприятиях. Оно включает в себя виртуальную производственную систему с усовершенствованным механизмом интеллектуального подбора для обеспечения баланса между спросом и предложением. На следующем этапе *CM* управляет сервисными ресурсами, позволяя пользователям отправлять свои запросы на производственные услуги с

помощью ряда сложных процессов, таких как согласование проектов и автоматическое управление транзакциями для достижения поставленных целей [1].

Технология *СМ* создана на основе потребностей обрабатывающей промышленности для большей сплоченности и взаимосвязанности. В передовых концепциях *СМ* есть некоторые предсказуемые проблемы, и будущее развитие ключевых технологий столкнется с этими проблемами. *СМ* – это модель, которая сочетает в себе использование новейших компьютерных технологий с передовыми системами производства. Промышленные модели становятся все ближе к сетевым технологиям, которые часто сталкиваются с кибератаками и вытекающими из них требованиями к безопасности. Цифровой мир открывает двери для широких возможностей кибератак, охватывающих общественные, финансовые и промышленные сферы. Многие инженеры не осведомлены о текущих и будущих угрозах кибератак и впоследствии не в состоянии эффективно диагностировать причину, когда подвергаются атаке [2]. Понимание существующих слабых мест в производстве и их преодоление должно стать первым шагом на пути к предотвращению, обнаружению и смягчению последствий кибератак. В частности, большинство уязвимостей в производстве связаны с проектированием систем, контролем изготовления, качества и слабостью исследований в области кибербезопасности производства. Отсутствие таких знаний привело к серьезным проблемам с широким внедрением *СМ*.

Производители должны конкурировать на мировом рынке, поэтому им необходимо проектировать, планировать и эксплуатировать свои предприятия в различных условиях. Сложность обслуживания их систем растет, в то время как для поддержания прибыли по-прежнему желательно производство с низкими затратами. Эти сложности и вызовы, такие как глобализация, все более непростые информационные технологии и энергопотребление, подтолкнули компании к переходу на приложения облачных сервисов [3].

### **Потенциалы**

Облачные технологии предполагают низкую стоимость, гибкую и многоуровневую архитектуру и высокую скорость отклика. Эти преимущества повышают безопасность, интероперабельность и производительность крупномасштабных сетевых приложений, таких как аддитивное производство (*Additive manufacturing, AM*). Гибкие ресурсы и совместно используемые сервисы в сети, параллельная обработка и расширенный доступ являются желательными функциями облачных технологий в продвинутых приложениях *AM*. Одним из важнейших факторов для внедрения *СМ* является то, как реализовать интеллектуальный подход к распределению производственных ресурсов [4].

Интернет вещей приносит пользу промышленным производственным системам, благодаря оптимизированным решениям, прогнозному анализу технического обслуживания и мониторингу качества. Интернет вещей предлагает пользователям и заказчикам более безопасное подключение и среду для управления промышленными данными и защищенными устройствами. На рис. 1 показана структура интернета вещей и промышленных услуг с их взаимосвязями.

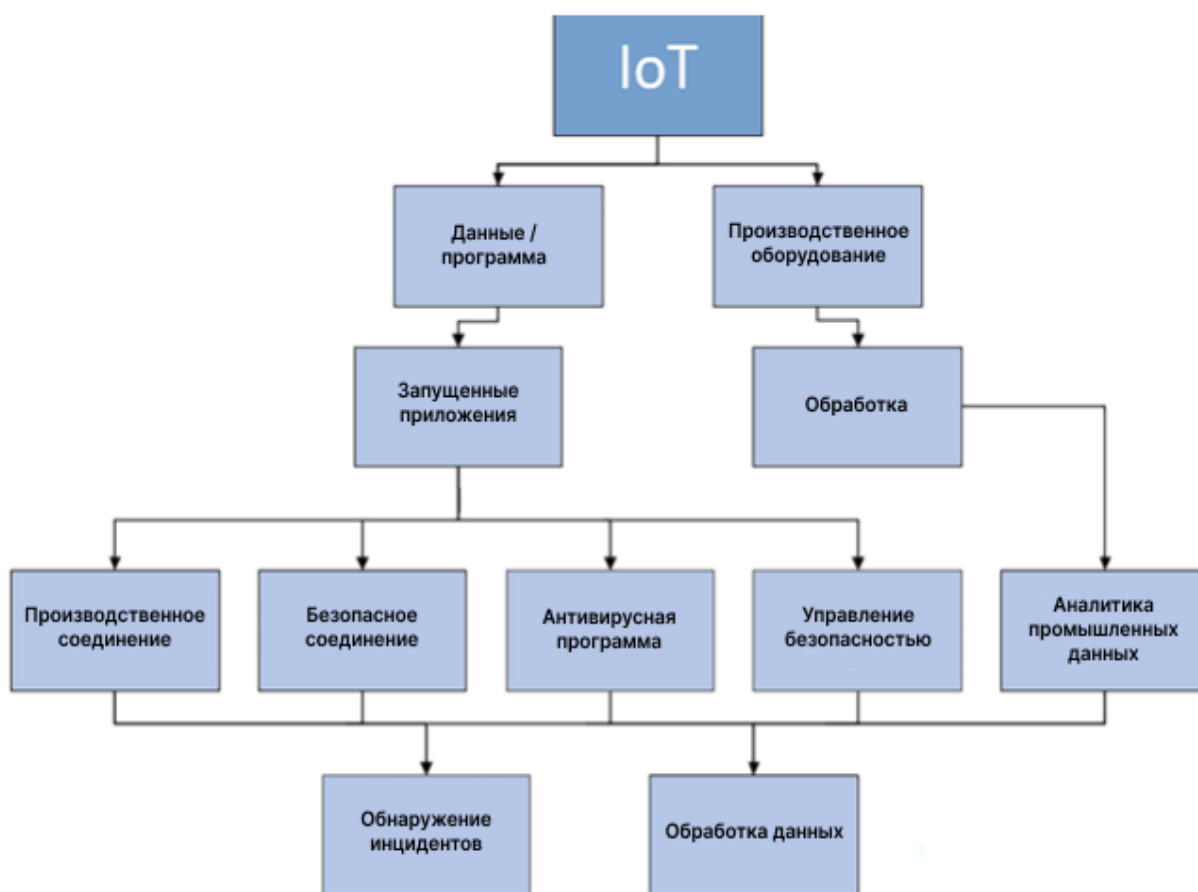


Рисунок 1

### *Облачные инновации в аддитивном производстве*

Производители ищут более гибкую методологию системных инноваций для поддержки процессов через облако. Облачные технологии с адаптируемыми решениями сочетаются с большинством преимуществ цифрового производства для удовлетворения потребительского спроса. Рассматривая новые и существующие решения, производителям необходимо сосредоточиться на оптимизации ресурсов и внедрении облачных возможностей.

Облако позволяет производственным функциям унифицировано использовать интеллектуальные технологии, такие как:

- Интернет вещей.
- Блокчейн.
- Цифровые двойники.
- Смешанная реальность.
- Машинное обучение.
- Корпоративное планирование ресурсов нового поколения.

*AM* отличается короткими сроками выполнения заказов, и, благодаря этому, *AM* обладает большой степенью гибкости. *AM* предлагает множество преимуществ, таких как объединение нескольких деталей за счет гибкости конструкции, внедрение элементов дизайна, таких как решетчатые строения, для снижения веса и повышения функциональности, что невозможно при применении традиционных методов; использование деталей с различными компонентами, конструктивными и функциональными характеристиками; и производство на месте или на удаленных

объектах, что сводит к минимуму цепочку поставок и расходы, связанные с транспортировкой. Более того, аддитивное производство привнесло принципиально новый подход, когда вместо продажи деталей предоставляются файлы печати деталей, и клиент может распечатать эти файлы на данном аддитивном оборудовании. *AM* с его преимуществами идентифицируется как идеальная технология для интеграции с *CM*. *AM/3D*-печать с *CM* позволяет сделать производственный процесс более гибким и экологичным.

На рис. 2 показана архитектура *CM*. Киберфизическая категория включает в себя безопасность и гибридное производство. Подразделение информационных технологий охватывает *IoT* и облачные вычисления (*Cloud computing, CC*). *AM/3D*-печать связана со сложностью проектирования компонентов, точностью и надежностью. Деятельность, ориентированная на предоставление производственных услуг, связана с проектированием, тестированием и изготовлением. Службы совместного использования ресурсов включают планирование и проектирование. Моделирование включает в себя имитацию и оптимизацию. Категория гибкого производства включает в себя требования заказчика, быстрые и гибкие операции.



Рисунок 2

Облачное производство в сочетании с другими передовыми технологиями, такими как беспроводное оборудование нового поколения, усовершенствованные датчики, системы автоматизированного проектирования и производственное программное обеспечение представляют собой революцию в интеллектуальном производстве [5-7]. *CM* оказывает огромное влияние на современное производство, благодаря упрощенной интеграции обширных цепочек поставок или оптимизации данных с производственного оборудования на базе интернета вещей. Облачные системы *AM* могут подстраиваться под ситуацию, чтобы управлять постоянно меняющимися рабочими нагрузками проекта и предлагать новые решения для удовлетворения производственных требований.

### *Автоматизация с поддержкой облачных вычислений*

Одной из основных задач интегрированного *СМ* является автоматизация процессов. Производственная деятельность станет еще более автоматизированной, благодаря передовым датчикам, которые позволят *СМ* разрабатывать интеллектуальные модели производства и проектирования в промышленности. *СМ* может проводить анализ производства в режиме реального времени и получать рыночные данные для разумного проектирования и оптимизации производственного процесса. Это приводит к снижению затрат и минимизации энергопотребления; более того, это приводит к сокращению отходов материалов и простоев. Производственные роботы с ограниченными ресурсами могут выполнять значительную часть вычислений в облаке для повышения эффективности расчетов [8]. С помощью облака производство может управлять гибкими и адаптируемыми сигналами спроса в рамках глобальной облачной инфраструктуры [9].

*СМ* – это полномасштабная модель совместного производства, которая представляет собой компьютеризированную версию существующей передовой производственной модели. Она помогает облегчить обмен данными между различными производственными действиями, такими как проектирование продукта и планирование технологического процесса. Полное совместное использование, передача данных, эффективная эксплуатация операций, своевременная поддержка точных инженерных решений и использование многочисленных производственных ресурсов рассматриваются в качестве основных целей *СМ* [10].

### *Расширенное интеграционное приложение для повышения устойчивости производственного процесса*

Системы производственного процесса уязвимы к возникновению неисправностей из-за различий в составе технологического процесса и производственных условиях. *СМ*, использующее передовые методы анализа данных в режиме реального времени, дает комплексное понимание производственного процесса производителям и предоставляет технологии для распределенных пользователей [11]. Усовершенствованные датчики *IIoT* помогают *СМ* предоставлять большой объем и детализацию данных. *СМ* может работать на облачной платформе с несколькими арендаторами, которая в качестве центра ресурсов знаний может использовать возможности краудсорсинга, пропускную способность, квалификацию и информацию для повышения качества системы и поддержки инновационного устойчивого производства [12-14]. Архитектура облачной операционной платформы *АМ* с тремя производственными уровнями показана на рис. 3. Уровень обслуживания начинает надежно извлекать такую информацию, как эксплуатационные характеристики и параметры станка, диспетчерское управление и сбор данных (*Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA*) и датчиков. Эти данные могут быть переданы через облако для обработки в *СМ*. Затем агрегированные данные могут быть переданы на уровень производственного контроля для использования оборудования, мониторинга, составления расписания, корректировки времени, работы на холостом ходу и реагирования на потенциальный сбой. Наконец, проанализированные данные после обработки будут переданы пользователю и лицу, запрашивающему услугу.



Рисунок 3

*AM* привлекает многие отрасли промышленности, такие как аэрокосмическая, автомобильная, медицинская и энергетическая; из-за этого точность и скорость являются критически важными аспектами. Инновации, такие как ультрасовременная технология *СМ*, обеспечивают прогресс и преимущества по сравнению с существующими производственными процессами, в частности с технологией *AM*. Эти достижения и преимущества могут помочь добиться максимальной экономии материалов, повышения скорости, точности и настройки изделия без необходимости использования станков для целей изготовления. Ключевые характеристики облака включают совместное использование сервисов, планирование ресурсов, облачную безопасность, высокую скорость и гибкость для обеспечения безопасности процессов *AM* и предотвращения сбоев.

Учитывая отсутствие комплексного решения, включающего обмен данными, безопасность, интеграцию технологий в *AM*, модель потока материалов и интеграцию существующих систем в систему *СМ*, предлагается интеллектуальная облачная модель, управляемая данными и сетью. Предлагаемая модель может поддерживать сбор данных с датчиков, оптимизацию вычислений и связи, а также надежность производственной сети в *AM* для безопасной и эффективной обработки большого объема данных. Облачное решение для умного *AM* помогает оценить научные аспекты существующих методологий, которые считаются критически важными для расширенной интеграции производственного процесса и улучшения *AM*.

### *Распределенное облачное производство на основе теории игр в аддитивном производстве*

Недавно применение теории игр в облачном производстве привлекло внимание многих исследователей к этой теме. Теория игр является эффективным решением для устранения конфликтов и сложностей в реальных задачах, таких как управление расписанием в производственных системах [15]. Задачи *AM* имеют динамический характер, следовательно, они должны быть соответствующим образом согласованы с сервисами.

Ключевой вопрос, который решается, заключается в том, чтобы соответствующим образом сопоставить службу *AM/3D*-печати с файлом *3D*-модели [16] и предоставить услугу получателю. *3D*-сервисы могут быть подобраны с помощью игровой модели. Здесь основными аспектами являются настройка задач и услуги *3D*-печати. Основные *3D*-задачи включают размер модели, ее форму, точность изготовления, материалы, местоположение, время завершения и стоимость. *3D*-услуги включают в себя точность, скорость, возможность определения размеров, доступность материалов, время простоя и надежность.

Теория игр, используя динамическую игровую структуру, может обеспечить динамическое планирование задач в *AM*. Эта модель использует игровые стратегии для эффективного выбора задач и подбора услуг. Теория игр – это взаимодействие лиц, принимающих решения, в то время как системы управления предполагают разработку интеллектуальных инструментов принятия решений [17-18].

*AM* с его отличительными возможностями предоставляет новый уникальный способ ускорения продвижения продукта. Парадигма *CM*, управляемая данными, позволяет *AM* эффективно получать доступ к различным распределенным ресурсам *AM*. Интеграция интеллектуального облака с *AM* позволяет предлагать высококачественные решения для *3D*-печати в среде, в которой скорость вычислений значительно выше. Таким образом, *CM* могло бы в режиме реального времени отслеживать наборы данных, генерируемые на различных этапах процесса аддитивного производства. Начальный процесс, включающий в себя пилотные печатные сборки геометрических форм, будет включать в себя общие факторы с конечной частью, такие как та же архитектура печатного устройства, аналогичный материал, параметры процесса, включая энергозатраты, толщину слоя, характеристики исходного сырья, тип печати и условия обработки, тот же набор встроенных датчиков контроля во время изготовления, который собирал бы данные и передавал их в систему управления, и идентичные протоколы постпроизводства, включающие как неразрушающие, так и разрушающие методы. На рис. 4 описана промышленная обработка данных интернета вещей с помощью облачного датчика, поддерживающего управление на месте, в *AM*. Этот датчик учитывает динамическое сопоставление и управляемую данными связь в *AM*, основанную на игре. Такая теория – это подход к принятию решений, который использует одну сторону игры для изменения стратегии (машины для *3D*-печати) в соответствии с решением игрока. Основанный на играх метод может быть реализован в *CM* и поможет создать надежную, точную и экономичную по времени производственную систему.

Эффективность *CM* зависит от качества данных и изменений в игре (*3D*-печатная продукция), используемых для принятия решений. Основанная на облачной инфраструктуре и распределенной природе *AM*, динамичная игровая связь, управляемая данными, может поддерживать надежность обработки *AM*. Исходя из *3D*-спецификаций, подбор задач и услуг имеет решающее значение и включает в себя такие основные услуги, как размер, скорость перемещения сопла, точность обработки и материалы.

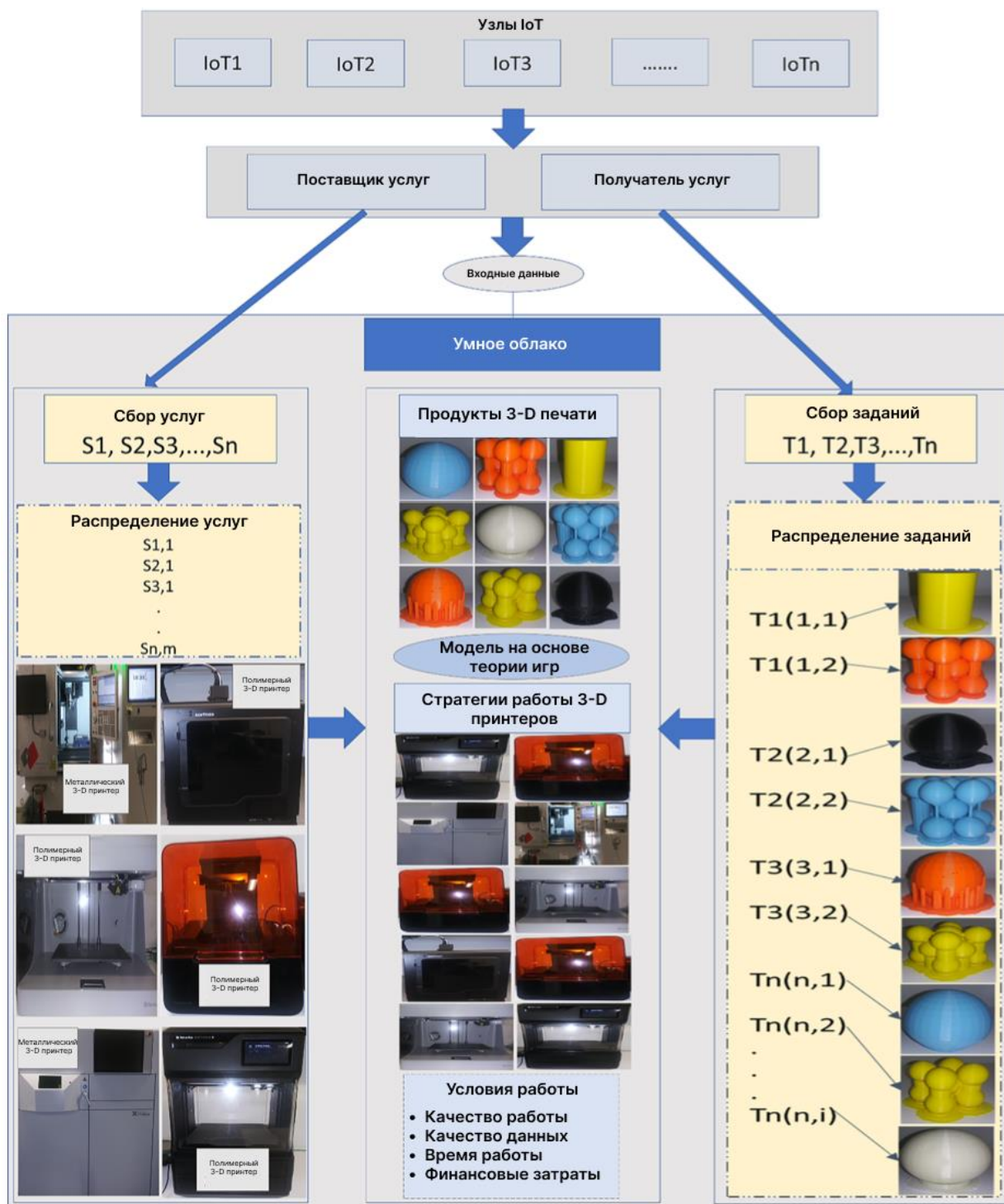


Рисунок 4

Собранные на месте данные датчиков передаются в облачный центр наблюдения и сбора, затем передаются для управления системой, и после этого перемещаются в интеллектуальное облако для мониторинга. Подход, основанный на данных теории игр, позволяет поддерживать коллективный контроль для улучшения качества данных в системах *АМ*. Предлагаемое решение требуется для управления распределенными сенсорными сетями для решения проблемы качества данных *АМ*, как показано на рис. 5.



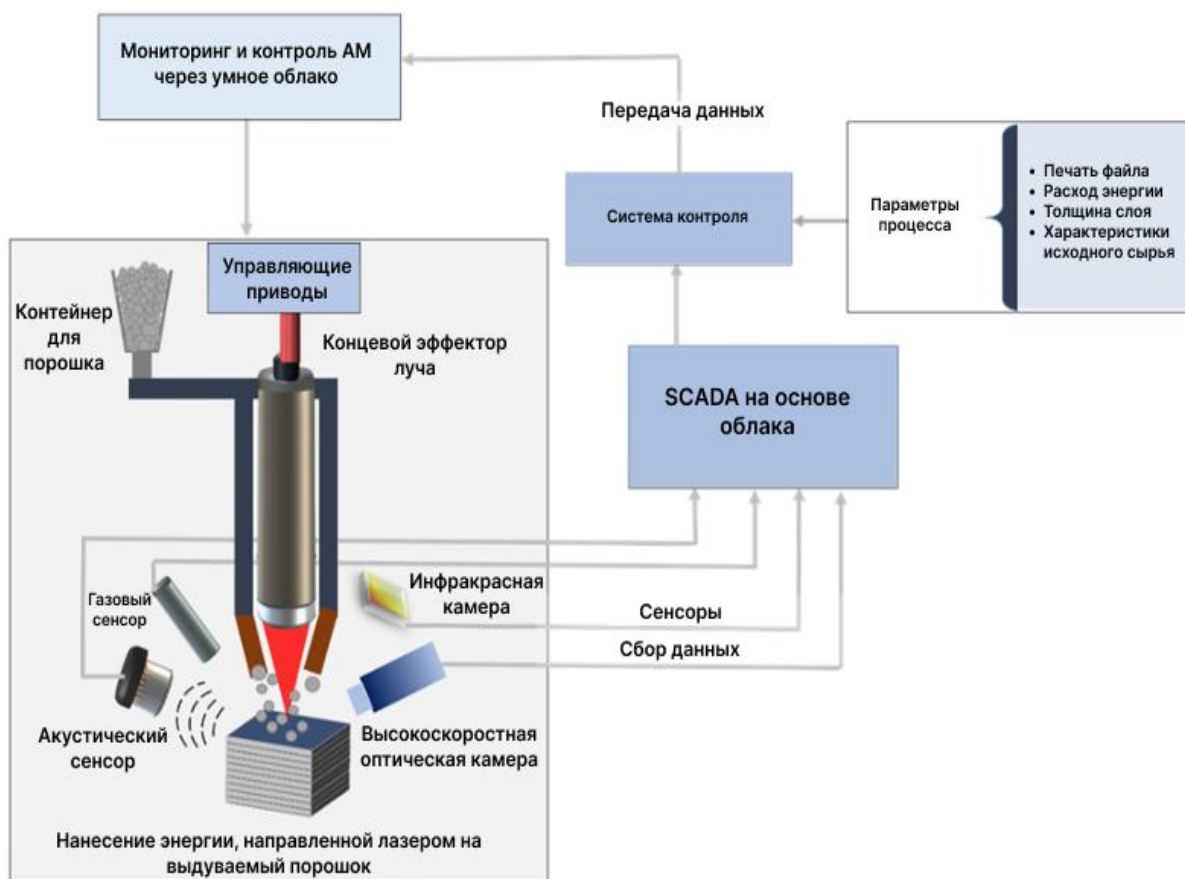


Рисунок 5

### Заклучение

В заключение можно сказать, что доступность и возможность использования облачных технологий способствуют улучшению процессов и интеграции в производстве, предоставляет новые возможности для роста и инноваций в аддитивном производстве. В данной статье были рассмотрены основные преимущества использования *СМ* в *АМ*, а также тренды и перспективы развития этих технологий. Одним из основных преимуществ использования облачных технологий в аддитивном производстве является возможность совместной работы и обмена данными между различными участниками процесса, что способствует улучшению коммуникации и совместной разработке проектов. Кроме того, облачные решения позволяют более эффективно управлять данными и ресурсами, что приводит к снижению затрат и повышению производительности. Помимо этого, была описана модель облачного аддитивного производства на основе теории игр. В целом, результаты исследования подтверждают, что облачные технологии могут стать ключевым фактором в развитии аддитивного производства. Они способны улучшить эффективность, гибкость и конкурентоспособность предприятий в данной отрасли. Однако, для успешной реализации потенциала облачных технологий необходимо учитывать факторы безопасности данных, интеграции существующих систем и обучение персонала.

## 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. Sturm L.D., Williams C.B., Camelio J.A., White J., Parker R. Cyber-Physical vulnerabilities in additive manufacturing systems: A case study attack on the STL file with human subjects *J Manuf Syst*, 2014. – № 44. – P. 154-164.
3. Wells L.J., Camelio J.A., Williams C.B., White J. Cyber-physical security challenges in manufacturing systems *Manuf Lett*, 2014. – № 2 (2). – P. 74-77.
4. Ren L., Zhang L., Wang L., Tao F., Chai X. Cloud manufacturing: key characteristics and applications. *Int J Comput Integr Manuf*, 2017. – № 30 (6). – С. 501-515.
5. Tao F., Hu Y.F., Zhang L. Theory and practice: optimal resource service allocation in manufacturing grid. China Machine Press, Beijing, 2010.
6. Haghnegahdar L. Enabling smart grid with the decentralized power cloud in the software-defined network (SDN) environment. IIE Annual Conference. Proceedings, 192-197. *Int Ind Syst Eng (IISE)*, 2020.
7. Baumann F., Kopp O., Roller D. Abstract API for 3D printing hardware and software resources. *Int J Adv Manuf Tech* 92, 2017.
8. Markovic D.S., Zivkovic D., Branovic I., Popovic R., Cvetkovic D. Smart power grid and cloud computing. *Renew Sustain Energy Rev* 24, 2017. – P. 566-577.
9. Bera S., Misra S., Rodrigues J.J. Cloud computing applications for smart grid: a survey. *IEEE Trans Parallel Distrib Syst*? 2014. – № 26 (5). – P. 1477-1494.
10. Carlucci D., Renna P., Materi S., Schiuma G. Intelligent decision-making model based on minority game for resource allocation in cloud manufacturing. *Manag Decis*, 2020.
11. Bai T., Liu S., Zhang L. A manufacturing task scheduling method based on public goods game on cloud manufacturing model. In 2018 4th Int Conf Univ Vlg 23 (UV). – pp. 1-6.
12. Schmidt B., Wang L. Cloud-enhanced predictive maintenance. *Int J Adv Manuf Tech*, 2018. – № 99 (1). – P. 5-13.
13. 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.
14. 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*, 2018. – № 25 (3). – P. 209-230.
15. 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.
16. Morelli D.A., de Arruda Ignacio PS. Assessment of research and case studies on Cloud Manufacturing: A bibliometric analysis.
17. 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.