

**ОРГАНИЗАЦИЯ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА В
ЛАБОРАТОРИИ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПЕЧАТИ НА БАЗЕ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ****Полегаев Илья Игоревич¹, Роеенко Анна Олеговна²**¹Студент;

Государственный университет «Дубна»;

Россия, 141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;

e-mail: pii.21@uni-dubna.ru.

²Старший преподаватель;

Государственный университет «Дубна»;

Россия, 141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;

e-mail: roenko.a.o@uni-dubna.ru.

В статье рассматриваются современные подходы к организации дистанционного управления и мониторинга в лаборатории 3D-моделирования и печати на базе локальной сети. Особое внимание уделяется вопросам автоматизации процесса, удаленного контроля параметров печати и диагностики оборудования. Анализируются существующие решения и перспективы их применения в образовательных учреждениях. Результаты данной работы могут повысить эффективность 3D-печати и лаборатории в целом и расширить возможности взаимодействия между участниками образовательного процесса.

Ключевые слова: удаленное управление, мониторинг, 3D-принтер, 3D-печать, технология FDM, Raspberry Pi, удаленный рабочий стол, визуальный контроль.

Для цитирования:

Полегаев И. И., Роеенко А. О. Организация дистанционного управления и мониторинга в лаборатории 3D-моделирования и печати на базе локальной сети // Системный анализ в науке и образовании: сетевое научное издание. 2025. № 1. С. 130-136. EDN: MZUFXY. URL : <https://sanse.ru/index.php/sanse/article/view/652>.

**ORGANIZATION OF REMOTE CONTROL AND MONITORING IN THE LABORATORY
OF 3D MODELING AND PRINTING BASED ON A LOCAL NETWORK****Polegaev Ilya I.¹, Roenko Anna O.²**¹PhD student;

Dubna State University,

19 Universitetskaya Str., Dubna, Moscow region, 141980, Russia;

e-mail: pii.21@uni-dubna.ru.

²Senior teacher;

Dubna State University;

19 Universitetskaya Str., Dubna, Moscow region, 141980, Russia;

e-mail: roenko.a.o@uni-dubna.ru.

The article discusses modern approaches to the organization of remote control and monitoring in the laboratory of 3D modeling and printing based on a local network. Special attention is paid to the automation of the process, remote control of printing parameters and equipment diagnostics. The existing solutions and prospects of their application in educational institutions are analyzed. The results of this work can improve the efficiency of 3D printing and the laboratory as a whole and expand the possibilities of interaction between participants in the educational process.



Статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (CC BY 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>

Keywords: remote control, monitoring, 3D printer, 3D printing, FDM technology, Raspberry Pi, remote desktop, visual control.

For citation:

Polegaev I. I., Roenko A. O. Organization of remote control and monitoring in the laboratory of 3D modeling and printing based on a local network. *System analysis in science and education*, 2025;(1):130-136 (in Russ). EDN: MZUFXY. Available from: <https://sanse.ru/index.php/sanse/article/view/652>.

Введение

Современные технологии дистанционного управления и мониторинга находят широкое применение в различных областях науки, образования и производства. В условиях стремительного развития цифровых технологий и автоматизации процессов возрастает необходимость интеграции удаленного доступа к сложным техническим системам.

3D-моделирование и аддитивные технологии становятся неотъемлемой частью учебного процесса и научных исследований. Однако эффективная организация работы в лабораториях, связанных с 3D-печатью, требует не только физического присутствия специалистов, но и возможности удаленного контроля параметров печати, диагностики оборудования и управления процессом в режиме реального времени.

Развитие локальных сетей и интеграция облачных технологий позволяют создавать надежные системы удаленного управления, обеспечивающие высокую степень автоматизации и оперативный контроль за работой оборудования. Мониторинг и дистанционное управление печатью в лаборатории 3D-моделирования и печати не только повысит эффективность использования ресурсов, но и способствует развитию новых форм взаимодействия между студентами и преподавателями [1].

В данной работе рассматриваются основные методы организации удаленного управления и мониторинга на базе локальной сети, анализируются существующие решения и перспективы их применения в образовательных учреждениях на примере лаборатории 3D-моделирования и печати ИСАУ государственного университета «Дубна».

1. Постановка задачи

В университетах технической направленности есть лаборатории или специализированные учебные кабинеты, в которых студенты получают практические навыки работы с оборудованием. Одним из таких кабинетов в университете «Дубна» является лаборатория 3D-моделирования и печати. Для реализации школьных и студенческих проектов кабинет оснащен 3D-принтерами *Wanhao Duplicator 4* с технологией FDM-печати. Данная технология позволяет печатать детали послойно из ABS, PLA и PETG пластика. К оборудованию предоставляется программное обеспечение – слайсер *Replicator G*, который необходим для конвертации 3D-моделей из *stl*-формата в формат *g-code* или «геометрический код» для дальнейшей печати на принтере. В файле *g-code* прописаны команды, которые определяют положение экструдера в каждый момент времени в процессе печати модели. Также в качестве дополнительных слайсеров используется *Maker Bot* и *Ultimaker Cura*, имеющие более широкий функционал.

Вместе с тем работа на 3D-принтере является достаточно трудозатратной по времени. Это связано с тем, что во время печати необходим непрерывный контроль оборудования и процесса. Компоненты могут перегреваться, нить прутка ломаться, а модель отклеиваться от стола с дальнейшим смещением по рабочей области, что приводит к некорректной работе оборудования в целом. И это только часть ошибок, которые могут возникать во время печати. Также стоит отметить, что длительное нахождение в непосредственной близости от разогретого пластика не является безопасным для здоровья. В связи с этим общее количество проектов и работ, которое можно было бы выполнять в лаборатории, сильно сокращается.

Для решения данной проблемы была поставлена задача – найти программный или аппаратный инструмент, который позволит контролировать процесс печати удаленно, вплоть до удаленной работы с функционалом слайсера и запуском модели на печать. Таким образом, всю задачу можно глобально подразделить на несколько этапов:

1. подготовка материальной базы (проведение в кабинет локальной сети),
2. установка необходимого ПО для конвертации моделей в *g-code* и тестовый запуск печати с ПК,
3. установка камеры на корпус 3D-принтера,
4. поиск подходящего программного решения для мониторинга и удаленной работы с оборудованием,
5. тестирование,
6. финальный запуск и отладка.

2. Подготовка оборудования и анализ существующих решений

Для реализации первого этапа, а именно для работы с базовыми функциями печати и возможности дальнейшего налаживания дистанционного управления и мониторинга в лабораторию была проведена локальная сеть [2]. Схема, иллюстрирующая функционирование локальной сети в лаборатории 3D-принтеров, разработанная с использованием программного обеспечения *Cisco Packet Tracer*, приведена на рис. 1.

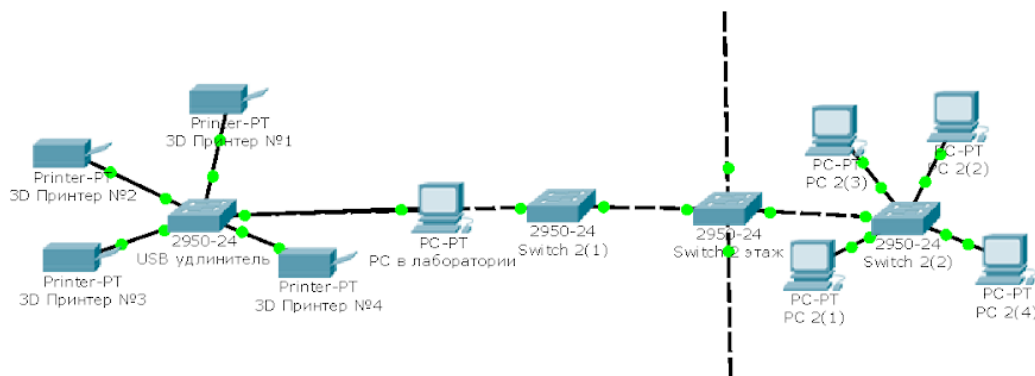


Рис. 1. Локальная сеть лаборатории 3D-принтеров

Вторым этапом была установка необходимого ПО для конвертации файлов в *g-code* и запуск печати с ПК. В качестве базового слайсера был выбран *Replicator G*. Был успешно проведен тестовый запуск печати через данное ПО и непосредственное подключение принтера к ПК. Результат настройки и тестовой печати приведен на рис. 2.

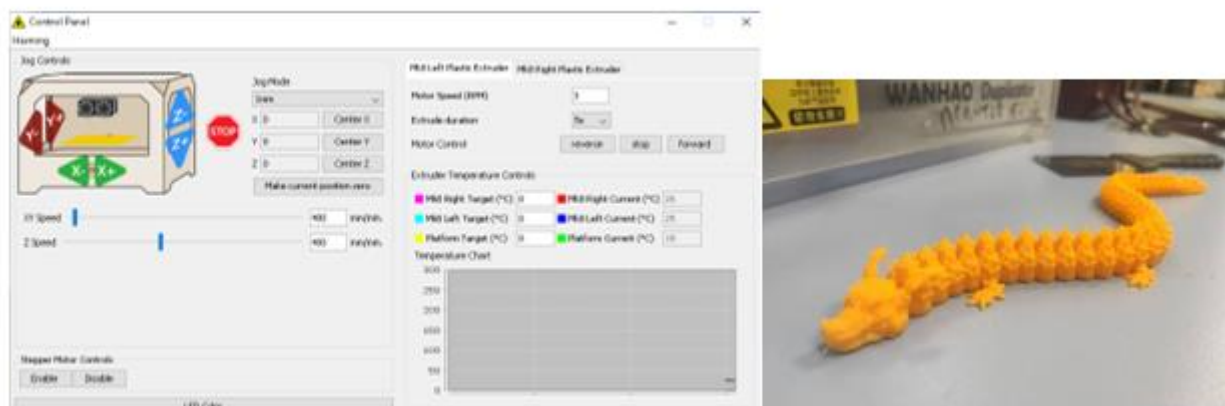


Рис. 2. Окно панели управления *Replicator G* и фото готовой модели.

Для дальнейшего тестирования ПО для удаленного доступа и управления процессом печати на корпус принтера была установлена веб-камера *Microsoft*. Фото с данной камеры будут приведены непосредственно в комбинации с различными программными продуктами.

На данный момент для дистанционного и управления и мониторинга 3D-печатью существует несколько готовых решений. Все решения можно подразделить на программные (*OctoPrint*, *Repetier-Server*, *Fluidd/KlipperScreen* и др.), аппаратные (Модули IoT – *ESP8266*, *ESP32*, *Raspberry Pi*, а также камеры наблюдения и пр.) и интеграцию с локальными сетями (Локальные серверы на базе *Raspberry Pi*/ПК). В данной работе мы рассмотрим несколько примеров, чтобы выбрать оптимальное решение для нашей задачи.

1. *OctoPrint* – это программа-хост для 3D-принтера с открытым исходным кодом [3]. Она позволяет запускать, приостанавливать или прерывать задания на 3D-печать. *OctoPrint* имеет несколько вариантов работы: через запуск .exe файла, командную строку, а также через установку приложения на телефон.

Стоит отметить, что *OctoPrint* не поддерживает *Wanhao Duplicator 4* с заводской прошивкой из-за особенностей используемого протокола. Для обеспечения совместимости требуется установка плагина *GPX*, который эмулирует протокол *g-code* для принтеров на базе прошивки *Sailfish*, используемой в *Duplicator 4*. Тем не менее, было проведено тестирование данного решения с базовой прошивкой принтера. Результат установки приведен на рис. 3. Кадр получен с веб-камеры *Microsoft*.

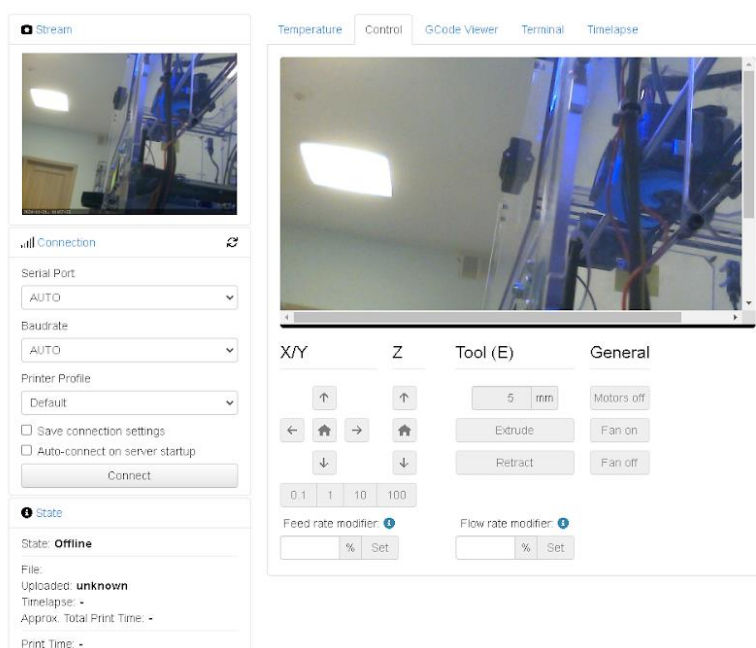


Рис. 3. Скриншот экрана программы *OctoPrint*.

2. Следующее решение это *Fluidd* [4]. *Fluidd* – это настраиваемый веб-интерфейс с открытым исходным кодом. Он позволяет управлять прошивкой *Klipper* с различных устройств. Однако прошивка *Klipper* не поддерживает *Wanhao Duplicator 4* с базовой прошивкой. Для использования *Klipper* потребуется замена или модификация электроники принтера.
3. Удаленное управление через «Ассистент для Windows» [5]. Данная программа предназначена для удаленного доступа, управления и администрирования компьютерной техники и серверного оборудования. В связи с этим можно использовать ее функционал напрямую. Для этого необходимо на базовом экране ПК, к которому подключен 3D-принтер, настроить два окна: окно вид из камеры на печать и окно управления печатью. Таким образом, происходит опосредованное управление процессом печати, а не напрямую. Вместе с тем, учитывая необходимость установки прошивок и/или замены электроники оборудования, на данный момент этот способ управления наиболее прост в использовании и не требует денежных и временных затрат. Также существуют и другие аналоги удаленного доступа к ПК: *TeamViewer*, *AnyDesk*, *Techinline* и др.

Пример реализации данной программы приведен на рис. 4.

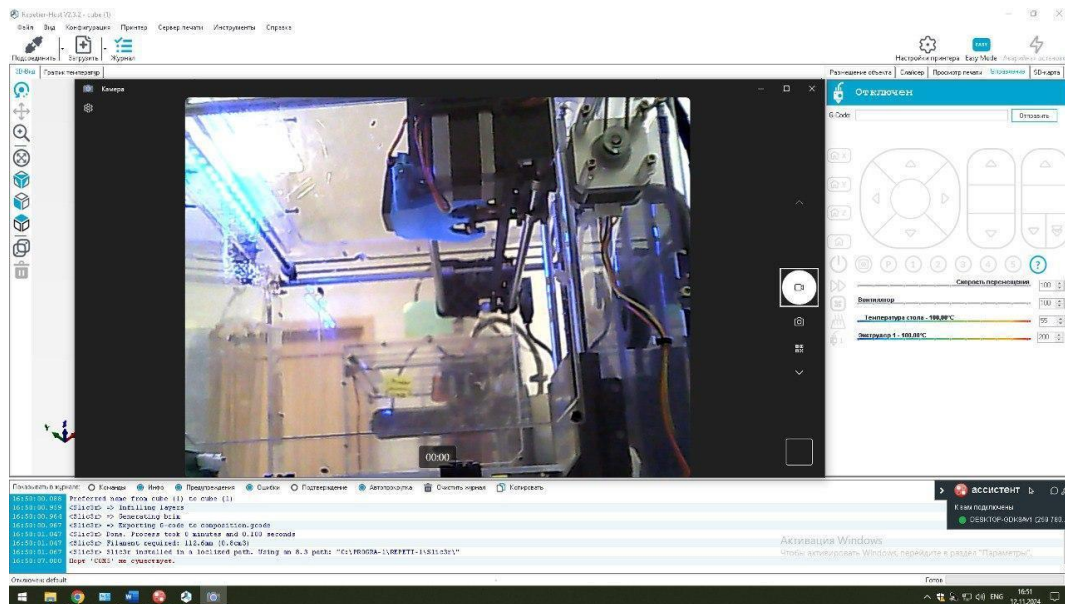


Рис. 4. Скриншот экрана «Ассистент для Windows»

В табл. 1 приведен пример обработки различными программными продуктами наиболее часто встречаемых ошибок, которые возникают при печати на 3D-принтере.

Табл. 1. Ошибки печати и способы обработки в разных ПО

Ошибки ПО	Деталь отклеилась от стола	Закончился пластик/поломался пруток	Перегрев компонентов
<i>OctoPrint</i>	Платный плагин/ возможность выводить ошибки в <i>Telegram Bot</i>	Платный плагин/ возможность выводить ошибки в <i>Telegram Bot</i>	Платный плагин/ возможность выводить ошибки в <i>Telegram Bot</i>
<i>Klipper</i>	Платный плагин	Платный плагин	Платный плагин
Удаленный ассистент для <i>Windows</i> (и аналоги удаленного доступа)	Визуальный контроль через <i>Web</i> -камеру	Визуальный контроль через <i>Web</i> -камеру	Визуальный контроль параметров принтера через слайсер (с ПК)

В качестве аппаратных решений могут использоваться камеры наблюдения (*Webcam/IP*-камеры) и *Wi-Fi* или *Ethernet*-модули. Однако данное решение только частично удовлетворяет поставленной задаче, поскольку *Wanhao Duplicator 4* не оснащен встроенными сетевыми модулями. Для их использования потребуются модификация электроники принтера или использование внешних устройств, таких как *Raspberry Pi*, для обеспечения сетевого подключения.

Совместимость перечисленных ранее решений с данным принтером приведена в сводной табл. 2.

Табл. 2. Сравнение существующих решений для мониторинга и удаленного управления 3D-принтером *Wanhao Duplicator 4* (базовая прошивка)

Решение	Совместимость с <i>Wanhao Duplicator 4</i> (базовая прошивка)	Функции
Программные		
<i>OctoPrint</i>	Частичная (требуется плагин <i>GPX</i>)	Веб-интерфейс, мониторинг, контроль температуры
<i>Repetier-Server</i>	Ограниченная	Управление несколькими принтерами, облачный доступ

<i>AstroPrint</i>	Частичная (основана на <i>OctoPrint</i>)	Облачное управление, мониторинг
<i>Duet Web Control</i>	Несовместимо	Требует контроллера <i>Duet</i>
<i>Fluidd/KlipperScreen</i>	Несовместимо	Требует прошивки <i>Klipper</i>
Ассистент для Windows	Совместимо	Управление через удаленный доступ
Аппаратные		
Камеры наблюдения	Полностью совместимо	Визуальный контроль печати
<i>Wi-Fi/Ethernet</i> -модули	Требуется модификация	Подключение к сети
Модули <i>IoT</i> (<i>ESP8266</i> , <i>ESP32</i> , <i>Raspberry Pi</i>)	Требуется настройка	Кастомизированные решения управления
Автоматизированные системы контроля	Требуется интеграция	Контроль температуры, движения, наличия пластика
Интеграция с локальными сетями		
<i>VPN</i> и удаленный доступ	Ограниченная	Безопасное подключение к сети
Локальные серверы на базе <i>Raspberry Pi</i> /ПК	Требуется настройка	Управление несколькими принтерами

Стоит отметить, что данная модель принтера с базовой прошивкой имеет ограниченную совместимость с некоторыми решениями для дистанционного мониторинга и управления. И для интеграции более функциональных решений потребуется замена прошивки принтера, а также полная или частичная замена электроники.

Заключение

В результате проведенной работы был выбран наиболее эффективный способ решения поставленной задачи на данный момент без закупки дополнительного оборудования и смены прошивки принтера – ПО «Ассистент для *Windows*». Однако данная программа имеет ограниченный функционал. Возможности данного ПО рассчитаны исключительно на визуальный мониторинг качества печати и удаленный запуск и управлением одним оборудованием.

Таким образом, в работе были выполнены следующие шаги:

1. проведена локальная сеть в лабораторию 3D-моделирования и печати,
2. проведена установка и настройка необходимого программного обеспечения для конвертации файлов и непосредственного подключения слайсера к принтеру через ПК,
3. проведен анализ существующих решений,
4. проведено тестирование существующих решений в рамках поставленной задачи,
5. выбрано оптимальное решение на данный момент (без замены базовой прошивки и электроники).

В дальнейшем планируется продолжать работу в данном направлении и подобрать решение, которое не только позволило бы мониторить и управлять процессом печати одного 3D-принтера, но и переключаться между параллельными процессами печати на разных принтерах, ставить печать в очередь, оповещать об ошибках и окончании печати. В связи с этим в дальнейшем для обеспечения дистанционного мониторинга и управления *Wanhao Duplicator 4* с базовой прошивкой планируется установка специализированных плагинов, обновление прошивки и/или модификация электроники принтера.

Список источников

1. Никульшин, С. А. Удаленное управление трехмерной печатью / С. А. Никульшин, Е. Ю. Решетова, П. В. Краснов // Шаг в науку. – 2018. – № 2. – С. 163-167.
2. Модернизация локальной вычислительной сети / А. Альхаяль, Д. Б. Флакс, М. Ю. Перухин, Э. У. Даутова // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – № 3 . – Том 16. – С. 240-241.
3. OctoPrint.org : [сайт проекта] / Джина Хаусге. – URL: <https://octoprint.org/> (дата обращения: 03.03.2025)
4. Adam. Create Custom Fluidd Theme for Klipper // KlipperScreen Mods. – KlipperScreen Mods, 2025. – Дата публикации: 18.02.2023. – URL: <https://klipperscreen.com/klipper/create-custom-fluidd-theme-for-klipper/>.
5. АССИСТЕНТ | Удаленный доступ, управление и администрирование. – ООО "САФИБ", 2016-2024. – URL: <https://мойассистент.рф/скачать/> (дата обращения: 03.03.2025).