

Региональная открытая конференция по научно-техническому
творчеству школьников «Лабиринты науки»

секция: Конструкторская деятельность

**Реализация технологии ротационного (пустотелого) литья
в рамках домашней мастерской**

Работу выполнил(а):
Лубенченко Тимофей Андреевич,
ученик 10«А» класса
Руководитель:

Табаков Денис Михайлович
учитель труда(технологии)

г. Ярославль, 2025

Оглавление

Введение	3
Теоретическая часть	4
История создания	5
Ротационное литье на производстве.....	6
Преимущества и недостатки ротационного литья на производстве	7
Области применения:	8
Использование станка в творческих и инженерных целях.	8
Создание рабочего станка.....	9
Создание силиконовой модели	9
Выводы	10
Литература	11
Приложения	12

Введение

Ротационное литьё — эффективный метод производства полых пластиковых изделий с равномерной толщиной стенок. В условиях малого производства и прототипирования промышленное оборудование для ротационного литья зачастую экономически нецелесообразно: высокие начальные затраты на оснастку и энергоёмкость процессов делают его невыгодным для штучного выпуска.

Настоящий проект направлен на разработку ручной установки для ротационного литья, которая:

- обеспечит доступность технологии для домашних мастерских и образовательных учреждений;
- позволит проводить инженерные эксперименты в условиях мастерских и лабораторий;
- даст возможность мелкосерийного производства прототипов и функциональных изделий.

Проект обеспечит доступность технологии для образовательных и экспериментальных целей.

Актуальность проекта

Проект актуален в контексте трёх ключевых трендов:

- 1) Рост спроса на доступное прототипирование
- 2) Ручная установка снижает барьер входа для дизайнеров, инженеров и образовательных организаций, позволяя:
 - тестировать конструкции без привлечения промышленного оборудования;
 - оперативно вносить изменения в прототипы;
 - осваивать технологию в учебных курсах по материаловедению и конструированию.
- 3) Экологичность и минимизация отходов

Ротационное литьё характеризуется:

- точным расчётом материала (отсутствие излишков);
- возможностью переработки остатков полимера;
- низким энергопотреблением по сравнению с литьём под давлением или выдувным формованием.

Это соответствует глобальным целям устойчивого развития и снижению углеродного следа.

Гибкость применения

Метод открывает возможности для:

создания декоративных элементов (светильники, панно);
 производства функциональных деталей (корпуса приборов, контейнеры);
 изготовления компонентов для технических устройств (защитные кожухи, ёмкости).

Социальная значимость проекта заключается в популяризации технологий переработки полимеров и развитии культуры «умного» производства в образовательных учреждениях и творческих мастерских.

Экономический эффект достигается за счёт:

снижения затрат на прототипирование;
 возможности локального производства малых партий изделий;
 уменьшения логистической нагрузки (производство «на месте»).

Таким образом, разработка ручной установки для ротационного литья отвечает современным запросам в области образования, экологии и инновационного производства.

Проблема исследования:

Современные методы дублирования деталей недоступны для широкого круга пользователей: студентов, мастеров, изобретателей-любителей, так как требуют сложного и дорогостоящего оборудования. Это ограничивает возможности для экспериментов, прототипирования и малосерийного производства в условиях домашних мастерских или образовательных учреждений. Возникает необходимость в разработке простого, безопасного и доступного метода дублирования изделий, который позволял бы получать качественные работы.

Цель:

Целью данного проекта является разработка и тестирование доступной технологии ручного ротационного литья, включающей конструирование упрощенной установки, подбор экономически целесообразных материалов, совместимых с ручной технологией, исследование параметров формования: температуры, времени вращения, равномерности распределения массы на качество получаемых изделий.

Задачи проекта:

1. Изучить теоретические принципы ротационного формования и ключевые технологические параметры.
2. Разработать конструкцию ручной установки для ротационного литья с использованием доступных комплектующих, обеспечивающей безопасность и воспроизводимость процесса.
3. Подобрать термопластичный материал, пригодный для литья в домашних условиях, с учётом доступности, стоимости и технологических свойств.
4. Провести серию экспериментальных отливок для отработки методики и сбора данных о влиянии параметров процесса на качество изделий.
5. Проанализировать полученные изделия (геометрия, поверхность, прочность) и оптимизировать процесс путём корректировки температуры, времени вращения и других параметров.
6. Подготовить и представить результаты проекта на профильной конференции, включая демонстрацию установки и образцов.

Проект имеет **теоретическую значимость** в образовательной, художественной и малой производственной сферах. Он может быть использован в школах, технопарках и мастерских как инструмент для обучения основам материаловедения, инженерного мышления и цифрового производства. **Практическая значимость** проекта заключается в организации доступного малотиражного производства продукции в условиях домашней мастерской или мастерских образовательной организации.

Теоретическая часть

Ротационное литье — это технология изготовления полых изделий из пластика (полимеров). Её ключевая особенность заключается в том, что расплавленный материал равномерно распределяется и прилипает к внутренним стенкам формы за счёт вращения формы в двух перпендикулярных плоскостях с разной скоростью. (Приложение 1)

История создания

Предыстория и первые патенты (До 1900-х годов)

Идея создания полых объектов путем вращения расплавленного материала уходит корнями в далекое прошлое. Принцип, похожий на ротационное литье, использовался веками для изготовления полых шоколадных конфет и яиц.

Ключевым событием, заложившим основы современного ротационного формования, стал **патент 1855 года**, выданный в Великобритании Р. Питерсу. В своем изобретении он описывал создание полых металлических снарядов путем вращения формы. Конечно, речь не шла о пластике, а о металле, но принцип центробежного распределения материала был заложен именно тогда.

Рождение ротационного литья для пластмасс (1930-е - 1940-е годы)

Настоящее рождение технологии производства пластмассовых изделий произошло в середине XX века, и ключевую роль здесь сыграл поливинилхлорид (ПВХ).

1940-е годы: В США начинают экспериментировать с производством полых кукол из ПВХ-пасты (пластизоля). Форму, заполненную жидким ПВХ, нагревали и вращали в печи. Это был коммерческий успех, который доказал жизнеспособность метода для пластиков.

Флагманом эпохи стала — Рото Кастинг Корпорейшн. Эта американская компания одной из первых начала коммерческое использование технологии, и именно от её названия "Roto Casting" позже произошел термин "rotational molding".

Эра полиэтилена (1950-е - 1970-е годы)

Это самый важный этап, который превратил ротационное литье из узкоспециализированной технологии в крупномасштабную отрасль промышленности. Всё из-за одного материала — полиэтилена.

Проблема: ПВХ-пластизоль был удобен, но имел ограничения по прочности, химической стойкости и долговечности. Полиэтилен же был прочным и дешевым, но изначально производился в виде гранул, которые не подходили для ротационного литья — они не плавилась равномерно.

Решение: В 1950-х годах была разработана технология измельчения полиэтилена до состояния мелкодисперсного порошка. Этот порошок идеально плавился и распределялся по форме.

Последствие: это открыло шлюзы. Началось массовое производство огромных, прочных и химически стойких изделий, которые были невозможны раньше:

Большие емкости и баки для сельского хозяйства и промышленности.

Корпуса лодок и каноэ.

Уличная мебель (скамейки, урны).

В 1960-х годах процесс стал полностью автоматизированным с появлением карусельных машин, где несколько форм поочередно проходили этапы загрузки, нагрева, охлаждения и выгрузки. Это резко увеличило производительность.

Совершенствование и глобализация (1980-е - 1990-е годы)

К этому времени ротационное литье стало признанной и зрелой отраслью. Основные усилия были направлены на его совершенствование:

Развитие материалов: появились новые, более подходящие марки полиэтилена (например, линейный ПЭНП - LLDPE), а также стали активнее использовать нейлоны, поликарбонаты.

Улучшение контроля: Внедрение компьютеров позволило точно контролировать температуру, время цикла и скорость вращения, что улучшило качество и повторяемость изделий.

Создание ассоциаций: в 1975 году была основана Ассоциация Ротационного Формования, которая начала активную работу по стандартизации, обучению и продвижению технологии по всему миру.

Современное состояние (2000-е годы — по настоящее время)

Сегодня ротационное литье — это высокотехнологичный процесс, который продолжает развиваться:

Прогрессивные материалы: Использование специальных добавок, пенообразующих агентов, многослойное литье (например, для создания топливных баков с барьерным слоем).

Снижение веса и затрат: Оптимизация конструкции изделий с помощью компьютерного моделирования для уменьшения веса и расхода материала без потери прочности.

Экологичность: Развитие направления переработки и использования вторичных материалов.

Новые области применения: Производство сложных технических деталей для аэрокосмической и оборонной промышленности, автомобилестроения.

Таким образом, история ротационного литья — это яркий пример того, как развитие одного материала (полиэтиленового порошка) может вывести целую технологию из кустарного состояния в ведущую отрасль промышленности.

Ротационное литье на производстве

Процесс ротационного литья можно разделить на четыре основных этапа:

Загрузка.

В предварительно нагретую или холодную металлическую форму засыпается точное количество полимерного материала (чаще всего в виде порошка). Форма закрывается и герметизируется.

Нагрев и вращение.

Закрытую форму устанавливают в печь и начинают вращать вокруг двух осей (главной и второстепенной). Это медленное вращение (обычно 4-20 об/мин).

В печи форма нагревается. Под действием температуры пластиковый порошок плавится и постепенно, слой за слоем, прилипает ко всей внутренней поверхности формы, повторяя её контур.

Охлаждение.

После того как материал полностью расплавился и распределился, форму перемещают в зону охлаждения. Вращение при этом не прекращается.

Охлаждение обычно происходит с помощью воздуха и/или водяных брызг. Это позволяет материалу затвердеть и стабилизироваться.

Выгрузка.

Форму останавливают, открывают и извлекают готовое изделие.

Так как форма состоит из двух частей, на изделии остается линия соединения, которую часто приходится удалять.

Какие материалы используются?

Самый распространенный материал — полиэтилен, особенно полиэтилен низкой плотности (ПЭНП/LDPE) и линейный полиэтилен низкой плотности (ЛПЭНП/LLDPE). Он составляет около 80% всех материалов для ротационного формования. Также используются:

Полипропилен (PP)

Поливинилхлорид

Нейлон

Поликарбонат

Материал всегда используется в виде порошка с очень мелкими частицами. Это необходимо для равномерного плавления и распределения.

Преимущества ротационного литья

1. Равномерная толщина стенок. Это одно из главных преимуществ. Поскольку материал распределяется под действием гравитации и центробежных сил, толщина стенок получается практически одинаковой по всему изделию, включая углы и труднодоступные места.
2. Отсутствие внутренних напряжений. В отличие от литья под давлением, материал не "впрыскивается" с большой силой, поэтому в готовом изделии нет остаточных напряжений, которые могут привести к деформации или растрескиванию.
3. Возможность создания изделий сложной формы. Можно производить очень крупные, цельнолитые и сложные изделия, которые невозможно или очень дорого сделать другими методами.
4. Низкая стоимость оснастки. Формы для ротационного литья значительно дешевле, чем пресс-формы для литья под давлением, так как они не должны выдерживать высокого давления.
5. Легкость в изменении дизайна и цвета. Достаточно просто изменить форму или заменить порошок на другой цвет.
6. Возможность создания многослойных изделий. Можно заливать разные материалы слоями для создания специальных свойств (например, барьерный слой для топливных баков).

Преимущества и недостатки ротационного литья на производстве

№ п.п	Недостатки	Преимущества
1.	Длительный цикл (часто 30-60 минут на одно изделие)	Низкая стоимость форм, в 3-5 раз дешевле, чем при литье под давлением.
2.	Ограниченность материалов. Выбор материалов в основном ограничен полиолефинами (полиэтилен, полипропилен).	Бесшовные изделия, высокая герметичность и прочность.

3.	Пористость поверхности. Поверхность изделия может быть менее гладкой и глянцевой, чем при литье под давлением.	Равномерная толщина стенок.
4.	Ручной труд. Процесс часто требует значительного ручного труда для загрузки/выгрузки, что увеличивает себестоимость.	Практически безотходное производство, весь материал используется.
5.		Возможность делать крупные детали до 50000 литров.
6.		Гибкость формы, можно создавать сложные геометрии и вставки.
7.		Экономия на сборке, сложные узлы отливаются за один раз.

Области применения:

- Благодаря своим особенностям ротационное литье идеально подходит для производства крупногабаритных и полых изделий:
- Емкости и резервуары: Цистерны, баки для воды и химикатов, септики.
- Судостроение и водный спорт: Каноэ, каяки, лодки, понтоны, буи.
- Автомобильная промышленность: Топливные баки, воздухопроводы, детали салона (например, подлокотники).
- Мебель и урбанистика: Скамейки, мусорные баки, уличные урны, игровые комплексы (горки, домики).
- Медицина: Манекены, корпуса медицинского оборудования, емкости.
- Игрушки: Большие полые игрушки, такие как мячи, песочницы, детские игровые домики.

Использование станка в творческих и инженерных целях

Сегодня станок для *ручного ротационного литья* можно применять для литья в силиконовые формы — это технология изготовления копий изделий путём заливки в эластичную силиконовую форму различных материалов, чаще всего — двухкомпонентных полиуретанов. Этот метод широко используется в мелкосерийном производстве, прототипировании, ювелирном деле, производстве декора, игрушек, деталей для техники и медицинских изделий.

Процесс состоит из трех основных этапов:

1) Изготовление силиконовой формы (матрицы)

За основу берётся мастер-модель — готовое изделие или 3D-напечатанная копия. Её помещают в ёмкость и заливают жидким силиконом. После полимеризации (застывания) силикон превращается в гибкую, прочную форму, точно повторяющую все детали оригинала, включая поднутрения и мелкие узоры.

2) Заливка рабочего материала в форму

В готовую силиконовую форму заливается двухкомпонентный полиуретан или другой компаунд.

3) Вращение силиконовой формы с полиуретаном, до полного отверждения материала.

Создание рабочего станка.

Проектирование

В системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D разработаны трёхмерные модели всех необходимых деталей прототипа. (Приложение 1)

Изготовление основных элементов

Детали, требующие сложной геометрии или индивидуальной конфигурации, изготовлены методом 3D-печати на 3D-принтере. (Приложение 2)

Комплектация стандартными элементами

Для сборки прототипа дополнительно приобретены следующие стандартные компоненты (Приложение 3):

- упорные подшипники;
- шпилька М8;
- гайки различных типов;
- Ремень полиуретановый (круглый);
- профильная алюминиевая труба сечением 20×20 мм.

Сборка

Сборка была проведена согласно разработанному чертежу (Приложение 4)

Создание силиконовой модели

1. Печать 3D-модели

Изготовление исходной модели на 3D-принтере.

Контроль качества печати: проверка геометрии, отсутствие дефектов поверхности.

2. Подготовка модели к формовке

Очистка поверхности модели от поддерживающих структур и неровностей.

Обезжиривание (например, изопропиловым спиртом) для улучшения адгезии силикона.

3. Сборка опалубки

Создание жёсткого контура (опалубки) вокруг модели для удержания силикона.

Герметизация стыков опалубки (при необходимости — герметиком или пластилином).

4. Фиксация модели и создание «ключей»

Размещение модели в пластилине (одна половина формы).

Формирование «ключей» (выступов/углублений) для точного совмещения половин формы при последующей заливке.

1. Заливка первой половины формы

Смешивание компонентов силикона согласно инструкции (точность дозировки критична).

Заливка силикона в опалубку до уровня, покрывающего модель с запасом.

Удаление воздушных пузырей (вакуумирование или постукивание по опалубке).

Выдержка до полного отверждения силикона (время указано в документации к материалу).

2. Подготовка ко второй заливке

Удаление пластилина, обнажение модели и «ключей».

Нанесение разделительного состава (например, специального спрея или воска) на отверждённый силикон для предотвращения слипания половин.

3. Заливка второй половины формы

Повторное смешивание силикона.

Заливка в опалубку поверх модели и первой половины формы.

Контроль заполнения всех полостей, удаление пузырей.

Отверждение второй половины (время аналогично п. 5).

4. Завершение формовки

Проверка полной просушки силикона (отсутствие липкости, упругость материала).

Разборка опалубки.

Аккуратное извлечение 3D-модели из формы (при необходимости — использование разделителя).

Осмотр формы: проверка целостности «ключей», отсутствие дефектов.

Выводы

1. В результате проведённой работы достигнуты следующие результаты:
2. Достижение поставленных целей
На текущем этапе реализации проекта достигнуты ключевые цели.
3. Разработка 3D-модели
Разработана трёхмерная модель устройства. Модель включает все функциональные узлы и прошла внутреннюю проверку на соответствие геометрическим и сборочным требованиям.
4. Изготовление устройства
На основе утверждённой 3D-модели изготовлен опытный образец устройства. Процесс сборки выполнен с соблюдением технической документации и контрольных параметров.
5. Тестирование и проверка работоспособности
Проведены тестовые запуски устройства. В ходе испытаний подтверждена стабильная работа всех узлов, отсутствие критических сбоев и соответствие заявленным характеристикам.
6. Производство пробной партии
Организован выпуск первой партии тестовой продукции в объёме, достаточном для дальнейшего тестирования.

Литература

Тенденции в малотиражной печати на 2024 год // Sostav.ru. – URL: <https://www.sostav.ru/publication/tendentsii-v-malotirazhnoj-pechaty-2024> (дата обращения: 15.11.2025).

Типография EGF: преимущества малотиражной печати. –

URL: <https://egfprint.ru/articles/preimuschestva-malotirazhnoj-pechaty> (дата обращения: 15.11.2025).

Пуказов Я. Что такое ротационное формование [Электронный ресурс]. — URL:

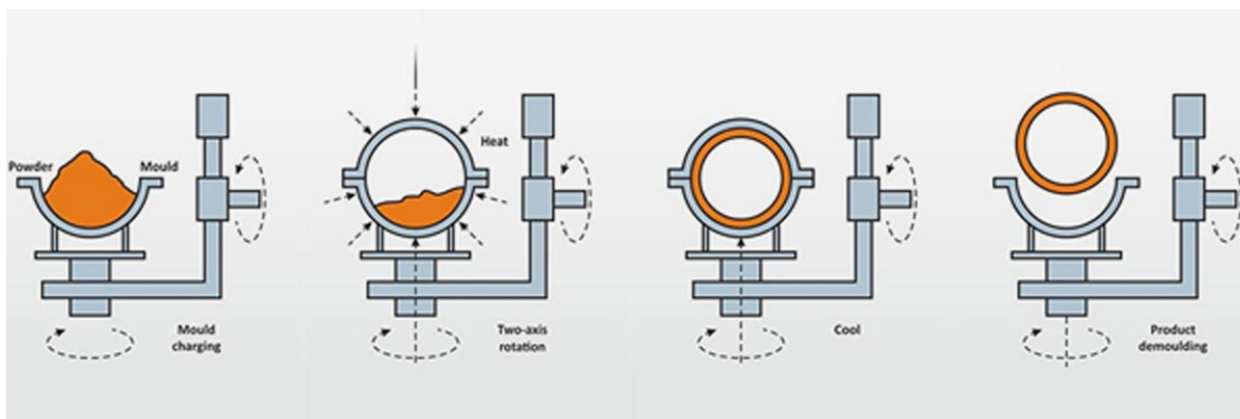
<https://yaroslav.pukazov.ru/blog/what-is-rotational-molding/> (дата обращения: 10.11.2025).

Pillars. Что такое ротационное формование [Электронный ресурс]. — URL:

<https://pillars.ru/chto-takoe-rotaczionnoe-formovanie/> (дата обращения: 10.11.2025).

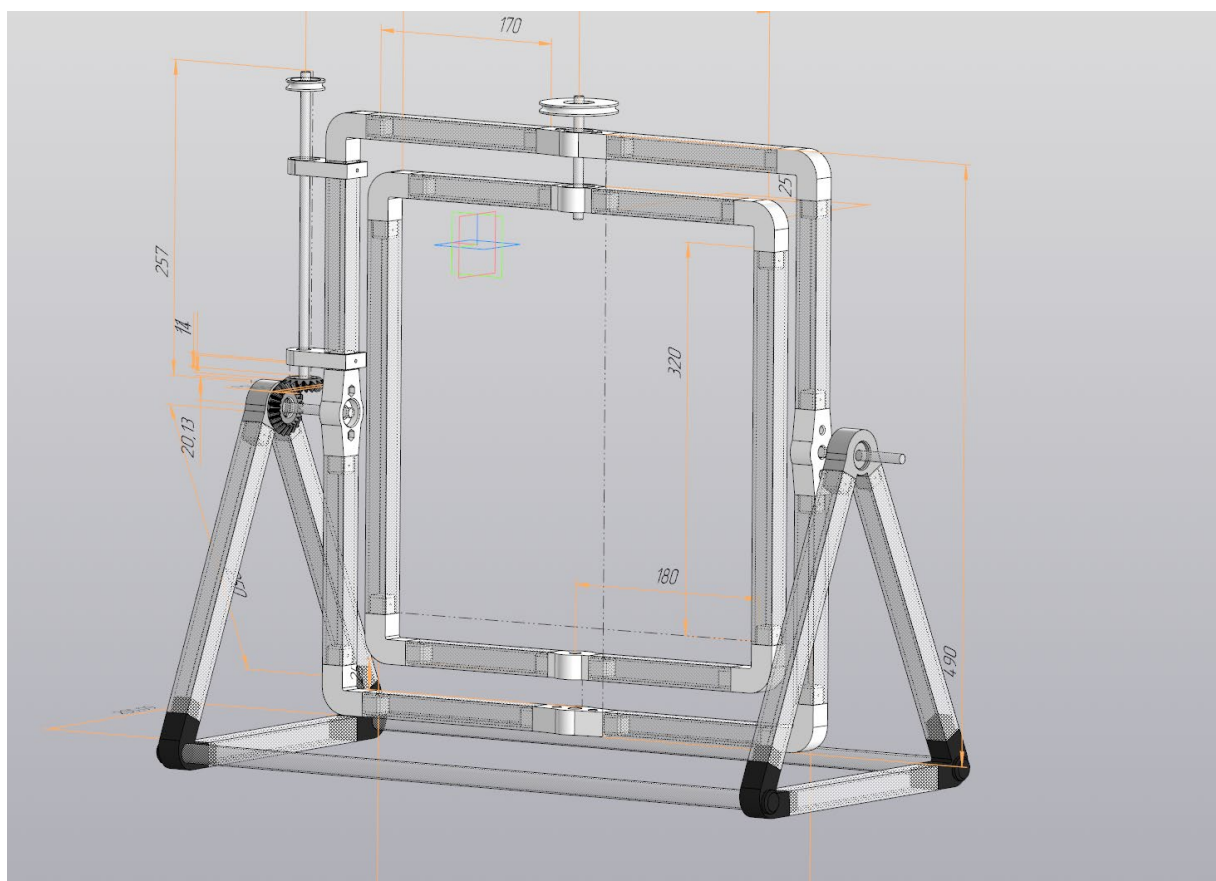
Приложения

Приложение 1



Принцип работы ротационного станка

Приложение 2



3D модель станка

Приложение 2



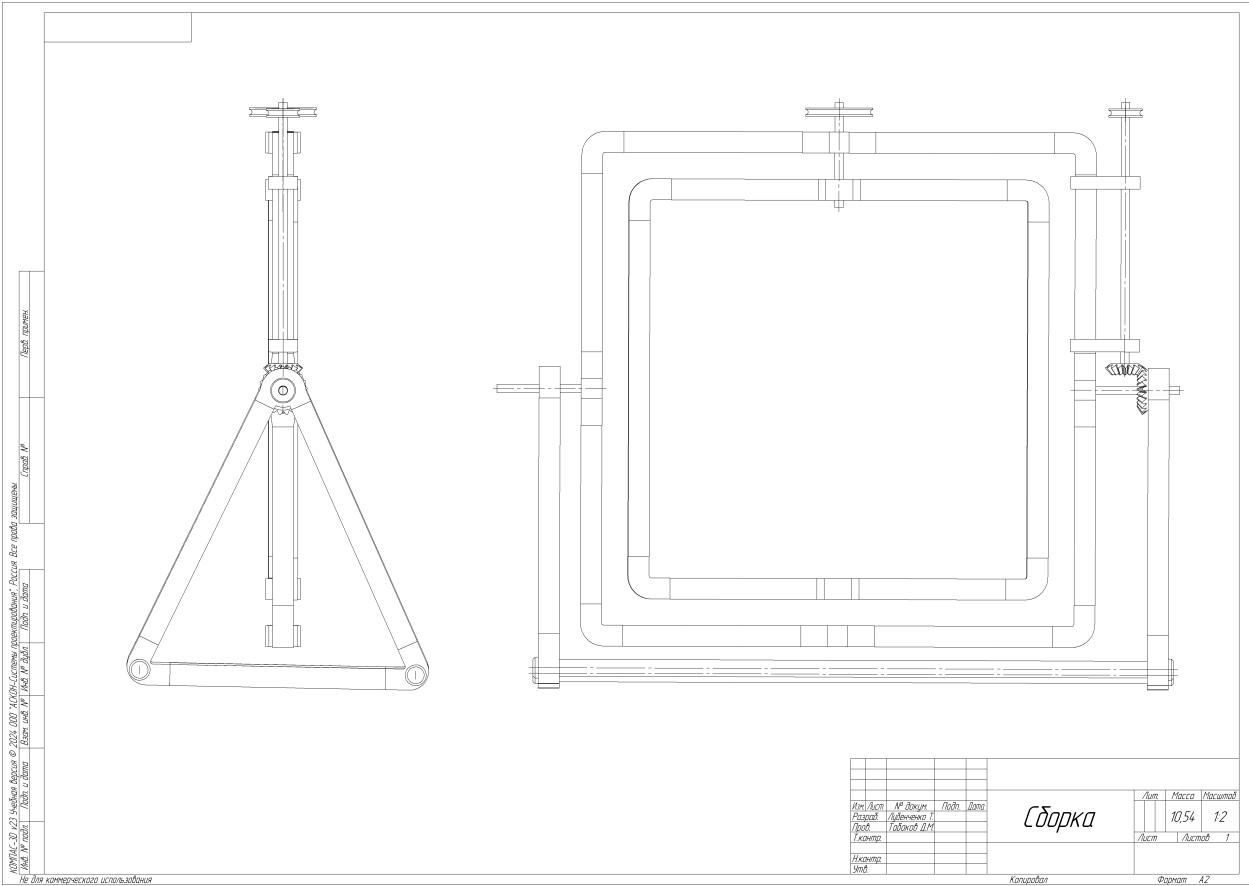
Готовые 3D модели после печати и обработки

Приложение 3



Готовые детали для проекта

Приложение 4



Сборочный чертеж