

Проблема создания сложной кинематической операции геометрического моделирования в современных САПР программах

A problem of creating a complex kinematic operation of geometric modeling in modern CAD programs

УДК 004.9:621.8

Получено: 18.10.2025

Одобрено: 20.11.2025

Опубликовано: 25.12.2025

Пастухов Р.В.

Студент, ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», г. Санкт-Петербург
e-mail: pastukhov_rv@mail.ru

Pastukhov R.V.

Student, Baltic State Technical University "VOENMEKH" named after D.F. Ustinov, St. Petersburg
e-mail: pastukhov_rv@mail.ru

Дубова А.С.

Студент, ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», г. Санкт-Петербург
e-mail: a221b07@voenmeh.ru

Dubova A.S.

Student, Baltic State Technical University "VOENMEKH" named after D.F. Ustinov, St. Petersburg
e-mail: a221b07@voenmeh.ru

Усиков Н.А.

Студент, ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», г. Санкт-Петербург
e-mail: a125b17@voenmeh.ru

Usikov N.A.

Student, Baltic State Technical University "VOENMEKH" named after D.F. Ustinov, St. Petersburg
e-mail: a125b17@voenmeh.ru

Научный руководитель:

Тихонов-Бугров Д.Е.

Канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», г. Санкт-Петербург

Scientific Advisor:

Tikhonov-Bugrov D.E.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Baltic State Technical University "VOENMEKH" named after D.F. Ustinov, St. Petersburg

Аннотация

Современное машиностроительное производство во многом зависит от 3д-моделей, создаваемых инженерами-конструкторами в системах автоматизированного проектирования. Это связано с повсеместным использованием систем с числовым программным управлением (от механообрабатывающих станков до 3д-принтеров), которые основывают свою работу на цифровых двойниках деталей. В статье поднята проблема создания 3д-моделей деталей кинематических узлов. Показано, что в современных САПР программах отсутствует возможность полноценного создания кинематической операции геометрического моделирования.

Ключевые слова: геометрическое моделирование, твердотельное моделирование, формообразование, САПР, фасонные детали.

Abstract

Modern machine-building production largely depends on 3D models created by design engineers in computer-aided design systems. This is due to the widespread use of computer numerically controlled systems (from metalworking machines to 3D printers) that base their work on digital counterparts of parts. The article raises the problem of creating 3D models of kinematic components. It is shown that modern CAD programs lack the ability to fully create a kinematic geometric modeling operation.

Keywords: geometric modeling, solid modeling, shaping, CAD, shaped parts.

Введение

На современном этапе развития машиностроительного производства ключевую роль в изготовлении деталей играет правильность геометрии, создаваемой в системах автоматизированного проектирования (далее – САПР).

Это, в первую очередь, связано с тем, что заготовки повсеместно обрабатываются на станках с числовым программным управлением, которые берут за основу цифровые 3д модели. Соответственно, в зависимости от того, какая модель будет загружена в САМ программу (англ. Computer-aided manufacturing), такую деталь и изготовит станок.

Важно заметить, что существенную роль в построении правильной модели детали в САПР программе играет не только профессионализм инженера-конструктора, но и возможность самой программы проектирования [1].

Применение в машиностроении деталей, геометрия которых является сложной кинематической операцией

Анализ кинематики неотъемлем при разработке механизмов. Особенно это касается тех случаев, когда применяются различные механические передачи. Для того, чтобы устройство выполняло свои функции без излишнего трения и соударений, все движения должны быть точно скоординированы.

Во многих отраслях машиностроения используются элементы, геометрия которых является кинематической операцией [2].

Цель кинематической операции заключается в создании сложной поверхности детали, являющейся результатом вычитания формообразующего тела из исходного тела-заготовки путём его движения по траектории.

Как пример можно привести детали типа «цилиндрический кулачок» (от англ. «cylindrical cam»). На рис. 1 изображён общий вид такого узла. Данный канал формируется как вырез телом ролика по траектории, которую он проходит.

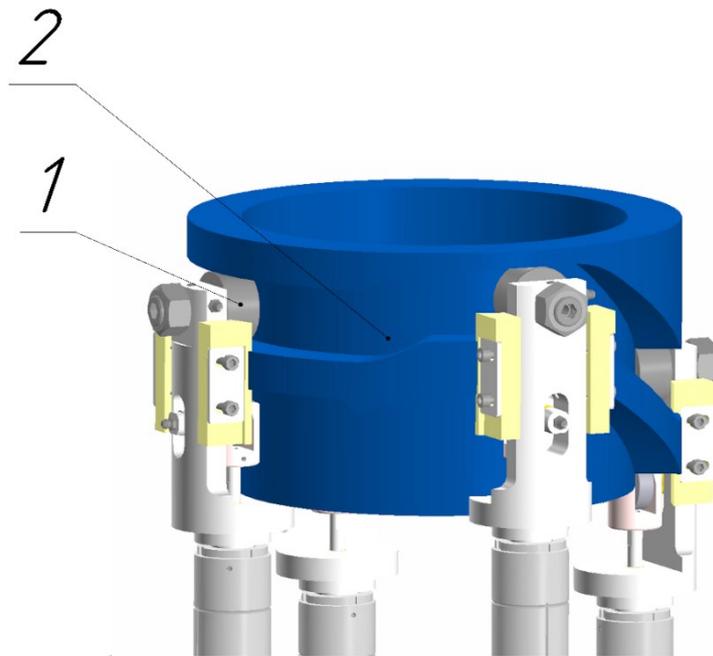


Рис. 1. Эскиз узла «цилиндрический кулачок»: 1 – ролик; 2 – канал цилиндра

На рис. 2 показано, что детали с подобной геометрией уже применялись на артиллерийских установках XX в.



Рис. 2. Элемент типа «цилиндрический кулачок» на артиллерийской установке

Ещё одним интересным примером деталей, формируемых при помощи кинематической операции, являются делительные шнеки (в англоязычной версии – Feed Screw) (рис. 3). Эти изделия применяются в конвейерных линиях (преимущественно в пищевой и фармацевтической промышленности) для того, чтобы упростить их конструкцию. Благодаря им, можно значительно уменьшить число подвижных частей, значительно упростить кинематику и увеличить эффективность конвейера.

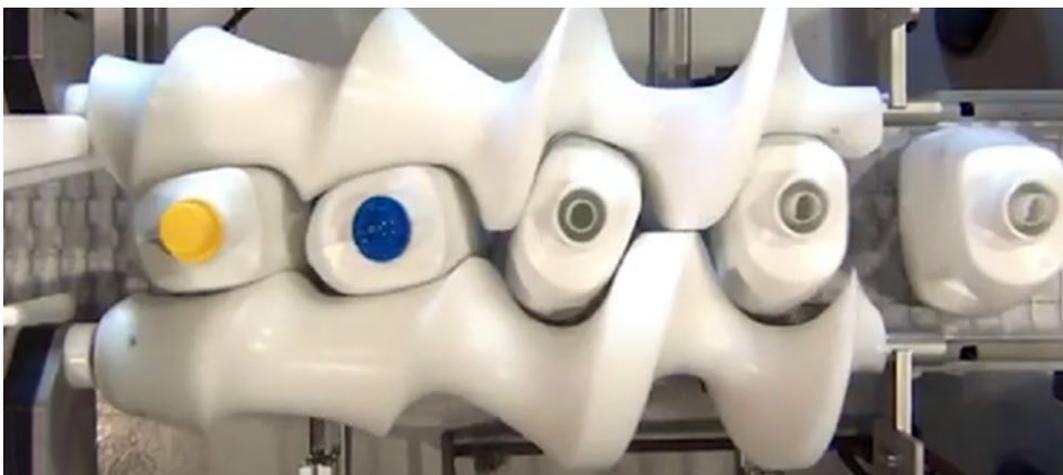


Рис. 3. Делительный шнек поворачивает бутылку на 90°

Шнеки могут быть различной формы и выполнять широкий спектр задач:

- ускорять или замедлять конвейерную линию;
- перемещать предмет с нужным шагом;
- поворачивать (ориентировать) предмет на любые углы (рис. 4 и 5);
- создавать группы для упаковки (рис. 5);
- комбинировать предметы (рис. 6);
- и мн. др.

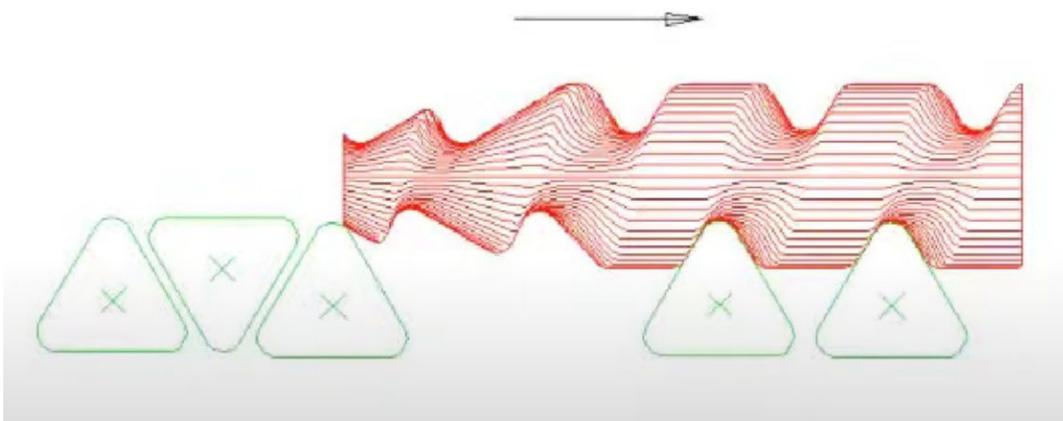


Рис. 4. Ориентирование предметов с треугольным сечением

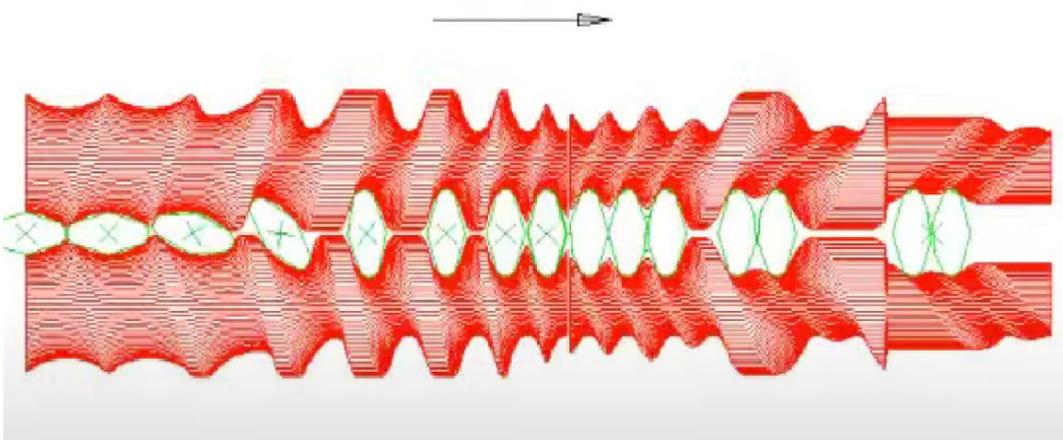


Рис. 5. Поворот и группировка предметов

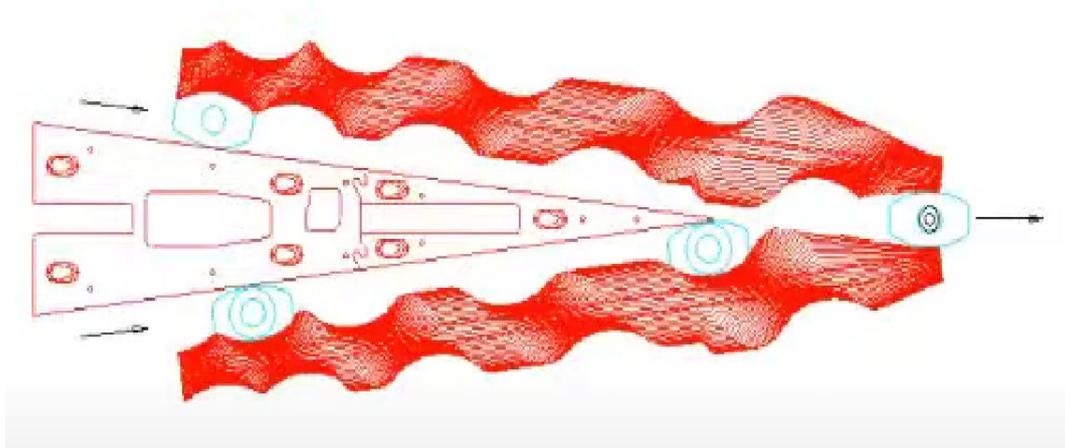


Рис. 6. Комбинирование предметов

Проблема создания выреза телом по траектории

Создание кинематической операции геометрического моделирования в САПР программах реализуется командой «вырез телом по траектории» [3]. Однако, как показывает практика, базовый инструмент моделирования не выполняет свои функции так, как ему предписано. Эта команда позволяет формировать поверхности, полученные простой кинематической операцией (например: направляющая линия – плоская кривая) и в небольшом количестве частных случаев, но остальные сложные кинематические операции ей не даются.

На рис. 7 показаны исходные данные для команды моделирования, а на рис. 8 показана созданная деталь в программе КОМПАС-3D v23. Даже без подробного рассмотрения видно, что полученная модель является ошибочной.

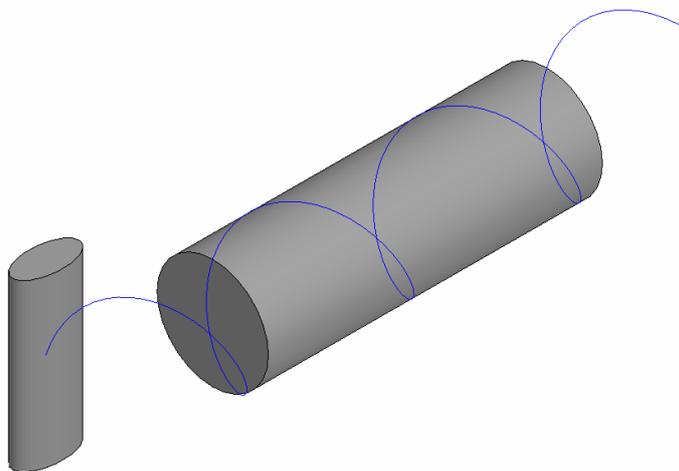


Рис. 7. Исходные данные для команды «Вырезать по траектории»

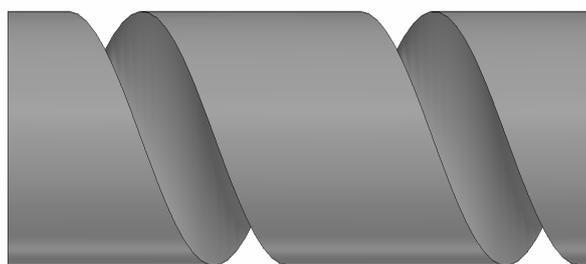


Рис. 8. Полученная в КОМПАС-3D v23 модель делительного шнека

Также можно привести в пример весьма востребованный САПР – SolidWorks. Здесь тоже можно получить кинематическую операцию через команду «Вырез по траектории». Однако, как показано на рис. 9, она имеет существенные ограничения, так как телом-инструментом может служить только тело вращения. В связи с этим, данное программное обеспечение не может быть в полной мере использовано для моделирования кинематических операций.

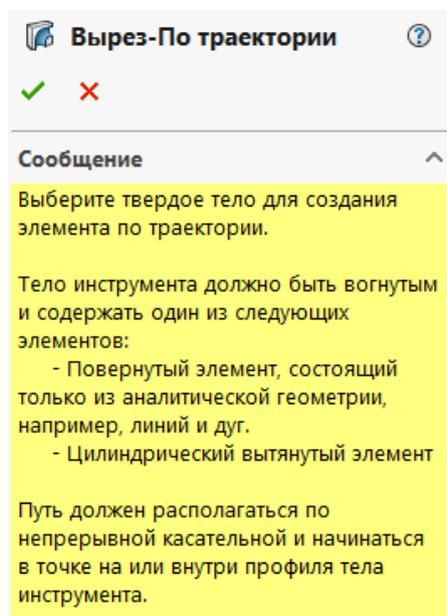


Рис. 9. Ограничения «Выреза по траектории» в SolidWorks

На текущий момент возможность выреза телом по траектории наиболее полно реализована в программе Autodesk Inventor. Функция была добавлена в версии 2020 и даже позволяет добавлять некоторое вращение по мере прохода формообразующего тела по траектории. На рис. 10 показан пример модели делительного шнека, созданного по тем же данным, что и для КОМПАС-3D v23 на рис. 7.

В данном случае модель получается верной. Сравнив её с моделью из программы КОМПАС (рис. 8), можно отчетливо увидеть различия возможностей в моделировании для разных программных обеспечений.

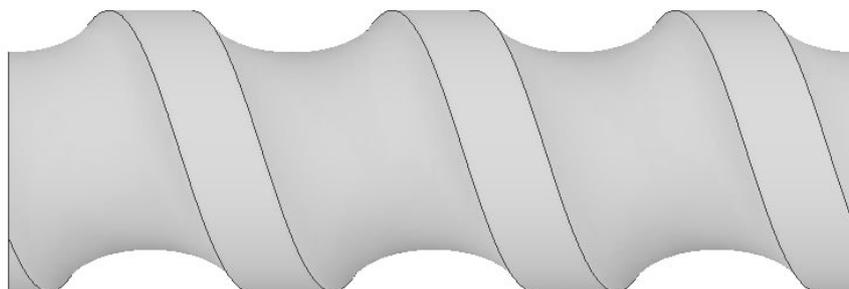


Рис. 10. Полученная в Autodesk Inventor модель делительного шнека

Хоть Autodesk Inventor справился с поставленной задачей, создание более сложных конфигураций (в особенности связанных с вращением и группировкой предметов) будет весьма затруднительно или невозможно.

Зарубежный опыт реализации сложных кинематических операций геометрического моделирования

Решение некоторых из проблем моделирования кинематических операций были решены несколькими коммерческими организациями. В основном это дополнения к существующим САПР программам и независимо разработанное программное обеспечение.

Как пример можно привести американскую фирму MECAD Systems, официальный дистрибьютер программы SolidWorks, разработавший для него дополнение «MECAD Feed Screw Add-in» (рис. 11), позволяющее генерировать модели делительных шнеков.

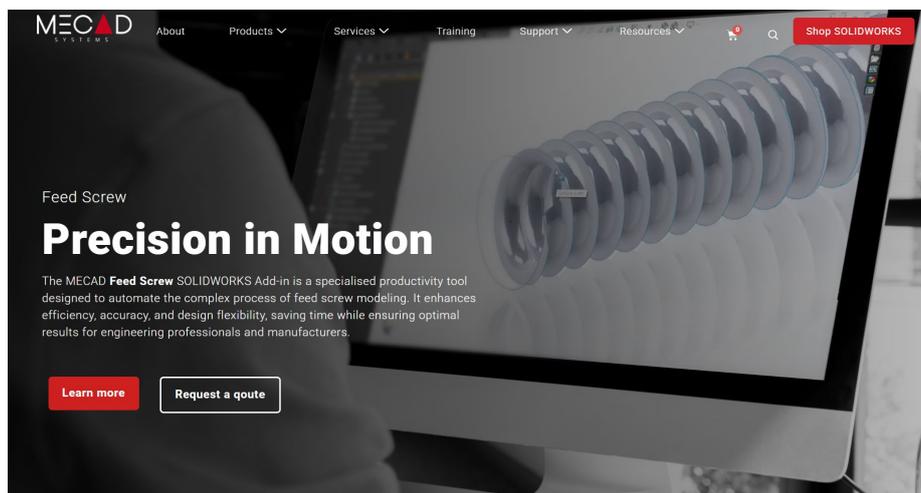


Рис. 11. Сайт компании MECAD Systems

Тем не менее, существующие предложения весьма узконаправлены. К примеру, для дополнения от фирмы MECAD Systems всё ограничивается делительными шнеками. Кроме того, нет гарантии, что такое дополнение сможет реализовать более сложные кинематические схемы для тех же шнеков.

Заключение

По результатам проделанного исследования, можно сделать вывод, что проблема создания кинематической операции геометрического моделирования является актуальной задачей, не имеющей доступного и полного решения среди предлагаемых рынком систем автоматизированного проектирования или дополнений к ним.

Кроме того, актуальной является задача создания программного обеспечения (на базе существующих САПР или независимо от них), которое бы позволило создавать любые кинематические операции без ограничений.

Литература

1. Баянов Е.В. Разработка программного обеспечения цифрового проектирования индивидуализированных имплантатов / Е.В. Баянов, А.М. Гриф, В.В. Рустамян // Геометрия и графика. – 2024. – Т. 12, № 2. – С. 3-12. – DOI 10.12737/2308-4898-2024-12-3-3-12. – EDN GGSMRT.
2. Бойков А.А. Инженерная геометрия как фундаментальное ядро инженерной подготовки специалистов / А.А. Бойков, Н.С. Кадыкова // Геометрия и графика. – 2024. – Т. 12, № 4. – С. 15-37. – DOI 10.12737/2308-4898-2024-12-4-15-37. – EDN XRNPRK.
3. Дружинский И.А. Сложные поверхности: Математическое описание и технологическое обеспечение: Справочник. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 263 с., ил.
4. Климентьев А.Л. Дискретное моделирование формообразования фасонных деталей / А.Л. Климентьев, Д.Н. Свирский // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2006. – № 11. – С. 74-78. – EDN YKQDAL.

5. Ляшков А.А. Компьютерные технологии при формообразовании поверхностей деталей / А.А. Ляшков // Омский научный вестник. – 2011. – № 3(103). – С. 10-13. – EDN OPFIWZ.
6. Леон К.С. Анализ современного состояния в области управления качеством конструкторско-технологической подготовки цифровых производств / К.С. Леон, К.И. Порсев // Омский научный вестник. – 2025. – № 2(194). – С. 49-54. – DOI 10.25206/1813-8225-2025-194-49-54. – EDN NYJMIK.
7. Моделирование формообразования сложных поверхностей деталей / А.А. Ляшков, Ю.Н. Вивденко, А.Н. Шутов, С.А. Балановский // Металлообработка. – 2010. – № 4(58). – С. 36-42. – EDN MTXNLB.
8. Палий Н.В. Системный подход к обучению студентов возможностям современных систем автоматизированного проектирования / Н.В. Палий // Геометрия и графика. – 2023. – Т. 11, № 4. – С. 52-60. – DOI 10.12737/2308-4898-2024-11-4-52-60. – EDN CCSXLF.