

Машиностроение Mechanical engineering

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.7

doi: 10.30987/2782-5957-2026-7-4-17

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Егор Вадимович Евдокимов¹, Дмитрий Сергеевич Макашин^{2✉}, Михаил Федорович Капустьян³

^{1,2} Омский государственный технический университет, Омск, Россия

^{2,3} Омский государственный университет путей сообщения, Омск, Россия

¹ Sd.ds2003@mail.ru

² dima.makashin@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8297-5551>

³ mcap731@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5863-8838>

Аннотация

Работа посвящена исследованию методов и практическому применению параметризации для создания конструкторской документации в САД-системах. Детально описаны принципы построения ассоциативных связей между геометрией деталей и конструкторской документацией. Описан процесс внедрения, который включает в себя создание стандартизированных шаблонов при работе с разными видами деталей. На примерах показано, что реализация предложенного подхода позволяет сократить время на выпуск конструкторской документации до 90%, а также гарантировать 100% синхронизацию данных конструкции деталей на

всех этапах проекта. Предложенный метод позволяет обеспечить сквозную прослеживаемость при изменении продукции. Практическая значимость работы подтверждается примерами внедрения в САД системе КОМПАС-3D. Результаты исследования показали, что параметризация является важным шагом в САД-системах, переводя разработку конструкторской документации в автоматизированный режим управления параметрами разрабатываемой детали.

Ключевые слова: параметризация, САД-системы, документация, проектирование, управление, данные, макросы, стандартизация.

Ссылка для цитирования:

Евдокимов Е.В. Использование параметризации для повышения эффективности разработки технической документации в машиностроении / Е.В. Евдокимов, Д.С. Макашин, М.Ф. Капустьян // Транспортное машиностроение. – 2026. – № 7. – С. 4-17. doi: 10.30987/2782-5957-2026-7-4-17.

Original article

Open Access Article

USING PARAMETERIZATION TO ENHANCE THE EFFICIENCY OF DEVELOPING TECHNICAL DOCUMENTS IN MACHINE BUILDING

Egor Vadimovich Evdokimov¹, Dmitry Sergeevich Makashin^{2✉}, Mikhail Fedorovich Kapustyan³

^{1,2} Omsk State Technical University, Omsk, Russia

^{2,3} Omsk State Transport University, Omsk, Russia

¹ Sd.ds2003@mail.ru

² dima.makashin@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8297-5551>

³ mcap731@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5863-8838>

Abstract

The paper is devoted to the study of methods and practical application of parameterization for developing design documents in CAD systems. The principles of building associative links between the geometry of parts and design documentation are described in detail. The implementation process is described, which includes the development of standardized templates when working with different types of parts. The examples show that the implementation of the proposed approach makes it possible to reduce the time for the release of design documents by up to 90%, as well as to guarantee 100% synchronization of the design data of

parts at all stages of the project. The proposed method allows for end-to-end traceability when products change. The practical significance of the paper is confirmed by examples of implementing COMPASS-3D in CAD system. The results of the study show that parameterization is an important step in CAD systems, transferring the development of design documentation into an automated control mode for the parameters of the part being developed.

Keywords: parameterization, CAD systems, documentation, design, management, data, macros, standardization.

Reference for citing:

Evdokimov EV, Makashin DS, Kapustyan MF. Using parameterization to enhance the efficiency of developing technical documents in mechanical engineering. Transport Engineering. 2026;7:4-17. doi: 10.30987/2782-5957-2026-7-4-17.

Введение

В условиях растущей сложности инженерных изделий и сокращения жизненных циклов продукции, ключевым фактором конкурентоспособности становится скорость и качество разработки. Ключевое место в этом процессе занимает создание точной, полной и согласованной конструкторской документации, в которую входят чертежи, спецификации, руководство по эксплуатации изделия. Традиционный подход, основанный на ручном изменении каждого документа конструкторской документации при внесении изменений в конструкцию изделия, является трудоемким [1, 2].

На этом фоне параметризация в системах компьютерного проектирования (CAD) выходит за рамки простого инструмента трехмерного и двухмерного проектирования, становясь основой для автоматизации при создании и управлении технической документацией [3]. Параметрическое проектирование, при котором гео-

метрия модели управляется набором переменных (параметров) и правил, позволяет автоматически синхронизировать изменения конструкции детали во всех связанных документах [4]. Это не только устраняет противоречия между чертежом и моделью, но и создает основу для автоматизированной генерации отчетов, спецификаций и даже инструкций на основе «цифрового двойника» изделия [5, 6].

Статья посвящена исследованию методов практического применения параметризации для создания технической документации в CAD-системах. В работе рассмотрены ключевые принципы построения параметрических моделей, методы связывания чертежных видов, размеров, а также преимущества представленного подхода с точки зрения снижения трудозатрат, минимизации ошибок и обеспечения сквозной прослеживаемости изменений на всех этапах жизненного цикла изделия.

Эволюция автоматизации в промышленности

Во время первой промышленной революции, в начале XIX века, такие инновации, как паровой двигатель и переход от ручного труда к механизированному производству, имели огромное значение. Эти устройства работают по заранее заданным программам, используя автоматические системы контроля и обратной связи для точного следования инструкциям [7].

Позже, в середине XX века, в 1960-х годах, внедрение систем автоматизирован-

ного проектирования (САПР/CAD) и компьютерного управления производством (CAM) позволило инженерам напрямую преобразовывать проектные решения в автоматизированные производственные инструкции. Затем последовала интеграция ПЛК (программируемых логических контроллеров), которая позволила осуществлять управление производством в реальном времени, а последующее развитие робототехники и ГПС (гибких производ-

ственных систем) в 1980–1990-х годах вывело автоматизацию на уровень решения нетривиальных задач, требующих адаптации к изменяющимся условиям [8, 9].

К началу 2010-х автоматизация пережила радикальную трансформацию благодаря концепции Индустрия 4.0 (четвёртая промышленная революция) [10]. Интеграция киберфизических систем, интернета вещей и искусственного интеллекта стёрла границы между физическими объектами и цифровыми моделями: датчики в

реальном времени собирали операционные данные, цифровые двойники воспроизводили производственные процессы в виртуальной среде, а алгоритмы машинного обучения оптимизировали энергозатраты и предотвращали сбои [11, 12]. Ярким воплощением этой модели, стали заводы *Bosch*, где оборудование динамически подстраивается под производственные условия, а гибкие системы (ГПС) перенастраиваются для выпуска разных изделий без простоя [13].

Перспективы развития искусственного интеллекта в САД-системах

Современные системы автоматизированного проектирования постепенно превращаются в интеллектуальные инструменты, берущие на себя выполнение рутинных задач. На практике искусственный интеллект (ИИ) уже применяется для анализа чертежей и цифровых моделей. Например, в *Autodesk Construction Cloud* достаточно задать образец условного обозначения, чтобы алгоритм автоматически обнаружил и подсчитал все аналогичные элементы на чертеже, экономя специалистам значительное время. В системе *BricsCAD BIM* инструмент *BIMIFY* на основе машинного обучения автоматически классифицирует 3D-объекты, упрощая работу с моделью [14, 15].

Ещё одним примером является сервис *CoLab AutoReview*, который использует ИИ для автоматической разметки и аннотирования моделей. Алгоритм этого программного обеспечения анализирует 3D-

модели и конструкторскую документацию, выявляя несоответствия в материалах, дублирование размеров или ошибки в оформлении. Это позволяет обнаружить потенциальные проблемы в конструкции на ранних этапах, включая даже незначительные отклонения [16].

Параллельно встроенные инструменты САПР автоматически рассчитывают характеристики моделей. Большинство BIM-систем способны мгновенно формировать спецификации и ведомости материалов [17]. Этот процесс исключает необходимость ручных расчётов. В классическом *AutoCAD* есть функция автоматического подсчёта блоков. Она позволяет сократить трудоёмкость подготовительных операций изготовления деталей [18]. При решении сложных инженерных задач, связанных с выбором материалов и оптимизацией форм, ИИ предлагает готовые варианты на основе анализа больших данных [19, 20].

Системы автоматизации и интеграция CAD API

В рамках исследования были разработаны и внедрены ряд методов для решения проблем неэффективного проектирования технической документации и использованием САД системы автоматического проектирования *Kompas-3D v.21* и дополнительных библиотек КОМПАС-Макро. Основной целью исследования является автоматизация ключевых аспектов рабочего процесса, при изготовлении стандартной продукции, проектирования заготовок, создания сложных изделий, требующих одновременного соблюдения множества геометрических правил и огра-

ничений. Этот метод позволяет безошибочно проектировать даже самые сложные конструкции, облегчает процесс документирования, сокращения ручную нагрузки и минимизируя вероятности человеческих ошибок. Хотя прикладные программные интерфейсы (*API*) в САД-системах предлагают значительный потенциал для автоматизации, их эффективное внедрение часто сопряжено с определёнными трудностями, такими как необходимость наличия навыков программирования и постоянного обслуживания системы. Тем не менее, эти ограничения перевешиваются существен-

ными преимуществами автоматизации на основе, особенно в части сокращения ручного ввода данных и возможности для ин-

женеров сосредоточиться на задачах, требующих особо пристального внимания.

Основы параметрического черчения в CAD-системах

Основой любого способа автоматизированного построения в CAD-системах является наложение ограничений на объекты. Эти ограничения, или связи, определяют не только положение и форму элементов относительно друг друга, но и логику их поведения при любых изменениях модели. Они превращают статичную геометрию в «умную» систему, которая меняется при внесении правок, предсказуемо и корректно.

Упрощённо, это можно представить как набор правил, в которых задаются:

- геометрические ограничения (например, параллельность, перпендикулярность, совпадение точек и др.) фикси-

руют взаимное расположение линий, окружностей и других объектов (рис. 1);

- размерные ограничения (линейные, угловые, диаметральные) управляют числовыми параметрами объектов, определяя их точные габариты и пропорции (рис. 2);

- параметрические связи связывают размеры между собой формулами, позволяя, изменив одно число, управлять целой группой размеров. Так же возможно присваивать каждому размеру свою буквенную переменную, в последствии, изменение значения которой приводит к изменениям значения размера. Например, диаметр отверстия можно задать как половину ширины детали (рис. 3).

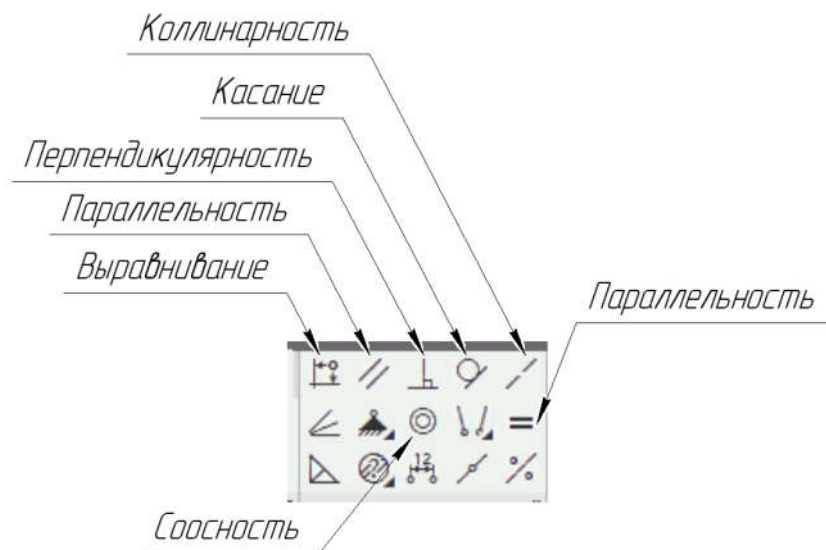


Рис. 1. Геометрические ограничения
Fig. 1. Geometric constraints

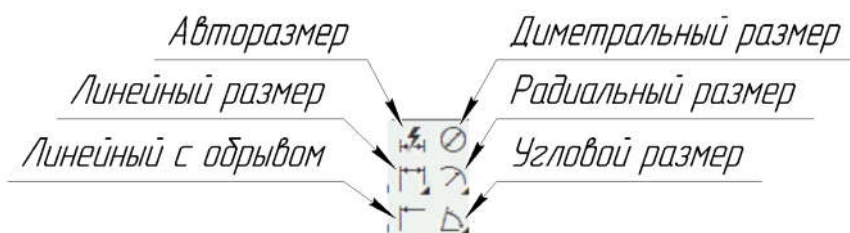


Рис. 2. Размерные ограничения
Fig. 2. Size restrictions

	Имя	Выражение	Комментарий
▼ ГОСТ 33259-2015			
➤	Zakaz	0	
	ISP	1	B
	T	0	
	M_rasch	0	
➤	hHIT14	0	ударным способом
	Uklon	0	12,5
➤	n	4	
➤	DN	50	ГОСТ 33259-2015
➤	PN	16	ЗНГС.Флан.33259.
➤	Dm	76	.
➤	Dn	58	

Рис. 3. Параметрические связи
Fig. 3. Parametric relationships

Предельные отклонения при параметрическом черчении

В зависимости от особенностей применения изготавливаемых изделий, предельные отклонения играют ключевую роль в обеспечении собираемости конструкций. При сборке, фактические размеры деталей с учетом предельных отклонений могут существенно повлиять на возможность правильной сборки. Например, если толщина фланца превышает допустимое значение (например, предельное отклонение +5 мм для большого фланца), то для меньшего фланца такое отклонение может оказаться недопустимым. В этом случае толщина разрабатываемого фланца будет слишком большой. Это приведет к увеличению суммарной толщины двух фланцев и зазора, что превышает расчетное значение и нужно будет заменить шпильки на более длинные или использовать гайки меньшей высоты.

Особенно это критично при расчете предельных отклонений при проектировании чертежей, где есть посадочные размеры. Например, требуется посадка с шестым качеством точности, а деталь изготовлена по чертежу с восьмым или десятым качеством, то посадка будет неправильной, а сборка станет невозможной. При изменении размеров деталей, необходимо одновременно корректировать и предельные отклонения, чтобы обеспечить

соответствие требованиям по точности и собираемости конструкции. Несоблюдение этих условий может привести к невозможности сборки или снижению надежности конструкции.

В системе автоматического проектирования КОМПАС-3D есть возможность создания предельных отклонений для каждой переменной, которая непосредственно управляет размером на чертеже. Задание этой переменной реализуется двумя способами: вручную, вводя конкретные значения, или с помощью формул. Формулы в этом случае автоматически рассчитывают предельные отклонения в зависимости от значения этой переменной.

Использование формул позволяет сделать процесс проектирования более гибким и удобным. Если значение переменной увеличивается, то и предельные отклонения автоматически увеличиваются, а если значение уменьшается, то и предельные отклонения в этом случае уменьшаются. Задание переменной исключает необходимость ручного внесения изменений в значение и снижает риск появления ошибок, которые могут возникнуть при изменении размеров детали конструктором вручную.

Формулы в КОМПАС-3D пишутся с использованием собственной лексики и

синтаксиса. Эти формулы специально разработаны для этой системы. Использование формул позволяет более точно и эффективно описывать зависимости между переменными и предельными отклонениями, что делает процесс проектирования конструкторской документации более удобным и интуитивно понятным (рис. 4).

В результате такой подход значительно ускоряет процесс проектирования и значительно снижает шанс совершения ошибки, что особенно важно при работе со сложными деталями с большим количеством размеров, время на перепроверку которых, может приближаться, либо превышать время на разработку всего чертежа.

▼ ЧЕРТЕЖ (1:1)			
D1_raz		125	125
▼ D2_raz		ISP==2 ISP==4?87:102	102
D2_raz_...	ISP==2 ISP==4?0:(ISP==7?(D9<=3?600:(D9<=6?750:(D9<=10?900:(D9<=18?1100:(D9<=30?130...		4
D2_raz_El	-(ISP==2 ISP==4?(D4<=3?100:(D4<=6?120:(D4<=10?150:(D4<=18?180:(D4<=30?210:(D4<=50?...		-4

Рис. 4. Пример написания формул
Fig. 4. Example of writing formulas

Распределение элементов на чертеже между слоями и видами

Один из ключевых методов для построения параметрических чертежей является распределение информации по слоям и видам. Этот способ очень эффективен, когда в зависимости от определённых параметров детали, изменяются параметры её конструкции, в качестве примера можно привести изменение формы кромки, в зависимости от толщины стенки фланца. Распределение между слоями и видами, позволяет не продёлывать многократно одну и ту же работу, построив несколько

видов кромок и распределив их по разным слоям, мы можем скрывать и открывать их по мере необходимости.
При построении чертежей в параметрическом режиме зачастую остаются линии размеры и элементы, которые перегружают чертёж и несут информационную, либо же вспомогательную функцию при построении, их также можно скрыть на одном из слоёв, пример распределения элементов по слоям представлен на рис. 5.

👁	🔒	3	▼ Кромка (4:1)
			▼ Слои (x6)
👁	🔒	0	● Системный слой
👁	🔒	1	▬ Размер стенки
👁	🔒	2	▬ Под трубу
👁	🔒	3	▬ C56
👁	🔒	4	▬ Скрытое
👁	🔒	5	▬ Толщина*

Рис. 5. Распределения элементов по слоям
Fig. 5. Distribution of elements into layers

Способы построения параметрических чертежей при проектировании стандартной продукции

Существуют три основных способа построения параметрических чертежей.

1. Создание перестраиваемых чертежей в масштабе с использованием таблицы переменных.

2. Создание не перестраиваемых чертежей с использованием таблицы переменных.

3. Создание не перестраиваемых чертежей с использованием макроса, написанного на языке *Python*.

Создание перестраиваемых чертежей в масштабе с использованием таблицы переменных

Первый способ построения параметрических чертежей через создание чертежей в масштабе с использованием таблицы переменных. В этом случае создается геометрически правильная модель с использованием параметрического черчения и

накладываются на каждую линию ограничения, чтобы при дальнейшем перестроении модель не «сломалась», после расставляются все предельные отклонения на размеры, пример такой модели представлен на рис. 6.

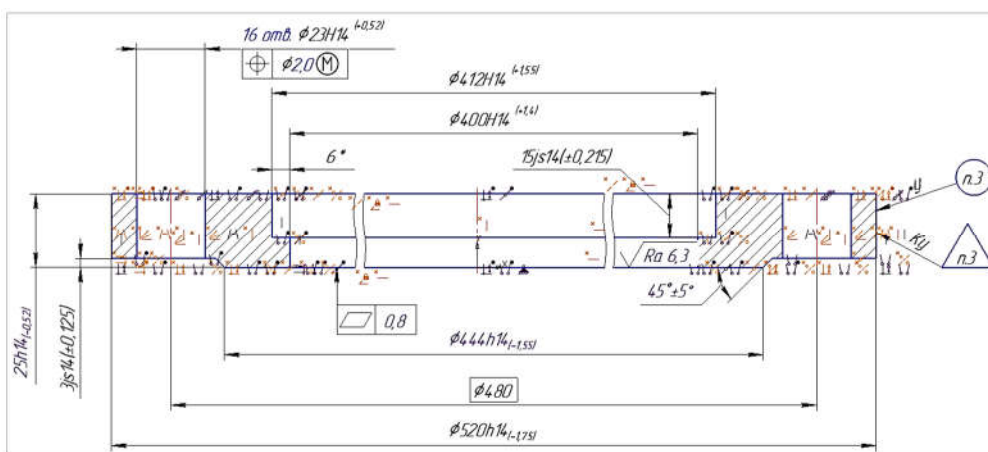


Рис. 6. Расстановка предельных отклонений на размеры
Fig. 6. Allocation of maximum deviations to dimensions

Далее присваиваются каждому размеру переменную, которая будет управлять размером, при этом сохраняя все

наложенные на него ограничения и взаимосвязи, пример такой модели представлен на рис. 7.



Рис. 7. Задание имени переменной
Fig. 7. Setting a variable name

После присваивания, все переменные попадают в таблицу, из которой ими можно управлять, изменяя, как имя, так и численное значение переменной (рис. 8).

Затем создается таблица переменных в *Excel*, основанная на стандарте, к кото-

рому относится деталь или любом другом документе, который регламентирует размеры детали, предельные отклонения и другие параметры. Обязательным условием, является то, чтобы переменные в таблице переменных и переменные, которые

присвоили каждому размеру на детали, должны совпадать. Импорт таблицы в Компас 3D с переменными представлен на рис. 9.

Имя	Выражение	Значение	Параметр
Zakaz	0	0	
D	400	400	
PN	0.6	0.6	
lsp	1	1	
D1	520	520	
D2	480	480	
D3	444	444	
D4	452	452	
a	13.5	13.5	
D5	443	443	
a1	12	12	
c	6	6	

Рис. 8. Таблица с переменными чертежа

Fig. 8. Table with drawing variables

После выбора нужной строки из таблицы переменных каждой характеристике детали автоматически присваиваются соответствующие значения размеров. При этом деталь сохраняет все ранее установленные геометрические связи и предельные отклонения. Этот метод подходит для случаев, когда необходимо изготовления

детали для дальнейшей проработки технологом. Он позволяет проводить все необходимые замеры прямо на чертеже, учитывая масштаб детали.

Плюсы метода:

1. Точность при изготовлении чертежа: при перестроении из таблицы переменных деталь всегда получается в масштабе, что исключает разночтения при её изготовлении и чтении чертежа.

2. Простота применения этого метода достаточно проста в использовании при работе.

3. Для избежание ошибок при построении чертежей все предельные отклонения и размеры проставляются автоматическим способом.

Минусы метода:

1. При изменении масштаба в конструкторской документации при перестроении детали некоторые размеры необходимо масштабировать вручную, чтобы размерные линии не пересекали друг друга. Это увеличивает время на создания конструкторской документации.

2. Возникают ошибки, связанные с ручным масштабированием и подгонкой размеров, которые могут привести к ошибкам при расстановке размеров в соответствии с ЕСКД.

Комментарий	D	PN	D1	D2	D3	D4
400-0,6	400	0.6	520	480	444	452
400-1,0	400	1	535	495	458	468
400-1,6	400	1.6	535	495	458	468
450-0,6	450	0.6	570	530	494	504
450-1,0	450	1	590	550	514	524
450-1,6	450	1.6	590	550	514	524
500-0,6	500	0.6	620	580	544	554
500-1,0	500	1	640	600	564	574
500-1,6	500	1.6	640	600	564	574
550-0,6	550	0.6	670	630	594	604
550-1,0	550	1	690	650	614	624
550-1,6	550	1.6	690	650	614	624
600-0,3	600	0.3	720	680	644	654

Рис. 9. Таблица переменных

Fig. 9. Table of variables

Создание не перестраиваемых чертежей с использованием таблицы переменных

Второй способ построения параметрических чертежей с помощью создание не перестраиваемых чертежей с использованием таблицы переменных.

Этот метод очень схож с предыдущим, описанным нами выше, но имеет ряд корректив. Абсолютно также создаётся геометрически правильная модель с использованием параметрического черчения с наложением на каждую линию ограничения. Но в данном случае размеры фактической детали остаются неизменными, визуально меняются лишь размеры, указанные на размерных линиях. Это позволяет значительно упростить процесс из-

готовления типовой продукции, в том числе метизов, где визуально деталь не меняет свою форму.

При создании такого чертежа соблюдаются точно такие же принципы присваивания переменных и создания таблицы переменных, как описано в предыдущем методе. Исключением является способ присваивания переменных. Переменная присваивается в виде «текста», то есть фактически размер имеет одно значение, но присвоив ему ссылку на другое, он визуально изменится, пример данного способа представлен на рис. 10.

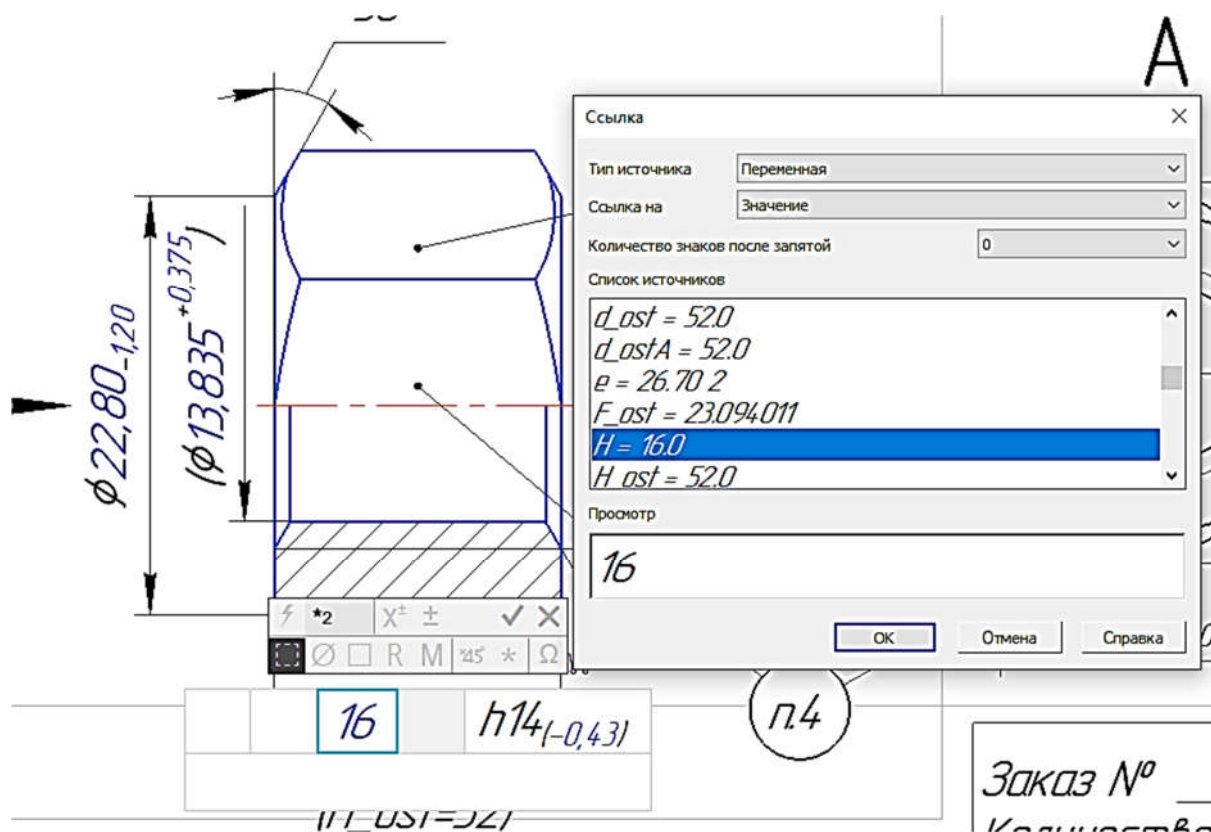


Рис. 10. Способ присваивания переменных

Fig. 10. Method of assigning variables

В итоге получается не перестраиваемый чертёж, в котором, размеры остаются прежними, изменяется только текст на размерных линиях, пример чертежа представлен на рис. 11. Этот метод подходит при изготовлении типовой продукции, которая при изменении своих геометрических размеров не меняет свою форму и пропорционально никак не изменяется. В

качестве примера такой продукции можно привести изготовление заготовок, поковок и различных метизов.

Плюсы метода:

- простота и удобство использования;
- отсутствие необходимости масштабировать деталь.

Минусы метода:

– необходимость ручного задания предельных отклонений для каждого размера, либо задания их формулами, что значительно усложняет создание данного вида чертежей;

– отсутствие возможности измерения фактических размеров детали, что усложняет работу технолога при составлении технологии изготовления и других видов документации.

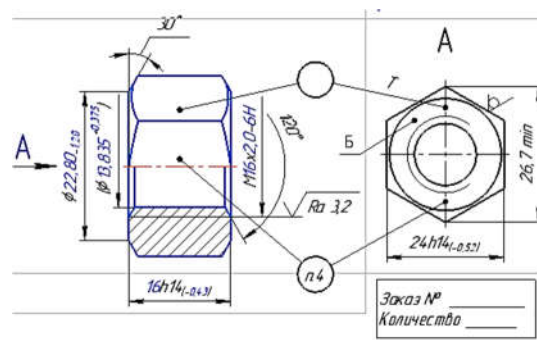


Рис. 11. Пример чертежа
Fig. 11. Example of a drawing

Создание не перестраиваемых чертежей с использованием макроса

Третий способ построения параметрических чертежей, использующий создание не перестраиваемых чертежей с применением макроса, написанного на языке *Python*.

Принципиальное отличие данного метода от других является использование макроса на языке *Python*, который позволяет управлять всеми переменными через программу, позволяет включать и отключать необходимые нам слои, на которых может располагаться разная информация. Подключение происходит через *API* Компас 3D с помощью специальных функций.

Результатом написания кода, является графический интерфейс, который взаимодействуя с *API* Компас 3D позволяет в зависимости от выбранных параметров, полностью автоматически подготавливать чертёж, учитывая все нюансы конкретного изделия, включая технические требования, особенности химического состава материала, предельные отклонения размеров и другие заложенные в него функции. Пример программы для построения чертежа фланцев по ГОСТ 33259-2015 представлен на рис. 12.

Помимо функции по построению геометрии фланца, в этой программе также реализована функция сохранения чертежа сразу в *PDF*-формате в указанное место, что позволяет очень быстро подготавливать чертежи и сразу отдавать в работу (рис. 13). В программе есть функция быстрого создания чертежа для «Предварительной механической обработки» в автоматическом режиме, после нажатия кнопки

«ПМО» в интерфейсе создания макроса (рис. 14).

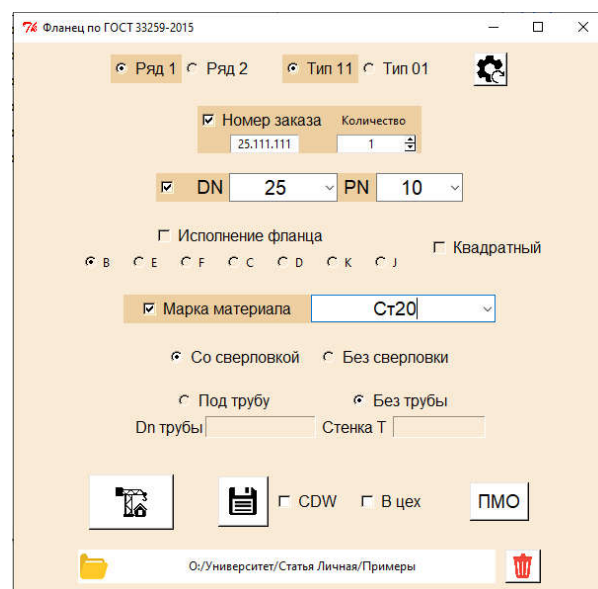


Рис. 12. Пример программы для построения чертежа фланцев

Fig. 12. An example of a program for constructing a flange drawing

Плюсы метода:

- простота использования;
- удобство применения;
- исключение шанса совершить ошибку;
- очень высокая скорость создания чертежей.

Минусы метода:

- высокая сложность разработки макроса;
- сложность внесения изменений;
- деталь не в масштабе.

ет качество, правильность создаваемой документации, поскольку большинство ошибок, которые раньше допускал человек, теперь исключены системой. Таким образом, вложения в создание параметрических

Выводы

В ходе проведенного исследования была подтверждена роль параметризации в современных CAD-системах как инструмента, кардинально преобразующего процесс создания и управления технической документацией. Параметрическое моделирование, которое основано на использовании переменных, формул и ассоциативных связей, позволило автоматизировать однообразные операции при разработке конструкторской документации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Иванов И. И. Введение в CAD/CAM/CAE системы. М.: ДМК Пресс, 2023. 320 с.
2. Серов А. И., Касумова, Г. А. Проблемы использования CAD-систем в области проектирования // Научная жизнь. 2025. Т. 20, № 1(139). С. 271-277. DOI 10.35679/1991-9476-2025-20-1-271-277. EDN ILKFYE.
3. Pandya B. Using cad systems for automating the design and prototyping process // The American Journal of Engineering and Technology. 2025. Vol. 7, No. 2. P. 6-11. DOI 10.37547/tajet/volume07issue02-02. EDN FXJIYY.
4. Булавина Е. В., Павлов И. Н., Булавин, В. Ф. CAE/CAM-автоматизация технологической подготовки производства // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2025. Т. 68, № 5. С. 438-449. DOI 10.17586/0021-3454-2025-68-5-438-449. EDN SWWAAF.
5. Белякова Г. Я., Аврамчиков В. М. Специфика и особенности цифровой трансформации авиаотрасли // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2024. № 68. С. 273-292. DOI 10.17223/19988648/68/14. EDN CJSWEY.
6. Цифровизация машиностроительного производства: технологическая подготовка производства / О. П. Коржова, Д. С. Макашин, П. Е. Попов, И. Е. Доноага // Инициативы молодых – науке и производству. Пенза, 2023. С. 252-255. EDN TDENAD.
7. Autodesk Construction Cloud [Электронный ресурс]. URL: <https://construction.autodesk.com/> (дата обращения: 20.01.2026).
8. BricsCAD BIM [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bricsys.com/en/intl/bim/> (дата обращения: 20.01.2026).
9. CoLab AutoReview [Электронный ресурс]. URL: <https://colabsoftware.com/autoreview/> (дата обращения: 20.01.2026).
10. АСКОН. Официальный сайт [Электронный ресурс]. URL: <https://ascon.ru/> (дата обращения: 20.01.2026).
11. Eid N. Kh. A Review on the Power of CAD/CAM Technology and the Material Science in Modern Manufacturing // ERU Research Journal. 2025. Vol. 4, No. 1. P. 2223-2250. DOI 10.21608/erurj.2025.299610.1167. EDN WWNSRV.
12. АСКОН. КОМПАС-3D. Версия 21. Руководство пользователя. – СПб.: АСКОН, 2023. (заменяет общую ссылку [10] на конкретный документ)
13. Athanasiadis I. et al. Implementing CAD API Automated Processes in Engineering Design: A Case Study Approach // Applied Sciences. 2025. Vol. 15, iss. 14. Art. no. 7692. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/14/7692>
14. Ульянова Н. Д., Лямзин А. А., Феськов С. А. Трехмерное моделирование и компьютерный анализ деталей металлорежущих станков // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 2(102). С. 61-67. EDN YNRWPT.
15. Ульянова Н. Д., Танасогло Д. В. Обзор программных продуктов 3D-моделирования // Инновационное развитие предпринимательской деятельности региона. Брянск, 2021. С. 37-43. EDN PLJQQH.
16. Немировский К. А. Реверс-инжиниринг импортных деталей и узлов в современном машиностроении // Научному прогрессу – творчество молодых. 2024. № 1. С. 203-205. EDN JPOKQV.
17. Дюков М. О., Амирханян А. Г., Амирханян Л. Г. Дизайн-концепция субтрактивного устройства для изготовления макетов по цифровым моде-

шаблонов и макросов быстро окупаются за счёт экономии времени конструкторов и значительного снижения рисков, связанных с ошибками в документации на этапах производства и сборки.

Предложенные методы построения параметрических чертежей деталей, основанные на использовании таблиц переменных и макросов на Python, показали широкие возможности для адаптации процесса разработки конструкторской документации. Каждый из методов имеет свои преимущества и ограничения, что позволяет выбирать конструктором подход проектирования в зависимости от типа деталей и требований.

лям // Дизайн и технологии. 2024. № 102(144). С. 104-111. EDN OSTVDU.

18. Корягина О. М., Горячкина А. Ю., Горюнова И. А. Создание групповых чертежей для однотипных изделий в среде программы Autodesk Inventor // Главный механик. 2023. № 7. С. 424-436. DOI 10.33920/pro-2-2307-06. EDN XGNHHG.
19. Разработка программного модуля для автоматизированного проектирования 3D-модели... / А.

REFERENCES

1. Ivanov II. Introduction to CAD/CAM/CAE systems. Moscow: DMK Press; 2023.
2. Serov AI, Kasumova GA. Problems of using CAD systems in the field of design. Nauchnaya Zhizn (Scientific life). 2025;20(1(139)):271-277. DOI 10.35679/1991-9476-2025-20-1-271-277.
3. Pandya B. Using cad systems for automating the design and prototyping process. The American Journal of Engineering and Technology. 2025;7(2):6-11. DOI 10.37547/tajet/volume07issue02-02.
4. Bulavina EV, Pavlov IN, Bulavin VF. CAE/CAM-automation of technological production preparation. Journal of Instrument Engineering. 2025;68(5):438-449. DOI 10.17586/0021-3454-2025-68-5-438-449.
5. Belyakova GYa, Avramchikov VM. Specifics and features of digital transformation of aviation industry. Tomsk State University Journal. Economics. 2024;68:273-292. DOI 10.17223/19988648/68/14.
6. Korzhova OP, Makashin DS, Popov PE, Donoaga IE. Digitalization of machine-building production: technological preparation of production. Initiatives of the Young to Science and Production. Penza; 2023.
7. Autodesk Construction Cloud [Internet]. [cited 2026 Jan 20]. Available from: <https://construction.autodesk.com/>
8. BricsCAD BIM [Internet]. [cited 2026 Jan 20]. Available from: <https://www.bricsys.com/en/intl/bim/>
9. CoLab AutoReview [Internet]. [cited 2026 Jan 20]. Available from: <https://colabsoftware.com/autoreview/>
10. АСКОН. [Internet]. [cited 2026 Jan 20]. Available from: <https://ascon.ru/>
11. Eid NKh. A Review on the Power of CAD/CAM Technology and the Material Science in Modern Manufacturing. ERU Research Journal. 2025;4(1):2223-2250. DOI 10.21608/erurj.2025.299610.1167.

Информация об авторах:

Евдокимов Егор Вадимович – студент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Машиностроительного факультета Омского государственного технического университета, тел.: 8–908–101–37–74.

Р. Сайдуганов [и др.] // Молодежный вестник УГАТУ. 2024. № 1(30). С. 94-99. EDN GIYQEJ.

20. Макашин Д. С. Структурно-функциональная модель планирования процесса изготовления топливно-регулирующей аппаратуры // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2025. № 6. С. 1-9. DOI 10.25791/pribor.6.2025.1587. EDN IZJSDO.
12. ASCON. COMPASS-3D. User's Guide [Internet]. St. Petersburg: ASCON Publ; 2023.
13. Athanasiadis I. Implementing CAD API Automated Processes in Engineering Design: A Case Study Approach. Applied Sciences. 2025;15(14):7692. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/14/7692>
14. Ulyanova ND, Lyamzin AA, Feskov SA. Three-dimensional modeling and computer analysis of machine tool parts. Scientific Journal of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Bryansk State Agrarian University". 2024;2(102):61-67.
15. Ulyanova ND, Tanasoglo DV. Review of 3D modeling software products. Innovative development of entrepreneurial activity in the region. Bryansk; 2021.
16. Nemirovsky KA. Reverse engineering of imported parts and assemblies in modern machine building. Scientific progress – creativity of the young. 2024;1:203-205.
17. Dyukov MO, Amirkhanyan AG, Amirkhanyan LG. Design concept of a subtractive device for manufacturing layouts from digital models. Design and Technology. 2024;102(144):104-111.
18. Koryagina OM, Goryachkina AYU, Goryunova IA. Creating group drawings for the same type of products in the Autodesk Inventor program environment. Chief Mechanical Engineer. 2023;7:424-436. DOI 10.33920/pro-2-2307-06.
19. Saiduganov AR, Saiduganov SR, Khadiullin SKh, Chernikov PP, Bikmetov TA, Sazanov AA. Development software module for automated design of 3D-model based on integration with a database management system. Molodezhnyj Vestnik UGATU. 2024;1(30):94-99.
20. Makashin DS. Structural-functional model of planning the process of manufacturing of fuel regulating equipment. Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics. 2025;6:1-9. DOI 10.25791/pribor.6.2025.1587.

Макашин Дмитрий Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Омского государственного технического университета, доцент кафедры технологии транспортного машиностроения

и ремонта подвижного состава, Омский государственный университет путей сообщения, Институт наземных транспортных систем, ORCID 0000-0002-8297-5551, SPIN-код: 1763-1883, AuthorID (РИНЦ): 926848, AuthorID (SCOPUS): 57203642272, тел.: 8-950-793-67-63.

Капустьян Михаил Федорович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава, Омский государственный университет путей сообщения, Институт наземных транспортных систем, ORCID 0000-0002-5863-8838, AuthorID (РИНЦ): 337442, тел.: 8-904-583-43-55.

Evdokimov Egor Vadimovich – Student of the Department of Metal-cutting Machines and Tools at the Faculty of Mechanical Engineering of Omsk State Technical University), phone: 8-908-101-37-74.

Makashin Dmitry Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Metal-cutting Machines and Tools at Omsk State Technical University, Associate Professor of the Department of Technology of Transport Engineering and Repair of Rolling Stock, Omsk State Transport University, Institute of Ground Transport Systems, ORCID

0000-0002-8297-5551, SPIN-code: 1763-1883, AuthorID (RSCI): 926848, AuthorID (SCOPUS): 57203642272, phone: 8-950-793-67-63.

Kapustyan Mikhail Fedorovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport Engineering and Rolling Stock Repair, Omsk State University of Railways, Institute of Ground Transport Systems, ORCID 0000-0002-5863-8838, AuthorID (RSCI): 337442, phone: 8-904-583-43-55.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.

Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 06.03.2026; одобрена после рецензирования 03.06.2026; принята к публикации 26.06.2026. Рецензент – Польский Е.А., кандидат технических наук, доцент Брянского государственного технического университета.

The article was submitted to the editorial office on 06.03.2026; approved after review on 03.06.2026; accepted for publication on 26.06.2026. The reviewer is Polsky E.A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University.