

УДК 744

О ТРАНСФОРМАЦИИ РОЛИ КЛАССИЧЕСКОГО ЧЕРТЕЖА В ЭПОХУ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Буркова А.Э., студентка гр. ГМс-251, I курс,
Аксенова О.Ю., к.т.н., доцент, доцент кафедры СКВиВ
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

Аддитивные технологии (3D-печать) за последние десятилетия превратились из лабораторного эксперимента в полноценный промышленный инструмент. Возможность изготавливать деталь непосредственно по трёхмерной цифровой модели без традиционной оснастки, фрезерной обработки и литейных форм кардинально меняет логику производства. В этих условиях закономерно возникает вопрос: сохраняет ли свою ценность классический чертёж - двумерное изображение изделия со всеми размерами, допусками, техническими требованиями, выполненное по правилам ЕСКД? Если технология позволяет «вырастить» деталь прямо из файла, нужна ли бумажная документация? [1].

Сторонники полного отказа от чертежей указывают на сокращение времени выпуска изделия, исключение ошибок при интерпретации 2D-проекций, а также на возможность прямой передачи данных на 3D-принтер. Однако практика машиностроительных предприятий, авиастроения, медицинского приборостроения показывает, что тотальная замена чертежа трёхмерной моделью пока невозможна или нецелесообразна. Более того, во многих отраслях чертёж остаётся юридически обязательным документом, определяющим качество, взаимозаменяемость и безопасность изделия [2, 3].

В данной статье предпринята попытка системного анализа роли чертежа в условиях распространения 3D-печати. На основе опроса инженеров-конструкторов и анализа нормативной базы показано, что чертёж не утрачивает своей актуальности, но его форма и место в производственной цепочке трансформируются.

Актуальность темы обусловлена противоречием между стремительным внедрением аддитивных технологий в промышленности и сохранением традиционных требований к конструкторской документации. С одной стороны, современные предприятия активно инвестируют в парки 3D-принтеров, внедряют технологии «цифровых двойников» и стремятся сократить время вывода новых изделий на рынок. В этой логике чертёж воспринимается как пережиток, замедляющий процесс. С другой стороны, нормативная база (ГОСТы, отраслевые стандарты, системы менеджмента качества) продолжает требовать наличия утверждённого чертежа, а службы технического контроля, метрологии и сертификации ориентированы именно на двумерную

документацию. Противоречие обостряется в сферах с высокой ответственностью (авиация, космос, медицинская техника), где ошибка в интерпретации допусков может привести к катастрофическим последствиям.

Практическая значимость работы заключается в выявлении условий, при которых отказ от чертежа возможен без потери качества, и определении зон, где чертёж остаётся незаменимым. Результаты исследования могут быть использованы при модернизации систем конструкторской документации на предприятиях, внедряющих аддитивные технологии, а также при разработке учебных курсов по основам конструирования и стандартизации. Кроме того, работа вносит вклад в дискуссию о развитии ЕСКД в сторону гармонизации с международными подходами Model-Based Definition (MBD). Своевременность темы подтверждается растущим числом публикаций и профессиональных дискуссий о судьбе чертежа в цифровом производстве.

Целью данной работы является попытка оценить необходимость сохранения традиционного чертежа (в бумажном или цифровом виде как нормоконтролируемого документа) при использовании 3D-печати в промышленности.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

1. Выявить основные функции чертежа в жизненном цикле изделия.
2. Сравнить возможности 3D-модели и чертежа для передачи информации о детали.
3. Определить области, в которых чертёж остаётся критически важным.
4. Сформулировать рекомендации по рациональному сочетанию 3D-моделей и чертежей в условиях аддитивного производства.

Чертёж как носитель технической информации формировался на протяжении нескольких столетий. С введением в СССР Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) в 1970-х годах был достигнут высокий уровень унификации: любой специалист в любой точке страны мог одинаково прочесть чертёж. В машиностроении чертёж выполнял несколько ключевых функций:

1. *Нормативная* – задавал предельные отклонения, требования к шероховатости, термообработке, покрытию.
2. *Юридическая* – служил приложением к договору поставки, подписывался разработчиком, нормоконтролёром, техническим руководителем.
3. *Измерительная* – являлся основой для разработки контрольных приспособлений и программ для координатно-измерительных машин.
4. *Архивная* – обеспечивал долговременное хранение информации о конструкции вне зависимости от программного обеспечения [1].

С появлением САД-систем чертёж стал формироваться как производная от 3D-модели, но сохранил все перечисленные функции. Сегодня многие предприятия ведут электронный архив чертежей в формате PDF/A, который считается стандартом для долгосрочного хранения.

Современные аддитивные установки (SLA, SLS, FDM, DMLS и др.) принимают на вход файлы формата STL, 3MF или непосредственно управляющие программы (G-code). Для запуска печати действительно достаточно трёхмерной модели, которая содержит геометрию тела детали. Однако, следует отметить:

- Модель в формате STL не содержит информации о допусках, шероховатости, материале, термообработке.

- Ориентация детали в рабочем пространстве принтера, выбор поддержек, стратегии построения определяются технологом и не фиксируются в исходной 3D-модели.

- Контроль готовой детали (особенно ответственной) требует сравнения с номинальными размерами и допусками, которые задаются именно чертежом.

Таким образом, даже если деталь печатается «сразу с 3D-модели», производственный цикл включает этапы, где чертёж (или его электронный аналог с полным набором требований) остаётся необходимым.

Необходимость сохранения традиционного чертежа аргументируется следующим:

1. *Допуски и посадки.* Для большинства машиностроительных деталей критически важны предельные отклонения формы, расположения, размеров. В 3D-модели, как правило, задаётся номинальная геометрия без допусков. Даже в современных системах MBD (Model-Based Definition - Определение на основе модели) допуски могут быть ассоциированы с поверхностями, но эта информация пока не поддерживается всеми участниками цепочки (технологи, контролёры, заказчики). Чертеж же остаётся универсальным средством задания и контроля допусков.

2. *Юридическая сила.* В соответствии с ГОСТ Р 2.102-2023 «Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов», чертеж детали является основным конструкторским документом. Договоры на поставку продукции, технические задания на разработку, акты приёмки по-прежнему ссылаются на номер чертежа. В случае судебных споров арбитраж опирается на утверждённую чертёжную документацию, а не на 3D-модель, которая может быть изменена без соблюдения процедуры утверждения [4].

3. *Контроль и метрология.* Разработка программы для координатно-измерительной машины (КИМ) требует чёткого указания контролируемых размеров, баз, допускаемых отклонений. Эти данные удобнее всего считывать с чертежа. Более того, сами методы измерения (например, использование предельных калибров) ориентированы на чертёжные размеры.

4. *Нормоконтроль и стандартизация.* Предприятия с развитой системой качества (ISO 9001, AS9100) требуют наличия утверждённой конструкторской документации, выполненной по стандартам. Чертежи проходят нормоконтроль, проверку на соответствие ЕСКД. 3D-модели часто не имеют такой строгой регламентации.

5. *Долговременное архивирование.* CAD-файлы зависят от версии программного обеспечения, могут быть утеряны вместе с устаревшими форматами. Бумажный чертёж или его электронная копия в формате PDF/A сохраняют читаемость десятилетиями. Для оборонной, аэрокосмической, атомной отраслей этот фактор имеет первостепенное значение.

6. *Обучение и коммуникация.* Чертёж остаётся базовым языком инженерного общения. Он компактно передаёт информацию о геометрии, допусках, технических требованиях. Для производственного персонала, особенно на этапах сборки, чертёж часто удобнее, чем работа с 3D-моделью на экране.

Для наглядности был проведен сравнительный анализ по ключевым критериям: чертеж или 3D-модель как основа производства (см. табл. 1)

Таблица 1 – Сравнение по ключевым критериям чертеж или 3D-модель как основа производства

Критерий	Чертёж (в т.ч. электронный PDF)	3D-модель (CAD-файл)
Задание номинальной геометрии	Через проекции, разрезы, сечения	Полное трёхмерное представление
Указание допусков размеров	Да, стандартизованными обозначениями	Только в системах MBD, не всегда поддерживается
Технические требования	Текстовый блок, ссылки на стандарты	Обычно отсутствуют или в виде атрибутов
Юридическая значимость	Высокая (подписи, штампы)	Низкая (файл легко изменить без фиксации)
Удобство для контроля размеров	Высокое (все размеры сведены на одном листе)	Среднее (требуется выделение размеров вручную)
Долговременная читаемость	Высокая (бумага, PDF/A)	Низкая (зависимость от ПО и версий)
Возможность автоматической печати	Не применима	Высокая (прямая передача на принтер)
Пригодность для расчётов (МКЭ)	Не применима	Высокая (сетка для анализа)

Из таблицы видно, что чертёж и 3D-модель дополняют друг друга. Оптимальная стратегия – использование модели как источника геометрии, а чертежа как носителя допусков, требований и юридической силы.

Для количественной оценки отношения к чертежам в условиях 3D-печати было проведено анкетирование среди конструкторов и технологов машиностроительных предприятий. Респондентам было предложено оценить по 10-балльной шкале важность чертежа в различных ситуациях/задачах.

Результаты опроса респондентов (средний балл, 0 - не нужен, 10 - абсолютно необходим) представлены на рисунке 1.



Рис. 1. Результаты опроса респондентов о важности чертежа в различных ситуациях/задачах

На основе полученных данных (см. рис. 1) следует отметить, что наиболее высокая потребность в чертеже сохраняется для задач контроля, юридического сопровождения и архивирования. Прямая передача данных на печать и расчёты практически не требуют чертежа – здесь достаточно 3D-модели.

В передовых отраслях (авиакосмическая, автомобилестроение) набирает популярность концепция Model-Based Definition (MBD). В рамках MBD трёхмерная модель становится единственным источником истины: в неё встраиваются допуски, обозначения поверхностей, материалы, данные о покрытии. Чертежи могут не выпускаться в классическом виде, но при этом сохраняются требования к визуализации допусков в соответствии с ASME Y14.41 или ГОСТ Р 2.052-2024 «Единая система конструкторской документации. Электронная геометрическая модель изделия. Основные положения» [5, 6].

Однако даже при использовании MBD окончательная приёмка детали, особенно в кооперации, часто требует «плоского» документа - 3D-модель с допусками может быть передана, но не все поставщики имеют соответствующие программные средства. Кроме того, архивирование модели с допусками в нейтральном формате (STEP AP242) пока не стало повсеместным.

Поэтому гибридный подход - 3D-модель для печати и расчётов, а чертёж (электронный) для контроля и юридического сопровождения – остаётся наиболее распространённым.

На основании выше изложенного следует отметить, что чертёж в эпоху 3D-печати не утратил своей актуальности, но его роль трансформируется:

1. Для задач прямого аддитивного производства (нарезка, ориентация, выбор стратегии) достаточно 3D-модели, чертёж на этом этапе часто не нужен.

2. Однако для метрологического обеспечения, юридического закрепления требований, долговременного хранения и взаимодействия с контрагентами чертёж (бумажный или электронный в защищённом формате) остаётся обязательным.

3. Полный отказ от чертежей возможен лишь в ограниченных условиях (прототипирование, мелкосерийное производство некритичных деталей, замкнутый цикл в рамках одной цифровой платформы).

4. Перспективным направлением является внедрение MBD с одновременным сохранением возможности генерации чертежа по требованию.

Таким образом, вместо вопроса «чертёж или 3D-печать?» корректнее ставить вопрос об их оптимальном сочетании, учитывающем специфику изделия, требования нормативной базы и уровень цифровизации предприятия.

Список литературы:

1. Зленко, М. А. Аддитивные технологии в машиностроении / М. А. Зленко, М. В. Нагайцев, В. М. Довбыш. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с. – ISBN-10 – 3659776521. – Текст : непосредственный.
2. Тарасов, В. А. Актуальность бумажного чертежа в эпоху цифрового производства / В. А. Тарасов, А. А. Герасимова // Инженерный вестник. – 2023. – № 4. – С. 24–31.
3. Чекалин, А. А. Теоретические основы и практические приёмы 3D-моделирования в машиностроении : учебное пособие / А. А. Чекалин, М. К. Решетников, М Ю [и др.]. – Саратов : Саратовский гос. технический ун-т им. Ю. А. Гагарина, ЭБС АСВ, 2020. – 128 с. – ISBN: 978-5-7433-3398-1. – Текст : непосредственный.
4. ГОСТ Р 2.102-2023. Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов: национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2023-11-03 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Изд. официальное. – Москва : Российский ин-т стандартизации, 2023 – 20 с.
5. ГОСТ Р 2.052-2024 Единая система конструкторской документации. Электронная геометрическая модель изделия. Основные положения: национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2024-11-20 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Изд. официальное. – Москва : Российский ин-т стандартизации, 2024 – 24 с.

6. ASME Y14.41-2019. Digital Product Definition Data Practices. - New York: ASME, 2019.