

УДК 658.5.011

Анализ дефектов изделий в машиностроении через призму диффузионной модели

Самородова Елизавета Александровна¹

samorodova.elisaveta@yandex.ru

SPIN-код: 6419-9001

Муравьева Елена Викторовна²

elena-kzn@mail.ru

¹ АНО ДПО «НОЦ ВКО «Алмаз-Антей» им. Академика В.П. Ефремова», Москва, Россия² КНИТУ–КАИ, Казань, Россия

Аннотация. Современное машиностроение сталкивается с проблемой возникновения дефектов на этапах проектирования и разработки конструкторской документации (КД), что ведет к значительным экономическим потерям и снижению надежности продукции. В статье предложен инновационный подход к анализу происхождения и развития дефектов с использованием концепции диффузионных моделей — мощного инструмента из области искусственного интеллекта.

Ключевые слова: диффузионные модели, машиностроение, дефекты изделий, конструкторская документация, контроль качества, жизненный цикл дефекта, искусственный интеллект, анализ ошибок

Analysis of product defects in mechanical engineering through the lens of a diffusion model

Samorodova Elizaveta Aleksandrovna¹

samorodova.elisaveta@yandex.ru

SPIN-code: 6419-9001

Elena Viktorovna Muravyeva²

elena-kzn@mail.ru

¹ ANO DPO NOTS VKO “Almaz-Antey” im. Akademika V.P. Efremova, Moscow, Russia² KNRTU-KAI, Kazan, Russia

Abstract. Modern mechanical engineering faces the problem of defects arising at the stages of design and development of design documentation (DD), which leads to significant economic losses and reduced product reliability. The article proposes an innovative approach to analyzing the origin and development of defects using the concept of diffusion models—a powerful tool from the field of artificial intelligence.

Keywords: diffusion models, mechanical engineering, product defects, design documentation, quality control, defect life cycle, artificial intelligence, error analysis

Введение. Современное машиностроение характеризуется высокой сложностью проектирования и производства, где даже незначительные ошибки на ранних этапах разработки могут привести к серьезным дефектам готовых изделий, значительным экономическим потерям и снижению надежности продукции [1].

Традиционные методы контроля качества в машиностроении сосредоточены на выявлении уже существующих дефектов. Однако новый подход, ос-

нованный на концепции диффузионных моделей — мощного инструмента в области искусственного интеллекта — предлагает уникальную парадигму для анализа зарождения, развития и устранения ошибок при проектировании и разработке изделий.

Материалы и методы. Диффузионные модели — это вероятностные модели, которые изучают распределение данных, постепенно удаляя шум из нормально распределенной переменной. В контексте машиностроения эти модели можно использовать для анализа и выявления дефектов, возникших на разных этапах разработки и производства [2, 3].

Диффузионная модель в своей основе представляет собой процесс двух шагов: прямого процесса, где к идеальным данным постепенно добавляется «шум» до тех пор, пока они не превратятся в хаос, и обратного процесса, где модель учится восстанавливать исходные данные из этого шума. Эту концепцию можно экстраполировать на жизненный цикл дефекта в машиностроительном изделии.

Результаты. Рассмотрим первый шаг. Прямой процесс — это зарождение дефектов как внесение «шума».

Процесс проектирования и разработки можно рассматривать как создание «идеального» изделия, существующего в виде чертежей, расчетов и 3D-моделей. На этом пути различные факторы вносят «шум» или отклонения, которые приводят к появлению дефектов:

1. Человеческий фактор: ошибки в расчетах, неверная интерпретация требований, усталость или недостаточная квалификация инженеров.

2. Технологические ограничения: допуски оборудования, свойства материалов, которые не всегда соответствуют идеализированным моделям.

3. Информационный «шум»: неполные или противоречивые данные на входе, изменения в требованиях заказчика, слабая коммуникация между отделами.

4. Программные ошибки: сбои в работе CAD/CAM-систем, некорректная работа симуляционного ПО.

Каждый из этих факторов, подобно шагу в прямом диффузионном процессе, добавляет небольшое отклонение, которое, накапливаясь, может привести к серьезному браку на финальном изделии.

Вторым шагом диффузионной модели является *обратный процесс* — это устранение дефектов как восстановление из «шума».

Процесс контроля качества, отладки и тестирования можно рассматривать как аналог обратного диффузионного процесса. Инженеры и системы контроля, подобно нейронной сети, анализируют «зашумленное» (дефектное) изделие или его компонент и шаг за шагом пытаются устранить отклонения, приближаясь к «идеальному» состоянию. Для устранения «шума» применяются следующие действия:

1. Идентификация дефекта: Первым шагом является обнаружение аномалии, что сродни распознаванию паттерна «шума» моделью.

2. Анализ причин: Инженеры выясняют, какой именно фактор (человеческий, технологический и т. д.) привел к отклонению.

3. Корректирующие действия: Внесение изменений в конструкцию, технологический процесс или управляющие программы для устранения «шума».

Теперь систематизируем типичные ошибки, возникающие на ключевых этапах жизненного цикла машиностроительного изделия — от проектирования до выпуска конструкторской документации (таблица) [4]. Ее анализ наглядно демонстрирует, как «шум» в виде неточностей, просчетов и недостоверной информации постепенно вносится в изначально идеальный проект.

Проверка чертежей конструктором-разработчиком является первым и критически важным рубежом. Здесь закладывается основа будущего изделия и, именно, на этом этапе возникают фундаментальные ошибки. Эти первичные искажения подобны первоначальному добавлению шума в диффузионной модели.

Проверка чертежей ведущим инженером призвана устранить эти ошибки, однако, как видно из таблицы, те же самые недочеты часто дублируются. Это свидетельствует о системном характере проблем, которые могут быть вызваны как человеческим фактором (усталость, когнитивные искажения), так и недостатками процессов (нехватка времени, отсутствие четких чек-листов).

Технологическая экспертиза выявляет новый пласт «шума», связанный уже с производственной реализуемостью проекта. Технологи сталкиваются с ошибками в выборе материалов и покрытий, неверными допусками, делающими изготовление невозможным или чрезмерно дорогим, а также со сложностями в расчетах специфических деталей (пружин, зубчатых колес). Это ключевой момент, где виртуальный проект сталкивается с реальными физическими и технологическими ограничениями.

Даже после устранения технических недочетов отдел закупок может столкнуться с собственным видом «информационного шума»: некорректно указанными стандартными изделиями или выбором материалов и комплектующих, которых нет в наличии или которые трудно приобрести. Это ошибки коммуникации и недостаточной интеграции между конструкторскими и снабженческими подразделениями.

Наконец, этап нормоконтроля призван устранить последние следы «шума» — формальные ошибки в оформлении чертежей и спецификаций. Хотя эти ошибки могут не влиять на функциональность изделия напрямую, они критически важны для однозначности его интерпретации и бесперебойного производства.

Обсуждение полученных результатов. Проанализировав ошибки, встречающиеся при создании изделия на этапе согласования конструкторской документации, можно применить диффузионную модель, которая позволит анализировать входные данные и на выходе выявлять этап, на котором возник дефект. Например, если обнаружен геометрический дефект (неправильные отверстия), диффузионная модель может сравнить бракованную деталь с исходным чертежом и определить ошибку, где он была допущена:

- в модели (ошибка конструктора);
- в ЧПУ-программе (ошибка технолога);
- при проверке (ошибка нормоконтроля).

Возникающие ошибки на этапах проверки конструкторской документации

Этап	Ошибки
Проверка конструктором-разработчиком	Ошибка в графике чертежа и 3D модели; Ошибки в расчетах; Неправильно проставлены размеры/допуска; Не точная информация в технических требованиях.
Проверка ведущим инженером *	Ошибки в расчетах; Неправильно проставлены размеры/допуска; Не точная информация в технических требованиях.
Технологическая экспертиза	Неправильно указан материал; Ошибка в чертежах; Неправильно проставлены размеры; Неправильно проставлены допуска; Неправильно указаны покрытия; Ошибка в технических требованиях; Ошибка при расчете некоторых деталей (пружины/зубчатые колеса).
Отдел закупки	Неправильно указаны стандартные изделия (винты/шайбы и тд.); Подобраны покупные изделия, которые сложно приобрести; Подобраны материалы, которых нет на предприятии.
Нормоконтроль	Неправильно оформлена спецификация; Неправильно оформлены чертежи.

* Можно объединить с первым этапом.

Анализ дефектов при разработке и проектировании изделий машиностроительной отрасли с использованием диффузионных моделей представляет собой перспективное направление, которое позволит не просто выявить уже существующие дефекты, но и глубоко анализировать причины их возникновения на различных этапах разработки и производства.

Диффузионные модели, благодаря своей способности моделировать сложные распределения данных и «очищать» их от шума, дадут возможность шаг за шагом проследить, как и где возникли отклонения от идеального проекта. Это позволит не только оперативно устранить текущие дефекты, но и предотвратить появление аналогичных ошибок в будущем.

Заключение. Таким образом, проведенное исследование демонстрирует высокую потенциальную эффективность применения концепции диффузионных моделей для анализа дефектов в машиностроении. Предложенный подход позволяет перейти от простого констатации факта брака к глубокому анализу генезиса ошибки, моделируя ее возникновение как процесс постепенного накопления «шума» — технических, информационных и челове-

ских отклонений — на различных этапах жизненного цикла конструкторской документации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] Васильев С.В. *Управление качеством продукции на основе современных тенденций в машиностроении*. Дис. ... канд. экон. наук. Тамбов, 2009, 219 с. EDN: QEIOAH
- [2] Ho J., Jain A., Abbeel P. Denoising Diffusion Probabilistic Models. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2020, vol. 33, pp. 6840–6851.
- [3] Sohl-Dickstein J., Weiss E., Maheswaranathan N., Ganguli S. Deep Unsupervised Learning using Nonequilibrium Thermodynamics. *Proceedings of the 32nd International Conference on Machine Learning*, 2015, pp. 2256–2265. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1503.03585>