

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ. ВАЛИДАЦИЯ И ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ

Куделич К.С.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Алексеев В.Ф. – к. т. н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Рассмотрены ключевые аспекты валидации и верификации в контексте программного обеспечения инженерного моделирования физических процессов. Проведён критический анализ традиционных и современных методологий этих процессов, обсуждаются преимущества и недостатки различных подходов, а также предлагаются рекомендации по эффективной интеграции процедур валидации и верификации в процесс разработки и применения инженерных моделей.

Ключевые слова: валидация, верификация, моделирование, оценка достоверности.

Введение. Широкое применение программного обеспечения инженерного моделирования для анализа и прогнозирования поведения электронных систем стало неотъемлемой частью современного инженерного процесса. Достоверность результатов компьютерного моделирования имеет критическое значение, поскольку они могут служить основой для принятия важных решений в различных областях. В связи с этим, валидация и верификация моделей представляют собой первоочередные задачи для обеспечения надежности и точности результатов. Исследование направлено на выявление подходов к валидации и верификации компьютерных моделей, а также рассмотрение современных подходов.

Основная часть. Верификация – процесс определения того, что вычислительная модель точно представляет лежащую в ее основе математическую модель и ее решение. Верификация осуществляется путем сравнения результатов вычислительной модели с результатами достоверной математической модели [1].

Верификацию проводят на этапе разработки вычислительной модели, предшествуя ее валидации. В процессе верификации рассматривают вопросы, связанные с численным анализом, качеством программного обеспечения, ошибками программирования в компьютерном коде и оценкой численных ошибок.

Верификация включает в себя ряд методов, направленных на обнаружение ошибок и проверку корректности реализации математической модели [1]:

- осуществить анализ исходного кода, реализующего модель, с целью выявления синтаксических и логических дефектов;
- провести верификацию алгоритмов, интегрированных в модель, с целью подтверждения их правильной реализации, достижения необходимой точности и обеспечения сходимости численных методов;
- определить уровень погрешности численных решений, получаемых посредством модели, и устанавливать его нахождение в пределах допустимых значений;
- провести проверку соблюдения фундаментальных законов сохранения (энергии, массы, импульса) в процессе моделирования;
- исследовать влияние вариаций входных параметров на выходные данные модели с целью подтверждения предсказуемости и физической обоснованности ее поведения;
- осуществить проверку корректной реализации граничных условий и их влияния на результаты моделирования. Валидируется отсутствие нефизических или нежелательных эффектов, обусловленных граничными условиями;

- провести анализ динамического поведения модели с целью подтверждения ее устойчивости и предотвращения получения расходящихся или нефизических решений;
- осуществить проверку корректной обработки физических величин и их размерностей, а также анализ физической интерпретации результатов моделирования;
- обеспечить воспроизводимость результатов моделирования при идентичных начальных условиях и входных параметрах, что является необходимым условием валидности модели.

Валидация – проверка правильности работы (предсказательной способности) аналитической модели, построенной на основе машинного обучения, а также удостоверение, что она соответствует требованиям решаемой задачи [2].

Валидация требует сравнения результатов моделирования с экспериментальными данными или данными, полученными из других, более надежных источников:

- сравнение с экспериментальными данными, путем сопоставления результатов моделирования с данными, полученными в лабораторных или реальных условиях эксплуатации;
- оценка чувствительности, заключающаяся в анализе влияния изменений параметров модели на результаты, для определения наиболее важных параметров;
- анализ неопределенности, включающий квантификацию неопределенностей, связанных с параметрами модели, граничными условиями и численными методами, а также оценку их влияния на результаты моделирования;
- использование методов машинного обучения, для разработки суррогатных моделей, обученных на экспериментальных данных, и ускорения процесса валидации и оценки неопределенности.

Процессы верификации и валидации тесно взаимосвязаны и должны рассматриваться как единый, итеративный процесс улучшения модели. Результаты верификации, выявляющие ошибки, служат отправной точкой для исправления модели и повторной верификации. Аналогично, результаты валидации, указывающие на расхождения между результатами моделирования и экспериментальными данными, могут потребовать пересмотра математической модели, уточнения параметров или даже разработки принципиально нового подхода. Этот непрерывный цикл верификации, валидации и модификации модели обеспечивает ее постоянное совершенствование и повышение адекватности, что, в конечном счете, приводит к созданию надежного и точного инструмента для решения инженерных задач.

Современные подходы к валидации и верификации направлены на автоматизацию процедур, повышение объективности и эффективности процесса выражаются во внедрение методологий *DevOps*, использовании облачных вычислений, разработке автоматизированных инструментов валидации и верификации, использовании методов машинного обучения. Рассмотрим их подробнее.

DevOps разработка (*Development Operations*) – это популярная методология, объединяющая этапы разработки продукта. *DevOps*, за счёт сквозной автоматизации и интеграции процессов, позволяет сократить время, необходимое для запуска новых функций или исправления ошибок программного обеспечения (ПО), и сделать процесс разработки более гибким и быстрым. Интеграция методологии *DevOps* в процессы валидации и верификации обеспечивает значительное повышение их эффективности и скорости. *DevOps* способствует автоматизации рутинных задач, таких как выполнение тестов, сбор данных и генерация отчетов, что позволяет инженерам сосредоточиться на анализе результатов и улучшении моделей [3].

Машинное обучение (*machine learning, ML*) – это процесс, при котором компьютерная программа с помощью искусственного интеллекта учится решать задачи на основе данных. Она находит определённые закономерности и использует их для принятия решений. Методы машинного обучения значительно расширяют возможности валидации и

верификации моделей, предлагая решения для автоматизации, ускорения и повышения точности этих процессов. Алгоритмы машинного обучения способны выявлять скрытые закономерности в экспериментальных данных и использовать их для калибровки параметров модели, уменьшая расхождения между результатами моделирования и реальными наблюдениями [4].

Заключение. Валидация и верификация являются неотъемлемой частью процесса разработки и применения программного обеспечения инженерного моделирования физических процессов. Адекватная стратегия валидации и верификации позволяет повысить доверие к результатам моделирования, минимизировать риски, связанные с ошибками, и принимать обоснованные инженерные решения. Современные подходы к валидации и верификации направлены на автоматизацию процедур, повышение объективности и эффективности процесса, они уменьшают затраченное время на исследование и повышают их качество. Это критически важно в условиях усложняющихся моделей и растущих требований к надежности и точности результатов, которые используются для принятия важных инженерных решений.

Список литературы

1. Верификация и валидация компьютерных моделей / Сальников А.В., Французов М.С., Виноградов К.А., Пятунин К.Р., Никулин А.С. // P. I. Varanov CIAEE.
2. Валидация моделей. [Electronic resource]. – Date of access: March 30, 2025. – <https://help.loginom.ru/userguide/processors/validation.html>.
3. DevOps: методология, принципы, подходы и технологии ... [Electronic resource]. – Date of access: March 30, 2025. – <https://habr.com/ru/articles/745532/>.
4. Машинное обучение ... [Electronic resource]. – Date of access: March 30, 2025. – <https://practicum.yandex.ru/blog/modeli-mashinnogo-obucheniya/>.

UDC 681.2:519.6

ENSURING THE RELIABILITY OF COMPUTER SIMULATION RESULTS. VALIDATION AND VERIFICATION OF MODELS

Kudelich K.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alexeev V.F. – Cand. of Sci., assistant professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. The key aspects of validation and verification are considered in the context of software for engineering simulation of physical processes. A critical analysis of traditional and modern methodologies of these processes is carried out, the advantages and disadvantages of various approaches are discussed, and recommendations are proposed for the effective integration of validation and verification procedures into the process of developing and applying engineering models.

Keywords: validation, verification, modeling, reliability assessment.