

В. Л. Демехин, В. В. Илькович, В. Н. Буканов

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

ВЕРИФИКАЦИЯ И ВАЛИДАЦИЯ: ПРОЦЕСС VS ПРОЦЕДУРА

Разработана схема непрерывного процесса верификации и валидации, которая не только позволяет конечному пользователю программного обеспечения проводить проверку результатов каждого расчета, но и обязывает его это делать, повышая тем самым достоверность получаемых результатов. Кроме того, для валидации программного обеспечения предлагается не только использовать уже имеющиеся экспериментальные данные, но и получать новые в результате разработки и проведения специализированного валидационного эксперимента.

Ключевые слова: моделирование, программное обеспечение, верификация и валидация.

Введение

Многие технические объекты, а также связанные с ними процессы и явления в силу своей сложности не имеют достаточно простых математических описаний, которые позволяли бы исследовать их обычными теоретическими методами. По той же причине полномасштабный натурный эксперимент над ними в большинстве случаев практически невозможен.

Примером сложного технического объекта может служить реакторная установка. Одним из важнейших ее элементов является корпус реактора (КР), а связанный с ним процесс – облучение нейтронами. Определить функционалы нейтронного потока, воздействующего на корпус, непосредственно не представляется возможным. Поэтому для решения этой задачи необходимо применение специальных методик, включающих то или иное программное обеспечение (ПО), с помощью которого осуществляются численные расчеты переноса нейтронов от активной зоны на КР.

Такой подход, представляющий собой так называемое математическое моделирование, является типичным для получения необходимой информации о сложных технических объектах. Очевидно, что подтверждение достоверности результатов, получаемых с помощью ПО, настолько же необходимо, как подтверждение справедливости теоретической модели при исследовании объектов теоретическими методами или же подтверждение правильности получаемых экспериментальных данных при натурном эксперименте.

Из-за особенностей структуры математического моделирования подтверждение достоверности результатов расчетов ПО производится методами и способами, отличными от тех, которые продолжительное время вырабатывались для теории и эксперимента. Важным является также

то, что научное учение о порядке подтверждения достоверности результатов расчетов ПО, по сути, зародилось относительно недавно – в конце прошлого века. Поэтому в настоящее время отсутствует его общепринятая, единая схема.

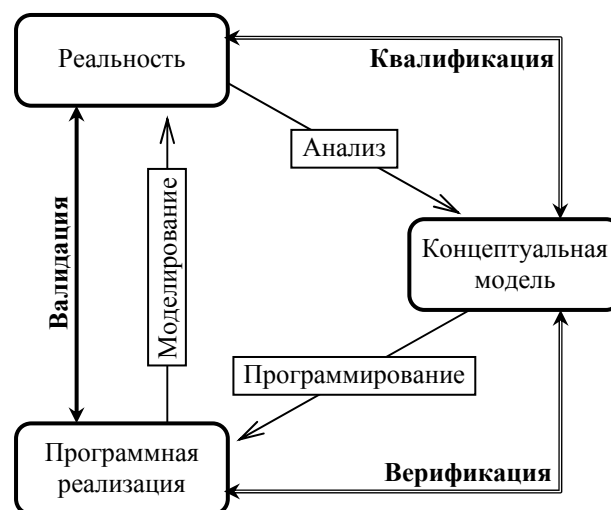


Рис. 1. Три стадии процедуры верификации.

Дозиметрия КР и образцов-свидетелей металла корпуса являются важными составными частями научно-технической поддержки безопасной эксплуатации ядерной энергетической установки. От достоверности данных об условиях облучения КР и образцов-свидетелей в значительной мере зависит надежность оценки технического состояния корпуса и прогнозирования его эксплуатационного ресурса. Поэтому для выполнения работ по подтверждению достоверности результатов расчетов переноса нейтронов и определения условий облучения корпуса ВВЭР и образцов-свидетелей на основе анализа литературных источников нами была принята схема процедуры верификации ПО [1], представленная на

рис. 1, где*:

квалификация – определение адекватности реальности концептуальной модели в области ее применения;

верификация – доказательство того, что разработанное ПО соответствует концептуальной модели;

валидация – оценка точности результатов компьютерного моделирования путем сравнения их с экспериментальными данными (при этом жесткого требования на получение таких характеристик неточности, как, например, погрешность результата не выдвигается).

Схема, приведенная на рис. 1, была успешно реализована для верификации ПО, предназначенного для расчета переноса нейтронов от активной зоны ВВЭР к КР (пакет программ MСРV [2]) и к местам расположения образцов-свидетелей (пакет программ МССS). В то же время при дальнейшем использовании указанных пакетов выяснилось, что подход, изложенный в работе [1], требует доработки.

Процедура и процесс

Как известно, математическое моделирование по своей сути – это вычислительный эксперимент, который, как и натурный, не застрахован от ошибок. Причины их могут быть различны: это и ошибки или накопленные погрешности самого ПО, и ошибки входных параметров. Последние могут быть вызваны как человеческим фактором на этапе ввода информации, так и объективными или субъективными ошибками исходных данных.

Заметим, что из-за физической неосуществимости полной всеобъемлющей проверки ПО ошибки в нем могут содержаться даже после того, как все возможные проверки проведены и все обнаруженные дефекты исправлены. Отсутствие очевидного свидетельства того, что имеет место какая-либо ошибка, не означает, что она, действительно, отсутствует: “Ошибка существует, пока не доказано, что ее нет!” [4].

Поэтому обязательным этапом моделирования наряду с разработкой математической модели и компьютерным программированием является также и комплексный анализ результатов рас-

четов на соответствие теоретическим моделям, эмпирическим зависимостям и экспериментальным данным. Речь, естественно, идет обо всех расчетах, а не только о тех, которые выполняются разработчиком ПО при его верификации и/или валидации.

Описанная в [1] процедура хотя и предусматривает возможность доверификации ПО, но не увязывает ее с его рабочим использованием и не выдвигает каких-либо объективных критериев необходимости ее проведения. По сути, субъективное решение этого вопроса возлагается на разработчика, а комплексный анализ результатов расчетов пользователем никак не вписывается в процедуру и, фактически, не может быть легально использован для подтверждения их достоверности.

В противоположность ей непрерывный процесс верификации должен предусматривать не только возможность, но и необходимость постоянной доверификации ПО путем комплексного анализа результатов каждого конкретного расчета. Подтверждая тем или иным способом достоверность конкретного расчета, пользователь, тем самым, пусть и в незначительной степени, но повышает уверенность в правильной работе самого ПО. В некотором смысле ответственность за достоверность как этих, так и всех последующих результатов разделяется между разработчиком и пользователем.

Согласно [1], валидация ПО производится на основе уже имеющихся экспериментальных данных. Например, в случае с валидацией MСРV это данные макетного эксперимента на реакторе LR-0 и результаты дозиметрических измерений у внешней поверхности КР действующих энергоблоков. Таким образом, роль субъекта валидации сводится исключительно к тому, чтобы найти экспериментальные данные и корректно их использовать.

При реализации рассматриваемого подхода вопрос о том, чтобы спланировать валидационный эксперимент, а также о методах и способах его разработки и оптимизации, нельзя даже поставить. Фактически это означает невозможность осмысленного влияния субъекта валидации (как разработчика, так и пользователя) на объект, невозможность довалидации ПО в нужном направлении.

Таким образом, процедура верификации и валидации, по сути, ограничена по времени и по используемым данным и практически неприменима пользователем ПО. Стоит при этом отметить, что такой подход является оптимальным для глобальной базовой проверки работоспособности нового ПО его разработчиком.

* Приведенные определения немного изменены. Это связано с тем, что в работе [1] слово “процесс” в большинстве случаев понимается как “совокупность последовательных действий для достижения какого-либо результата” [3], а в данной статье процесс – это “последовательная смена явлений, состояний в развитии чего-нибудь” [3].

В противоположность ей верификации и валидации, рассматриваемые как непрерывный процесс подтверждения и повышения достоверности результатов расчетов ПО, включают в себя требования и общие характеристики инструментов по проведению постоянной доверификации-довалидации.

Схема процесса верификации и валидации

На основании анализа, основные выводы которого представлены в предыдущем разделе, с использованием ряда литературных источников [5 - 11] была доработана схема процедуры верификации, изложенная ранее в работе [1].

При этой доработке было принято:
 верификации – это проверки соответствия результатов работ, выполняемых при создании и использовании ПО, информации и данным, которые принимаются в качестве опорных;
 валидация – подтверждение адекватности результатов математического моделирования экспериментальным данным, т. е. результатами физического моделирования, путем их сравнения.
 Такой подход к разделению процесса верификации и валидации на составляющие его части был предложен в работе [12]. Модернизированная схема представлена на рис. 2.



Рис. 2. Схема процесса верификации и валидации.

Как видно из нее, некоторое изменение в определении термина "верификация" и замена в схеме концептуальной модели на математическую объективно приводят к необходимости отказаться от термина "квалификация" в пользу "верификация математической модели". Но суть выполняемых работ от этого не меняется.

Точно также не меняется и суть выполняемых работ от замены "верификации" на "верификацию вычислительной модели".

О верификации расчета, а также о разработке и проведении валидационного эксперимента в общих чертах речь шла в предыдущем разделе. Более подробному рассмотрению этих этапов схемы предполагается посвятить отдельные публикации.

Выводы

Таким образом, согласно предложенной схеме верификация и валидация рассматриваются как непрерывный процесс подтверждения и повышения результатов расчетов. Частично они выполняются разработчиком ПО, а частично – конечными пользователями.

Первые выполняют верификацию математической и вычислительной модели, а также валидацию ПО в целом на основе имеющихся экспериментальных данных, вторые – верификацию и валидацию каждого конкретного расчета. Кроме того, конечный пользователь ПО имеет возможность (и в некотором смысле даже обязанность)

розробки і проведення спеціалізованого валідаційного експерименту.

Підхід, який був изложено в роботі [1], являється органічною частиною пропонованої схеми і дозволяє розробникам провести цінну первонаочальну процедуру верифікації ПО в цілому, але не може гарантувати достовірність конкретного розрахунку, виконуваного

кінцевим користувачем.

Верифікація і валідація, розглядавані в запропонованій схемі як неперервний процес, не тільки дозволяють кінцевому користувачеві ПО проводити перевірку результатів кожного конкретного розрахунку, але і зобов'язують його це робити, підвищуючи тим самим достовірність цих, як і всіх інших результатів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Буканов В.Н., Демехин В.Л., Липский И.И.* Основные положения процедуры верификации программных средств, используемых при дозиметрии корпуса реактора // *Ядерная физика та энергетика.* - 2008. - № 1 (23). - С. 62 - 68.
2. *Пакет программ МСРВ для расчета функционалов нейтронного потока, воздействующего на корпус ВВЭР-1000 / В. Н. Буканов, А. В. Гриценко, В. Л. Демехин, С. М. Пугач.* - К., 2005. - 28 с. - (Препр. / НАН Украины. Ин-т ядерных исслед.; КИЯИ 05-6).
3. *Большой энциклопедический словарь: словарь / Под ред. А. М. Прохорова.* - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Большая Рос. энцикл., 1998. - 1434 с. - ISBN 5-85270-305-2.
4. *Fairley R.E.* Dynamic Testing of Simulation Software // *Proc. of the 1976 Summer Computer Simulation Conf., Washington, DC, USA, 1976.* - P. 40 - 46.
5. *Oberkampf W.L., Roy C.J.* Verification and Validation in Scientific Computing. - Cambridge: Cambridge University Press, 2010. - 767 p.
6. *Guide for the Verification and Validation of Computational Fluid Dynamics Simulations (G-077-1998e).* - Reston, VA, USA, AIAA, 1998. - 19 p.
7. *Guide for Verification and Validation in Computational Solid Mechanics (ASME Standard V&V 10).* - New York, NY, USA, American Society of Mechanical Engineers, 2006. - 53 p.
8. *Oberkampf W.L., Trucano T.G.* Verification and Validation in Computational Fluid Dynamics (Report) / Sandia National Laboratories. - No. SAND2002-0529. - Albuquerque, NM, USA, 1997. - 124 p.
9. *Thacker B.H., Doebling S.W., Hemez F.M. et al.* Concepts of Model Verification and Validation (Report) / Los Alamos National Laboratory. - No. LA-14167-MS. - Los Alamos, NM, USA, 2004. - 28 p.
10. *СТП 0.41.076-2008.* Порядок использования расчетных кодов для обоснования безопасности ядерных энергетических установок / ГП НАЭК "Энергоатом". - К., 2008. - 20 с.
11. *IEEE Std 1012™-2004.* IEEE Standard for Software Verification and Validation / The Institute of Electrical and Electronics Engineers. - New York, NY, USA, 2005. - 110 p.
12. *Roache P.J.* Verification and Validation in Computational Science and Engineering. - Hermosa Publishers, Albuquerque, NM, USA, 1998. - 446 p.

В. Л. Демьохін, В. В. Ількович, В. М. Буканов

ВЕРИФІКАЦІЯ І ВАЛІДАЦІЯ: ПРОЦЕС VS ПРОЦЕДУРА

Розроблено схему неперервного процесу верифікації і валідації, яка не лише дає змогу кінцевому користувачеві програмного забезпечення проводити перевірку результатів кожного розрахунку, але й зобов'язує його це робити, підвищуючи тим самим достовірність отримуваних результатів. Крім того, для валідації програмного забезпечення пропонується не лише використати вже наявні експериментальні дані, але й отримувати нові в результаті розробки і проведення спеціалізованого валідаційного експерименту.

Ключові слова: моделювання, програмне забезпечення, верифікація і валідація.

V. L. Diemokhin, V. V. Ilkovych, V. N. Bukanov

VERIFICATION AND VALIDATION: PROCESS VS PROCEDURE

Scheme of continuous process of verification and validation is developed. It not only permits a software user to perform verification of results of every calculation, but also obligates him to do this, thus increasing the reliability of the obtained results. In addition, it is suggested for software validation not only to use already existing experimental data, but also to obtain new ones as a result of development and carrying out of the specialized validation experiment.

Keywords: modeling, software, verification and validation.

Надійшла 13.03.2013
Received 13.03.2013