

Овчинников И.Г., д-р техн. наук

Овчинников И.И., канд. техн. наук

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Аннотация: Рассматриваются особенности компьютерного расчетного анализа сложных транспортных сооружений, возникающие проблемы и пути их решения. Обращается внимание органов экспертизы на необходимость привлечения для проверки расчётов и проектных решений, выполненных на основании сложных расчётов, компетентных сторонних независимых экспертных организаций или экспертов. Для систематизации и выработки обоснованной стратегии проверки расчетов, выполненных с использованием специального программного обеспечения, предлагается разрабатывать специальные стандарты организаций.

Ключевые слова: компьютерные технологии, транспортное сооружение, расчетная схема, надежность расчетов, независимая экспертиза

Annotation: The features of computer analysis of complex transport structures, problems and solutions are considered. Attention is drawn to the examination of the need to bring to verify the calculations and the design decisions made on the basis of complex calculations, qualified third-party independent expert organizations or experts. To organize and develop a strategy based test calculations performed with the use of special software, it is proposed to develop specific standards of organizations.

Key words: computer technology, transport construction, design scheme, computational model, the reliability of the calculations, the independent expert examination

Введение

Очевидно, необходимым условием развития отрасли транспортного строительства является комплексное внедрение информационных технологий

(ИТ - технологий), что сегодня должно являться предметом пристального внимания, как государства, так и частных компаний. Во всем мире информационные и коммуникационные технологии признаны ключевыми технологиями XXI века, которые на ближайшие десятилетия будут являться залогом экономического роста государства и основным двигателем научно-технического прогресса. Успешная реализация большого количества проектов зависит от качества применяемых в них ИТ - технологий.

Сегодня на российском рынке представлено множество компаний, предлагающих программные решения для различных отраслей народного хозяйства, в том числе и для отрасли транспортного строительства.

Отметим следующие основные принципы развития ИТ- технологий для отрасли транспортного строительства:

- информационные системы должны обеспечивать поддержку на всех этапах жизненного цикла транспортного сооружения;
- информационные системы должны быть от ведущих мировых лидеров, должны соответствовать мировым достижениям в данной области;
- информационные системы должны быть интегрированы между собой и должны позволять создавать единую Информационную модель транспортного сооружения.

ИТ - технологии должны охватывать весь спектр жизненного цикла транспортного сооружения, начиная от этапа концептуального проектирования до этапа (демонтажа) утилизации сооружения. При этом ИТ - технологии должны использоваться в течение всего периода жизнедеятельности сооружения, который может достигать 100 лет. Поддержание жизнеспособности информационных систем на протяжении всего жизненного цикла транспортного сооружения - важнейший аспект совершенства и актуальности технологии.

Особенности и проблемы применения ИТ – технологий.

Развитие информационных технологий привело к масштабным изменениям процессов конструирования, проектирования, подготовки производства и самого производства сложной наукоемкой продукции, к которой относятся современные транспортные сооружения.

Информационные технологии трехмерного проектирования сложных транспортных сооружений различного назначения поддерживают современные методы подготовки проектной документации и в электронном формате и на

бумажных носителях. Трехмерное моделирование, при выполнении ряда определенных условий, обеспечивает высокое качество проектирования, создает предпосылки для информационного сопровождения проектов транспортных сооружений на всех стадиях их жизненного цикла: от проекта до строительства, многолетней эксплуатации и последующей утилизации

Следует заметить, что высокая стоимость проектирования и особенно строительства транспортных сооружений, острая конкуренция в этой сфере приводят к необходимости постоянного совершенствования технологий проектирования (расчета) и строительства транспортных сооружений, которые обеспечивают снижение стоимости и сроков проектирования, подготовки производства и выполнения строительного-монтажных работ.

В последнее время в мире растет популярность концепции PLM (Product Lifecycle Management), предусматривающей управление информацией о сооружении на всех стадиях его жизненного цикла. PLM-концепцию можно использовать как на виртуальном уровне, на стадиях проектирования, инженерных расчетов, анализа, технологической подготовки производства, цифрового моделирования и макетирования, так и в реальном мире - во время строительства и эксплуатации сооружения, включая его совершенствование, модернизацию и даже утилизацию.

Отметим следующие достоинства концепции PLM. Чтобы выжить, предприятиям приходится постоянно повышать качество продукции и сокращать сроки ее разработки. Решения, основанные на концепции PLM, помогают выполнить эту задачу, так как позволяют заказчикам и разработчикам продукта из разных предприятий, даже находящихся в различных частях света, эффективно сотрудничать в реальном времени, вести согласование, проектирование и моделирование сооружения, его анализ, расчет, комплектацию и т. п. Более того, современные PLM-системы, дополненные средствами взаимодействия через Интернет, дают возможность проектировщикам, расчетчикам, строителям, менеджерам, специалистам по эксплуатации отслеживать поведение сооружения на протяжении всего жизненного цикла, собирая, обобщая и анализируя данные для улучшения его характеристик и выявления слабых мест. И, наконец, PLM-решения существенно упрощают рутинные операции, благодаря чему инженеры могут сосредоточиться на творческом процессе.

Важную роль для повышения качества сложного транспортного сооружения играет поддержка общих баз данных и знаний, к которым могут обращаться заказчики, проектировщики, строители, эксплуатационники, менеджеры, субподрядчики, поставщики комплектующих и материалов. Следовательно, организациям, желающим эффективно работать в сфере транспортного строительства, следует создавать и поддерживать собственные базы данных по инженерным решениям, по патентам, инновациям, материалам и их характеристикам и так далее.

В связи с тем, что в ближайшее время ожидается естественное уменьшение количества квалифицированных и опытных инженеров, в полный рост встает проблема разработки экспертных систем (и наполнения их баз знаний) для решения различных проектных, конструкторских, диагностических, эксплуатационных и других задач.

Подчеркнем, что в связи с широким использованием компьютерных технологий для моделирования поведения конструкций транспортных сооружений с учетом реальных свойств материалов и реальных условий эксплуатации, включая действие не только силовых, но и температурных, климатических, средовых факторов, приводящих к деградации свойств материалов и последующему сокращению сроков надежной и безопасной эксплуатации транспортных сооружений, для обоснованного и корректного расчета конструкций нужна информация о механических характеристиках материалов, и не только примитивных (СНиПовских), но более полных, включая и кратковременные, и длительные, и динамические характеристики.

Обратим внимание на то, что, как справедливо отмечали такие уважаемые специалисты, как Перельмутер А.В. и Сливкер В.И. [1, 2], развитие средств компьютеризации инженерных расчетов транспортных сооружений оказывает очень серьезное, но, к сожалению, не только положительное, но и отрицательное воздействие на качество расчетных обоснований проектных решений. Весьма высокий уровень детальности и точности расчетов транспортных сооружений, который сегодня доступен даже студентам и, тем более, проектировщикам, ранее был достижим только для наиболее квалифицированных специалистов и научных работников. Однако, широкая доступность сложных вычислительных комплексов привела к появлению ряда важных проблем, связанных с умением разумно применять эти программные комплексы для решения инженерных задач.

Как оказалось, применение высокоточных компьютерных методов расчета не избавляет проектировщиков от ошибок, которые приводят к весьма неприятным последствиям.

На фото 1 и 2 приведены последствия аварии, произошедшей при надвигке металлического пролетного строения моста через Юганскую Обь. Как оказалось, недостаточно правильно рассчитать пролетное строение на эксплуатационные нагрузки, также весьма важен и правильный расчет с учетом всех особенностей работы пролетного строения на стадии монтажа.



Рисунок 1 – Разрушение пролетного строения моста через Юганскую Обь при надвигке



Рисунок 2 – Вид снизу на зону разрыва

Главгосэкспертиза России для того, чтобы повысить качество расчетных обоснований проектных решений современных сложных объектов строительства подготовила нижеследующее письмо (рис.3).



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И ЖИЛИЩНО-
КОММУНАЛЬНОМУ КОМПЛЕКСУ

ГЛАВГОСЭКСПЕРТИЗА РОССИИ

Фуркасовский пер., д.12/5, Москва, 101990
Тел.(095) 925-75-46. Факс: (095) 924-67-49
E-mail: info@gge.ru

28.06.04 № 24-10-3/1281

На № _____ от _____

Филиалы Главгосэкспертизы России
в субъектах Российской Федерации

Организации государственной
вневедомственной экспертизы
субъектов Российской Федерации

О повышении качества расчетных обоснований проектных решений строительных конструкций

Анализ современного состояния проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений свидетельствует о необходимости реализации комплекса мер по повышению качества расчетных обоснований проектных решений строительных конструкций. Эти меры в первую очередь касаются объектов, не имеющих в отечественной практике ранее запроектированных и построенных аналогов (современные высотные здания, уникальные торговые, спортивные и зрелищные объекты с большепролетными покрытиями, здания сложной архитектурной формы, в том числе возводимые в сейсмоактивных районах и т.п.).

На практике, при выполнении расчетов строительных конструкций по пространственным схемам с помощью программных комплексов во многих случаях не проводится тщательное компьютерное моделирование для различных вариантов расчетных схем, учитывающих изменение расчетных моделей в процессе возведения и эксплуатации, геометрическую и физическую нелинейность, динамический характер воздействий и реакций конструкций. Проектировщиками, не имеющими во многих случаях необходимой подготовки и опыта расчета сложных объектов, не всегда учитывается тот факт, что современные программные комплексы (далее ПК), реализующие метод конечных элементов, являются лишь инструментом моделирования, дающим некоторое приближенное решение. Результаты расчета могут значительно отличаться для сложных объектов при использовании различных ПК и при использовании различных моделей.

Как следствие имеют место просчеты в проектировании, приводящие к аварийным ситуациям в ходе строительства и эксплуатации, в ряде случаев с трагическими последствиями.

Для приведения уровня качества расчетных обоснований проектных решений современных сложных объектов строительства проектным организациям рекомендуется осуществлять расчеты не менее чем по двум сертифицированным, независимо разработанным и проверенным в практике ПК, проводить сопоставительный анализ полученных результатов. Такая практика широко применяется в развитых странах и некоторыми проектными организациями России.

Органам государственной экспертизы рекомендуется запрашивать в необходимых случаях расчетные обоснования конструктивных решений с использованием двух независимо разработанных программ. Для поддержки соответствующей технологии расчетов разработчикам программных средств рекомендуется осуществлять поставку программ-конверторов для передачи расчетных схем из одного программного комплекса в другой.

Главгосэкспертиза России просит довести указанную информацию до сведения проектных и строительных организаций вашего региона.

Приложение: письмо ГУП ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко от 24.06.2004 № 13-103 и форма заявки на участие в семинаре.

Начальник

В.Ю.Леушин

Рисунок 3

Как видно, в этом письме справедливо отмечается, что при расчете сложных конструкций очень часто не анализируются различные варианты расчетных схем, не проводится тщательное компьютерное моделирование с учетом таких факторов, как геометрическая, физическая и конструктивная нелинейность, воздействие внешней агрессивной по отношению к материалу конструкций среды, весьма примитивно учитывается динамический характер работы конструкций.

Расчетная схема конструкции должна учитывать и отражать основные свойства, характерные для исследуемого поведения конструкции, а нередко используемый программный комплекс имеет встроенную в него расчетную схему, ориентированную на решение тех задач, которые ставили перед собой разработчики программного комплекса, а не тех задач, которые должен решать проектировщик. Поэтому разумно, при анализе поведения конструкций строить некоторую иерархию расчетных схем, которая позволяла бы учесть необходимые особенности процесса деформирования конструкций. При этом не следует слишком уж увеличивать количество расчетных схем и их сложность, так как в этом случае возникает проблема возможности анализа полученных результатов самим проектировщиком – он может утонуть в море численной информации и пропустить важные моменты.

Рекомендация Главгосэкспертизы России о необходимости осуществлять расчеты не менее чем по двум сертифицированным независимо разработанным программным комплексам и проводить сравнительный анализ результатов имеет смысл только тогда, когда расчеты выполнялись по разным расчетным схемам, но описывающим одни и те же эффекты. Формальное же использование рекомендации о выполнении расчета по двум программам (но с использованием практически одной и той же расчетной схемы) может принести даже вред, так как при этом порождается опасная иллюзия двойного контроля и, якобы, надежности результатов расчетов.

Требование же использовать сертифицированные программные комплексы вообще не выдерживает никакой критики. Ведь сертификат служит для подтверждения соответствия требованиям действующих норм. Однако ядро расчетного программного комплекса ориентировано на определение параметров напряженно-деформированного состояния, а эта функция принципиально не нормируема. Кроме того, хорошая работа программного комплекса на тестовых задачах никоим образом не гарантирует, что он будет

также хорошо работать и на реальных рассчитываемых объектах. Процедура верификации программных комплексов не регламентирована никакими общими требованиями и является прерогативой разработчиков этих комплексов, хотя потребность в такого рода регламентации существует.

Что же касается рекомендаций по выбору расчетных моделей, то они обычно весьма субъективны, обоснованы специальными исследованиями, результаты которых проверяются практикой проектирования, но, к сожалению, остаются собственностью проектировщиков, не заинтересованных в их тиражировании и включении в нормы проектирования.

Требования нормативных документов обычно бывают связаны с определенной расчетной моделью, созданной в докомпьютерные времена, причем описание модели в нормативном документе обычно не приводится и создается ложное впечатление универсальности нормативного требования. В результате может возникнуть парадоксальная ситуация — уточнение расчетной модели приводит к менее экономичным решениям, чем те, которые основаны на грубой модели нормативного документа.

Кто же отвечает за результаты расчетов, выполненных с использованием программного комплекса? Ответственность за используемые результаты компьютерных программ, лежит на пользователе — то есть расчетчике и проектировщике.

Ошибки проектировщика могут быть вызваны следующими причинами: недостаточной информацией; отсутствием широкого кругозора или односторонним подходом при решении задач, что нередко связано с предыдущей деятельностью; недостаточным опытом проектировщика в данной области; переоценкой своей квалификации; отсутствием проработок при неблагоприятном развитии событий; отсутствием альтернативных методик проектирования и критических замечаний оппонентов; плохой организацией трудового процесса; неудовлетворительным производственным климатом, включая недостаток времени и плохие взаимоотношения в коллективе; неумением применять современные технологии проектирования или слишком доверять и существующим обычным и особенно компьютерным методам расчета.

Как известно, при расчете сложных конструкций обычно применяются методы строительной механики, которые в глазах многих являются весьма строгими и непогрешимыми. Но такое мнение разбивает одно высказывание

специалиста по расчету сооружений на действие ветра: «строительная механика – это искусство моделировать материалы, работу которых мы не понимаем, в геометрических формах, которые мы не можем в точности проанализировать, под действием сил, которые нам неизвестны, причем делать это так, чтобы ни у кого не зародилось никаких подозрений». И если вдуматься, этот специалист прав, и особенно он прав, если мы обращаемся к расчету железобетонных конструкций.

С учетом сказанного при расчете сооружений следует иметь ввиду следующие особенности: условность расчетных схем конструкций и возможность отклонения найденных по этим схемам усилий от действительного распределения усилий в конструкциях; условность используемых расчетных характеристик материалов и особенно грунтов, изменение их свойств с течением времени вследствие ползучести и накопления повреждений; возможность отклонения нагрузок от их расчетных значений; неблагоприятное воздействие эксплуатационной среды; неблагоприятное воздействие температуры, неточностей изготовления конструкций, возможность неравномерных осадок и деформаций

Применение компьютерных программ для расчета сооружений увеличило эффективность работы проектировщика, но не избавило его от необходимости самому принимать ответственные решения.

Имеющиеся методы программирования не позволяют полностью исключить ошибки в текстах программ. Среди программистов существует мнение, что одна ошибка на десять тысяч строк программы - это нормально (для примера, программа Windows содержит около сорока миллионов строк – может быть, поэтому она так часто «зависает»?).

Производители программ не гарантируют их абсолютно надежную работу и не рискуют брать на себя ответственность за их использование. Об этом обязательно указывается в лицензионных договорах, правда не на первых страницах и не всегда крупным шрифтом.

Пример отрывка из такого договора: «ни при каких обстоятельствах AUTODESK не несет ответственности за какие-либо убытки или ущерб, включая утрату данных, упущенную выгоду, расходы на возмещение и иные случайные или косвенные убытки, связанные с использованием программного обеспечения».

Что же делать проектировщику в данном случае? Опыт работы квалифицированных проектировщиков позволил выработать ряд правил проверки правильности расчета сооружений с помощью программных комплексов.

Расчет желательно выполнять не один раз, а несколько, причем разными расчетчиками. Следует провести расчет при несколько измененных входных данных (проверить устойчивость заложенной в программный комплекс модели, да и самой программы, к возможным отклонениям исходных данных). Расчет следует проводить с помощью не одного, а как минимум двух программных комплексов и сопоставлять результаты расчета. И самое надежное – нужно упростить до предела расчетную схему проектируемой конструкции так, чтобы ее можно было рассчитать с использованием простых методов на ручном калькуляторе и сопоставить результаты этого расчета с компьютерным. И если результаты такого упрощенного расчета будут отличаться от результатов расчета, выполненного на компьютере с помощью сложного программного комплекса на 20-30%, то результатам расчета программного комплекса можно доверять.

Для уменьшения количества ошибок, которые могут появиться в процессе проектирования следует реализовать мероприятия, направленные на устранение причин, приводящих к появлению этих ошибок [3]:

- - перед началом проектирования постараться собрать и систематизировать возможно большее количество информации о предполагаемой сфере работы сооружения, причем не только положительной, которая нравится, но и что не менее важно, отрицательной и не пренебрегать ею в процессе анализа;

- - принимать меры по совершенствованию кадров проектировщиков, для чего направлять их на соответствующие курсы повышения квалификации, стимулировать их желание побольше узнать о своей профессии, знакомиться с современной информацией на необходимую тему; для этого обеспечить проектную организацию необходимым набором современной научной, проектной литературы, периодической технической журнальной и газетной информацией. Поручить техническим отделам и библиотекам организовывать подборки литературы по определенным темам, коррелирующим с профилем работы предприятия;

- - не бояться организовывать свободное обсуждение разрабатываемых решений и не бояться появления отрицательных мнений; весьма эффективно даже специально назначать «адвокатов дьявола», в задачу которых входит выискивать в проектах недостатки, ошибки, недоработки;
- - организовывать проектные группы из специалистов с учетом их психологических особенностей так, чтобы в группу входили и генераторы идей, и аналитики, и критики, и синтезаторы;
- - предусматривать возможность развития событий по негативному сценарию и разрабатывать (хотя бы вчерне) запасные варианты решения проблемы.

Так как наши страны в области применения компьютерных методов к задачам расчета и моделирования поведения конструкций столкнулись с вышеуказанными проблемами на 10- 15 лет позже ряда зарубежных стран, то полагаем, будет представлять интерес опыт зарубежных специалистов в этой области. Это опыт изложен в кодах и руководствах различных инженерных обществ и даже включен в строительные нормы Нью-Йорка.

Согласно этим материалам эксперты надзорных органов могут привлечь по своему усмотрению для проверки расчётов или проектных решений, выполненных на основании сложных расчётов, компетентную стороннюю независимую экспертную организацию или эксперта, и поручить им выполнить проверку правильности представленных расчётов. Такой привлеченный независимый эксперт называется «peer reviewer» – «сторонний проверяющий». Понятно, что услуги привлеченных сторонних экспертов оплачиваются дополнительно к стоимости основной экспертизы и за счёт средств заказчика. Эксперты вправе привлечь сторонних специалистов для дополнительного расчетного анализа в случае, если проект сделан не на основании известных нормативных документов, а обосновывается специальными расчетами, выполненными с привлечением программных средств. В некоторых случаях эксперты не только имеют право так делать, но даже обязаны поступать таким образом.

Эксперты при проведении экспертизы не должны проверять непосредственно сами расчёты. Они должны ознакомиться с исходными данными для расчета, с результатами расчёта и выполнить оценку достаточности и надежности исходных данных и достоверности полученных

результатов. Для оценки достоверности эксперты могут применить или свой собственный расчет (возможно даже по упрощенной расчетной схеме) или другие приемлемые способы оценки.

При анализе представленных на экспертизу результатов расчета эксперты должны быть уверены, что расчёт выполнялся компетентным и квалифицированным специалистом, поэтому в документацию по расчёту должна быть включена достаточно полная информация о специалистах, принимавших участие в расчете (их образовании, опыте и квалификации в предметной области, в области компьютерного моделирования и применения конкретных программных комплексов), а также достаточно полно и обоснованно быть изложена методология расчета. Неотъемлемым элементом расчёта является доказательство не только сходимости использованных методов, но и достоверности выполненного расчёта – его верификация. Поэтому информация о проверке расчета – его верификации должна приводиться в документации расчёта и предоставляться на проверку. Обычно для верификации используется другая, нередко более простая методика или более простая расчетная схема, позволяющая выполнить расчет с использованием простых калькуляторов, то есть практически «ручным способом». Ясно, что экспертам легче выполнить проверку достоверности результатов расчёта с использованием более простых расчетных схем, приближенных методов, не требующих мощных компьютеров и дорогостоящих программ, чем проверять непосредственно компьютерные модели и вычисления с использованием мощных программных средств.

При выполнении расчетов проектировщики (или привлекаемые расчетчики) должны стремиться использовать апробированные, доказавшие свою надежность методы. Интересно, что ни в одном зарубежном нормативном документе или инженерном руководстве не оговаривается, что используемая методика расчёта или компьютерная программа должны быть сертифицированы каким-либо органом по сертификации. Обычно указывается, применяемые программные комплексы и математические методы должны пройти валидацию (представляющую собой процесс оценки правильности сделанных допущений и вывода основных уравнений используемой методики), которая должна быть изложена в доступном техническом руководстве (обычно прилагаемом к программному комплексу).

В определенной мере это документированная оценка адекватности использованной модели (с учетом ее дискретизации и компьютеризации) и методики реальному моделируемому процессу в рассчитываемом сооружении. Обычно такое руководство к программе представляет собой не тонкую брошюру, в которой приведена информация по сравнению полученных с помощью программного комплекса результатов расчета с экспериментальными данными. На основании этой информации квалифицированный инженер и расчетчик могут принять самостоятельное решение о возможности применения использованной в программе методики для решения своей инженерной задачи, за которую они несут ответственность. Понятно, что и эксперты не только могут, но и должны воспользоваться такой методологией оценки адекватности результатов.

Что же касается исходных данных для расчета и моделирования, а также исходных гипотез и допущений, если они не общеприняты, а также результатов чьих-то научных исследований и экспериментальных данных, то они должны прикладываться к выполняемому расчету в виде ксерокопий.

Выводы

Скорее всего, в наших странах после набора определенного опыта проектирования в условиях действия вышеуказанной «гибкой» технологии проектирования, опирающейся на «Технические регламенты», «Национальные стандарты», наработанные «Стандарты предприятий и организаций» будут уточнены и более корректно сформулированы подходы, приемы, методики быстрой, надежной, понятной и проверяемой процедуры оценки достоверности расчётов с применением сложного компьютерного моделирования. Одним из возможных подходов к решению такой задачи может быть добавление к паре проектировщик (расчетчик) - эксперт третьего специалиста, привлекаемого к проверке расчёта и разделяющего ответственность за правильность конечного результата. При этом этот третий специалист, скорее всего, должен подбираться под требования проверяемой задачи исходя из его опыта, квалификации, а также наличия и умения использовать необходимое компьютерное оборудование и программное обеспечение.

В современных условиях эксперты, привлекаемые к экспертизе проектной документации, должны:

- знать основные принципы, концепции и требования нормативных документов;
- иметь образование в области, связанной с его профессиональной деятельностью как эксперта;
- быть компетентными в использовании оценки рисков и опасных факторов в качестве метода расчёта;
- иметь опыт проведения экспертизы проектной документации, соблюдения расчётных требований и требований к документации, а также подтверждения выполнения проектных задач.
- обладать высоким уровнем знаний в области проектирования, необходимым для анализа выполненных расчетов в сфере его компетенции.

Что же касается используемых при проектировании сооружений компьютерных моделей, то необходимо чтобы:

- все работы по компьютерному моделированию выполнялись под руководством проектировщика; при этом программист – расчетчик должен обладать знаниями и опытом применения программы для решения инженерных задач с учетом требований нормативных документов;
- информацию об используемом программном необходимо представлять в качестве неотъемлемой части документации (название программного комплекса, его краткое описание, виды выполняемых расчетов, входные и выходные данные, с указанием, откуда они берутся и каким образом они используются при проектировании).
- следует предоставлять информацию об используемых уравнениях точных и приближенных математических моделей, имеющих неопределённости, допущениях, ограничениях, областях применения; желательно предоставить несколько примеров простых воспроизводимых исходных данных и эталонных тестов.

Возможная структура стандарта организации (СТО) по оформлению документации по программному обеспечению расчета конструкций и сооружений может иметь следующий вид.

СТО «Состав и оформление документации программного обеспечения в области расчета транспортных сооружений»

Предисловие

Сведения о стандарте

1. Область применения
2. Нормативные ссылки
3. Термины и определения
4. Общие положения
5. Состав и обозначение документации
6. Декларация программы
7. Техническое руководство
8. Руководство пользователя
9. Руководство по валидации (проверке адекватности) модели
10. Руководство по верификации расчетов
11. Контрольные примеры.
12. Библиография

Литература

1. Криксунов Э.З., Перельмутер А.В. О расчетных моделях сооружений и возможностях их анализа // CADmaster. – 2000. – № 3. – С. 38-43.
2. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. – М. :ДМК Пресс, 2007. – 600 с.
3. Овчинников И.Г. Овчинников И.И., Кононович В.И. Оценка достоверности численных расчетов при проектировании: доверять или не доверять компьютерам?// Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 200-й годовщине победы России в Отечественной войне 1812 года «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе». Том 3. Модернизация в сфере эксплуатации, строительства и реконструкции объектов транспортной инфраструктуры. Издательство Пермского национального исследовательского политехнического университета. Пермь. 2012. – С. 377–388.