

Трубопроводные системы: точность расчета. Все ли так безоблачно?

В настоящее время на рынке программных продуктов появилось достаточное количество расчетных программ, позволяющих проводить прочностной анализ трубопроводных систем, в связи с чем пользователям непросто определиться, какой продукт наиболее оптимально подходит под нужды предприятия, института, заказчика. Стоит ли в этом вопросе опираться на пресловутое соотношение цена/качество?

При всей схожести основных решаемых задач, которые стоят перед программными комплексами, каждый из них имеет свои отличительные особенности, и не всегда покупатель может самостоятельно и достаточно быстро разобраться в них, поскольку какие-то возможности программы лежат на поверхности, а о каких-то разработчики умалчивают.

Маркетинговые тезисы о дружелюбном интерфейсе и простоте интерпретации результатов расчета не новы и знакомы многим. Однако мало кто из покупателей принимает во внимание “механизм решения”,

реализованный в конкретном программном комплексе, то есть то, на каких алгоритмах он построен, насколько точны полученные результаты и какие граничные условия в нем имеются. Однако именно это является основным показателем надежности программного продукта и гарантией адекватности полученных показателей.

Опубликованная ранее в REM статья (REM № 01-02, 2019) была посвящена необходимости использования модуля динамического анализа как самого современного подхода для решения нестационарных режимов в трубопроводе. Не каждое ПО позволяет это сделать, что в свою очередь уже говорит о слабости алгоритмов, на основе которых происходит анализ. Здесь мы рассмотрим возможности и некоторые задачи, решаемые статическим модулем Solver программного комплекса CAESAR II.

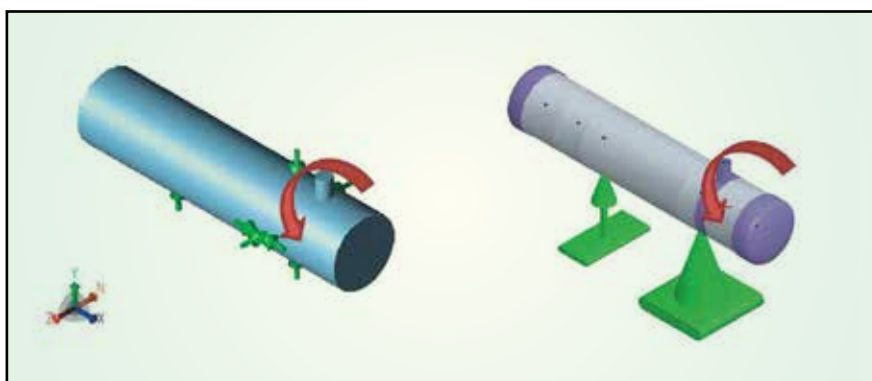
С расчетной точки зрения трубопровод представляет собой неразрезную конструкцию, составленную из жестко соединенных между собой

оболочек вращения или стержней. Для классификации таких систем существуют два признака. Один из них кинематический. По этому критерию стержневые системы делятся на геометрически неизменяемые и геометрически изменяемые. В классическом понимании геометрически неизменяемыми являются почти все строительные конструкции. Вопросы появляются тогда, когда конструкция превращается в геометрически изменяемую, то есть не предназначенную для восприятия нагрузок и передачи их на опоры. Достаточно часто в этом случае отсутствие опыта расчетчика или простая человеческая ошибка могут привести к некорректности задания исходных данных в программе.

Наша задача – выяснить, как алгоритм решения программы отреагирует на это – укажет ли на ошибку или попытается самостоятельно наложить дополнительные граничные условия, чтобы получить приемлемый результат. Для проверки указанной задачи проведем сравнение в двух программах, одной из которых будет CAESAR II.

В рассматриваемом примере смоделирован аппарат без мертвых опор. В первом варианте расчета внешние нагрузки отсутствуют. Во втором варианте имеется внешний крутящий момент (рис. 1а). Модель, показанная на рис. 1, кинематически неподвижна. При приложении к аппарату изгибающего момента он может свободно вращаться вокруг продольной оси.

Результаты расчета модели, построенной в CAESAR II (рис. 1а), приведены в табл. 1-3. Они показывают, что в аппарате присутствуют



а) CAESAR II

б) Другое ПО

Рис. 1. Модель горизонтального аппарата

Табл. 1. Пример 1 – момент равен нулю. Перемещение узлов

CAESAR II				Другое ПО				
Номер узла	X, мм	Y, мм	Z, мм	Номер узла	X, мм	Y, мм	Z, мм	RX, град
10	-5,74	0,00	0,00	10	-6,26	0,10	-0,10	15,07
20	-4,54	0,00	0,00	20	-4,96	0,04	0,04	15,07
30 – опора	-3,59	0,00	0,00	30 – опора	-3,91	-0,20	0,00	15,07
40 – опора	4	0,00	0,00	40 – опора	0,00	-0,20	0,20	15,07
50 – точка приложения момента	0,84	0,00	0,00	50 – точка приложения момента	0,91	-0,30	0,20	15,07
60	2,03	0,00	0,00	60	2,22	-0,20	0,25	15,07

Табл. 2. Пример 2 – момент равен 10 Н·м. Перемещение узлов

CAESAR II					Другое ПО				
Номер узла	X, мм	Y, мм	Z, мм	RX, град	Номер узла	X, мм	Y, мм	Z, мм	RX, град
10	-5,74	0,00	0,00	5071	10	-6,26	0,02	-0,03	-4,53
20	-4,54	0,00	0,00	5071	20	-4,96	0,01	-0,01	-4,53
30 – опора	-3,59	0,00	0,00	5071	30 – опора	-3,91	0,00	-0,00	-4,53
40 – опора	4	0,00	0,00	5071	40 – опора	0,00	-0,05	0,05	-4,53
50 – точка приложения момента	0,84	0,00	0,00	5071	50 – точка приложения момента	0,91	-0,01	0,1	-4,53
60	2,03	0,00	0,00	5071	60	2,22	-0,01	0,1	-4,53

Табл. 3. Пример 3 – момент равен 20 Н·м. Перемещение узлов

CAESAR II					Другое ПО				
Номер узла	X, мм	Y, мм	Z, мм	RX, град	Номер узла	X, мм	Y, мм	Z, мм	RX, град
10	-5,74	0,00	0,00	10142	10	-6,26	-0,05	0,04	6,01
20	-4,54	0,00	0,00	10142	20	-4,96	-0,02	0,02	6,01
30 – опора	-3,59	0,00	0,00	10142	30 – опора	-3,91	0,00	0,00	6,01
40 – опора	4	0,00	0,00	10142	40 – опора	0,00	0,10	-0,10	6,01
50 – точка приложения момента	0,84	0,00	0,00	10142	50 – точка приложения момента	0,91	0,10	-0,10	6,01
60	2,03	0,00	0,00	10142	60	2,22	0,10	-0,10	6,01

только линейные расширения, зависящие от температуры, а при возникновении изгибающего момента появляется угол поворота, который увеличивается одновременно с приложенным моментом.

Другая модель (рис. 1б) показывает, что результаты получаются недостоверными еще на этапе первого примера (без приложенного изгибающего момента). Появление боковых линейных и угловых перемещений говорит о невозможности системы уравнений справиться с этой задачей. А при приложении изгибающего момента и его изменении мы получаем непредсказуемые изменения перемещений.

Как показывают результаты расчета, во второй программе при расчете таких систем разрешающая система уравнений получается плохо

обусловленной, в которой малое изменение исходных данных приводит к непредсказуемым изменениям в результатах расчета. Это как нельзя нагляднее свидетельствует об ограничениях и слабости решателя.

Перейдем ко второму примеру (рис. 2 и 3). В нем мы также рассмотрим проблемные/ошибочные участки, это – установка осевых компенсаторов без промежуточной неподвижной опоры и близко расположенные тройники.

В данном случае рассматривается обычная система с рабочим давлением и температурой без дополнительных внешних воздействий. Результаты расчета приведены в табл. 4-6.

Результаты расчета также показывают отсутствие полной схожести результатов, особенно в

плане перемещений. В программе CAESAR II компенсатор моделируется двумя точками, что позволяет провести более точный расчет перемещений в начальном и конечном узлах для определения общей работы элемента.

Кроме этого, граничные условия решателя, накладываемые на другую расчетную модель, в плане мгновенно изменяемой системы (в пределах податливости) создают перемещения конструкции в противоположном направлении от перемещений, рассчитанных с помощью CAESAR II.

Несмотря на то что, как уже говорилось ранее, модели являются тестовыми, а не рабочими и они заведомо смоделированы с ошибками, именно такие примеры позволяют наглядно увидеть отличия и ограничения решателя программы,

Табл. 4. Перемещение узлов – рабочий режим

CAESAR II				Другое ПО			
Номер узла	X, мм	Y, мм	Z, мм	Номер узла	X, мм	Y, мм	Z, мм
40 – начало компенсатора	0,00	-0,27	4,61	40 – точка компенсатора	0,00	-0,39	-1,76
50 – окончание компенсатора	0,00	-0,27	-2,14				
80 – начало компенсатора	0,01	-0,32	1,56	80 – точка компенсатора	0,01	-0,44	2,21
90 – окончание компенсатора	0,01	-0,32	-4,31				
130 – тройник	0,20	0,90	0,61	130 – тройник	0,17	0,88	0,82
140 – тройник	0,13	1,33	0,76	140 – тройник	0,05	0,97	2,31

Табл. 5. Перемещение узлов – холодный режим

CAESAR II				Другое ПО			
Номер узла	X, мм	Y, мм	Z, мм	Номер узла	X, мм	Y, мм	Z, мм
40 – начало компенсатора	0,00	-0,26	-0,30	40 – точка компенсатора	0,00	-0,39	0,73
50 – окончание компенсатора	0,00	-0,26	0,13				
80 – начало компенсатора	0,01	-0,30	-0,11	80 – точка компенсатора	0,01	-0,41	0,58
90 – окончание компенсатора	0,01	-0,30	1,77				
130 – тройник	-0,28	0,60	1,45	130 – тройник	-0,28	0,43	1,30
140 – тройник	-0,49	0,89	1,44	140 – тройник	0,49	0,66	1,30

Табл. 6. Напряжения

Номер узла	CAESAR II				Номер узла	Другое ПО			
	Холодное состояние		Рабочее состояние			Холодное состояние		Рабочее состояние	
	$\sigma_{\text{дейст'}}$ МПа	$\sigma_{\text{доп'}}$ МПа	$\sigma_{\text{дейст'}}$ МПа	$\sigma_{\text{доп'}}$ МПа		$\sigma_{\text{дейст'}}$ МПа	$\sigma_{\text{доп'}}$ МПа	$\sigma_{\text{дейст'}}$ МПа	$\sigma_{\text{доп'}}$ МПа
40 – начало компенсатора	2,66	180,99	2,65	217,2	40 – точка компенсатора	3,75	180,99	4,65	217,2
50 – окончание компенсатора	2,66	180,99	2,66	217,2					
80 – начало компенсатора	2,82	180,99	2,88	217,2	80 – точка компенсатора	3,73	180,99	4,91	217,2
90 – окончание компенсатора	2,86	180,99	2,94	217,2					
130 – тройник	10,92	180,99	19,59	217,2	130 – тройник	27,03	180,99	–	217,2
140 – тройник	14,21	180,99	23,91	217,2	140 – тройник	32,79	180,99	–	217,2



Рис. 2. Модель трубопроводной системы, выполненная в CAESAR II

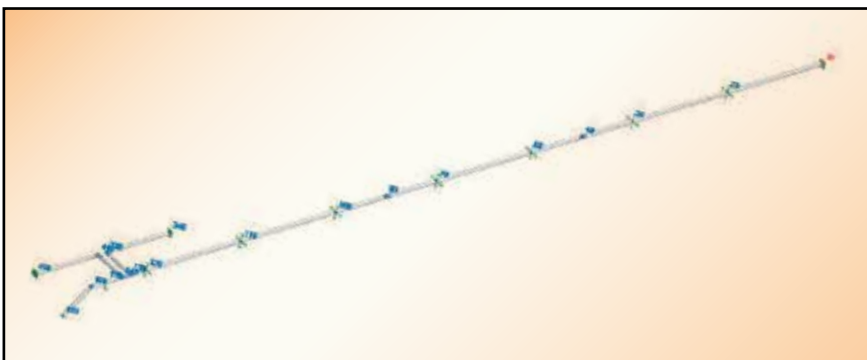


Рис. 3. Модель трубопроводной системы, выполненная в другой программе

которые во второй программе присутствуют налицо.

Может возникнуть логичный вопрос – почему подразумевается, что Solver программы CAESAR II лучше, и именно она проводит расчет грамотно, а не стороннее ПО. Ответ на этот вопрос очевиден: программный комплекс CAESAR II проходил верификационную проверку на точность полученного решения в соответствии со стандартом ASME B31, а другая программа нет.

Приведенные примеры заставляют задуматься, стоит ли экономить на программном обеспечении и провоцировать экологические проблемы, когда отказы на объектах приводят к локальным и масштабным загрязнениям окружающей среды, что в свою очередь создает повышенный риск безопасности персонала и населения.

**По материалам группы
CADWorx & Analysis Solutions,
компания Hexagon PPM**

6–9 ОКТЯБРЯ 2020



X ПЕТЕРБУРГСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГАЗОВЫЙ ФОРУМ

ПРИЗНАННАЯ ПЛОЩАДКА ДЛЯ ДИСКУССИИ
О РАЗВИТИИ МИРОВОЙ ГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



МИНПРОМТОРГ
РОССИИ

ПАРТНЕРЫ



ОРГАНИЗАТОР

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ
ПАРТНЕР

EXPOFORUM



КОНГРЕССНО-ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР
ЭКСПОФОРУМ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, ПЕТЕРБУРГСКОЕ ШОССЕ, 64/1

+7 (812) 240 40 40 (ДОБ. 2160, 2122)
GF@EXPOFORUM.RU

GAS-FORUM.RU 18+



6-9
ОКТАБРЯ 2020

КЛЮЧЕВАЯ
ПЛОЩАДКА
СФЕРЫ ТЭК



РОССИЙСКИЙ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ
РМЭФ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
ФОРУМ

XXVII МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА



ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ
ПАРТНЁР



ПАРТНЁР



18+

КОНГРЕССНО-ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР
ЭКСПОФОРУМ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, ПЕТЕРБУРГСКОЕ ШОССЕ, 64/1

ENERGYFORUM.RU
rief@expoforum.ru
+7 (812) 240 40 40, доб.2160

EXPOFORUM

ENERGETIKA-RESTEC.RU
energo@restec.ru
+7 (812) 303 88 68

