

Целесообразность проведения динамических расчетов трубопроводных систем

Трубопроводы относятся к категории энергонапряженных объектов, отказы которых, как правило, влекут за собой значительный материальный и экологический ущерб. Многочисленные отказы на технологических трубопроводах приводят к локальным и масштабным загрязнениям окружающей среды, создают повышенный риск для безопасности персонала и населения. Определяющим критерием экологической безопасности трубопроводов является их надежность – один из основных показателей качества любой конструкции.

Надежность трубопроводных систем испытывается при воздействии как статических, так и динамических нагрузок. Статические нагрузки прилагаются достаточно медленно, чтобы трубопроводная система успела отреагировать и внутренне распределить нагрузки, оставаясь тем самым в состоянии равновесия.

С динамическими нагрузками дело обстоит совсем иначе. Они быстро изменяются с течением времени, и может получиться так, что за время воздействия нагрузок трубопроводная система не успеет внутренне распределить нагрузки, поэтому силы и моменты сил не всегда разрешаются, в результате возникают несбалансированные нагрузки, вследствие чего происходит движение трубы. Поскольку сумма сил и моментов сил не обязательно равна нулю, внутренне наведенные нагрузки могут оказаться разными – выше или ниже приложенных нагрузок.

Ввиду указанной проблемы перед инженерами довольно часто встает вопрос, каким образом учитывать динамические ударные нагрузки и учитывать ли их вообще. Такая постановка вопроса обусловлена как необходимостью сбора дополнительных исходных данных, так и наличием определенных ограничений в различных программных комплексах, поскольку не секрет, что не все программы для расчета трубопроводных систем на прочность и устойчивость позволяют проводить динамический анализ, ограничиваясь лишь статическим (например, программа СТАРТ). Естественным образом напрашивается вопрос, насколько целесообразно в век передовых технологий и широчайших возможностей использовать консервативные методы расчета, основанные на выкладках прошлого столетия, когда и в помине не существовало современных вычислительных ресурсов.

Данная статья ставит целью показать необходимость проведения именно динамического анализа ударных нагрузок в трубопроводных системах. Такой метод расчета полностью оправдал себя в различных международных

проектах, в том числе реализованных на территории Российской Федерации.

В подтверждение обоснованности применения современных подходов в сфере программного обеспечения предлагается рассмотреть преимущества двухстороннего расчета трубопроводной системы в одном из наиболее передовых программных комплексах – Hexagon CAESAR II.

Для сравнительного анализа была выбрана реальная модель трубопроводной системы с выходом на колонну (рис. 1).

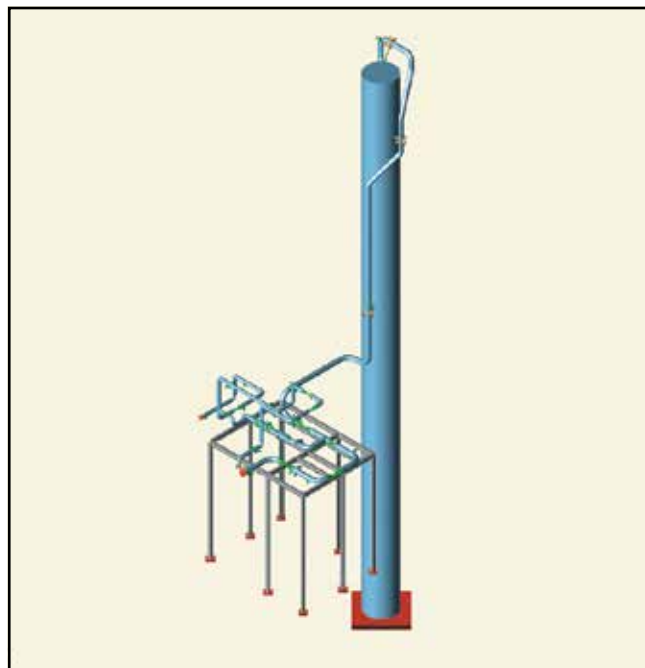


Рис. 1. Модель трубопроводной системы

В условиях эксплуатации трубопроводная система опирается на строительную эстакаду, а вертикальный выход трубопровода для уменьшения подвижности крепится к колонне фермами. По трубопроводу идет двухфазный поток (жидкость/газ), в котором при определенных скоростях возникает пробковое течение.

Пробковое течение характерно для двухфазного потока, где образующиеся волны “собирают” периодически быстро движущийся газ, образуя вспененные поверхностные пробки (рис. 2), которые передвигаются вдоль трубы с большей скоростью, чем средняя скорость жидкости. При таком типе течения пробки могут создавать серьезные, а в некоторых случаях опасные вибра-

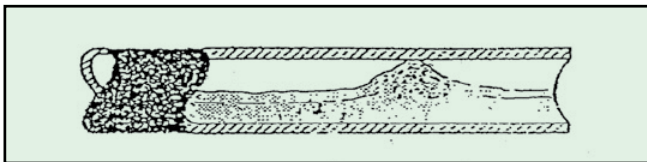


Рис. 2. Пробка

ции в трубопроводных системах из-за воздействия высокой начальной скорости пробки в деталях, таких как отвод, тройник и т.п. Чрезмерная вибрация может привести к поломке элементов вследствие усталости металла и эффекта резонанса. Этой проблемы можно избежать путем тщательного расчета на этапе проектирования.

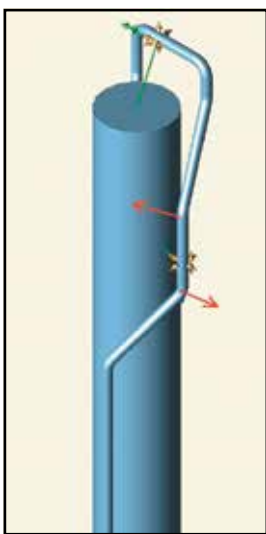


Рис. 3. Место удара пробки

Произведенный гидравлический расчет выявил возможность появления ударов от пробки на режимах пуска/остановки системы. По результатам расчета, пробковая волна генерируется на вертикальном прямолинейном участке и создает силу удара в двух отводах по ходу движения (рис. 3).

Системный отклик на данную динамическую нагрузку может быть больше или меньше статической величины силы. Максимальный динамический отклик от ударной нагрузки в любое время равен двойному отклику от статической силы.

Отношение динамического отклика к статическому называют коэффициентом динамической нагрузки (DLF). DLF отражает отношения между временем события (временем срабатывания, затухания и продолжительностью) и динамическими особенностями трубопроводной системы – ее собственными частотами. Зная статическую нагрузку и достоверную частоту трубопроводной системы, можно произвести достоверную оценку системного отклика на воздействие нагрузки.

Первоначально рассчитывается сила удара. Ударную нагрузку в трубопроводной системе можно оценить разными способами. Распространено два вида расчета ударной нагрузки от пробкового течения: консервативный – эквивалентный статический и современный – динамический. Рассмотрим их оба.

Консервативный подход применяется для расчета систем в тех программных комплексах, которые не имеют возможностей динамического анализа. Статический эквивалентный метод заключается в простом приложении статической силы и умножении полученного результата на коэффициент динамической нагрузки (DLF) с последующим учетом в статическом расчете. Этот самый простой, самый консервативный метод использует максимально возможный DLF, равный 2 (рис. 4).

В рассматриваемом примере для получения корректных результатов расчета были созданы дополнительные сочетания нагрузок для просмотра нагрузок на патрубок колонны и для оценки кратковременных напряжений (рис. 5).

Второй, современный, метод – динамический анализ по спектру отклика с учетом работы строительной конструкции – используется для точного расчета в программах (таких как, например, Hexagon CAESAR II), позволяющих проводить динамический анализ трубопроводных систем с учетом (или без) работы строительных конструкций.

Обычно в системе существует больше одной формы колебания, и тогда простой статический эквивалентный подход может привести к ошибочным результатам. Отклик на каждую форму колебания должен быть рассчитан и затем объединен, чтобы приблизиться к значению, отражающему полный отклик системы. Для описываемой задачи наиболее подходит Метод спектра отклика (Slug Flow Spectrum). В программе отклик каждой формы рассчитывается на основе своего DLF (рис. 6). Эти модальные отклики объединяются методом SRSS (сумма квадратно-

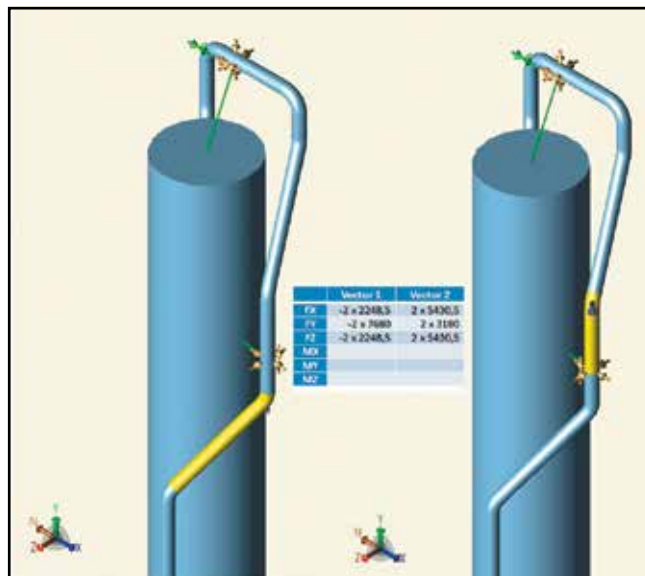


Рис. 4. Приложение статической эквивалентной нагрузки

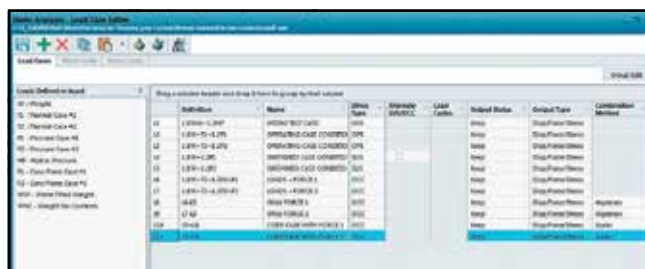


Рис. 5. Сочетание статических нагрузок

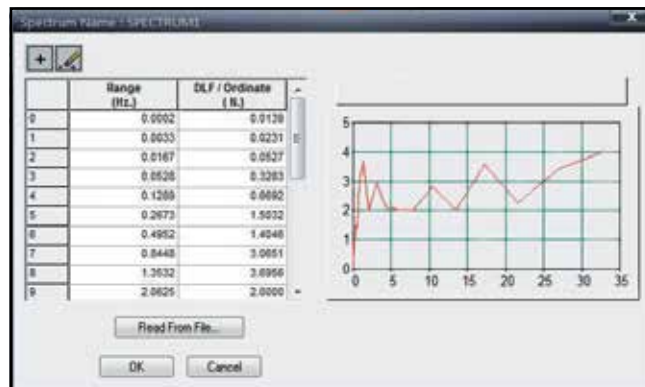


Рис. 6. Данные пульсационной нагрузки

Табл. 1. Сравнение действующих и допускаемых нагрузок на патрубок колонны. Статика

| Узел 350 | | Fa Н. | Fb Н. | Fc Н. | Ratio | Ma Н.м. | Mb Н.м. | Mc Н.м. | Ratio |
|----------|---------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|-------|
| | Допуск | 8000 | 11000 | 8000 | | 8000 | 10000 | 8000 | |
| | 6 (ОСС) | -2061 | 7721 | -704 | 0,702 | -588 | -3279 | -7323 | 0,915 |
| | 7 (ОСС) | -2579 | 9202 | 373 | 0,837 | -159 | -4605 | -7878 | 0,985 |

Табл. 2. Сравнение действующих и допускаемых нагрузок на патрубок колонны. Динамика

| Узел 350 | | Fa Н. | Fb Н. | Fc Н. | Ratio | Ma Н.м. | Mb Н.м. | Mc Н.м. | Ratio |
|----------|---------|-------|-------|-------|--------------|---------|---------|---------|---------------|
| | Допуск | 8000 | 11000 | 8000 | | 8000 | 10000 | 8000 | |
| | 6 (ОСС) | -1604 | 10816 | -1460 | 0,983 | -662 | -4484 | 8004 | 1,0005 |
| | 7 (ОСС) | -3855 | 22146 | -2301 | 2,013 | -1230 | -10546 | 17740 | 2,2175 |

го корня квадратов) для определения полного отклика системы на воздействие.

Первое, что мы делаем, – создаем профиль спектра. Ударная сила является одним из видов импульсной нагрузки. Поэтому ее величина меняется от нуля до максимального значения, остается постоянной в течение некоторого времени, и далее снижается до нуля.

По результатам произведенного соответственно описанному методу расчета получили, что в двух случаях, действующие напряжения получили близкие расчетные значения, а вот результаты расчета действующих нагрузок на патрубок колонны отличались кардинально (табл. 1-2).

Результаты расчета подтверждают, что, как было сказано выше, статический эквивалентный метод не всегда дает корректные результаты и при расчете проекта может вводить инженеров в заблуждение. Самое опасное, что это приводит не просто к поломкам конструкции и дополнительным финансовым затратам, но и к экологическим катастрофам.

Определяющим критерием безопасности трубопроводов является их надежность. Таким образом, расчетные модели трубопроводов и парков должны строиться с учетом современных передовых методик и с применением комплексных технологий.

Так какой подход лучше?

Большая проблема при статическом подходе к динамическому моделированию состоит в том, что фокус в нем делается на приложенной нагрузке, а не на важных динамических особенностях системы. Эта ошибка приводит ко множеству проблем. Оценка ударной нагрузки при статическом эквивалентном расчете хотя и производится быстро, но она не выделяет динамические сходства между приложенной нагрузкой и системным откликом.

Динамический расчет по спектру отклика достаточно прост и дает больше важной информации. Он требует большего количества исходных данных, но дополнительные результаты стоят этих усилий. Для понимания полной картины требуется получение спектра отклика. В описанном примере был построен собственный спектр отклика для расчета пробкового течения использованием генератора нагрузок программы, и результаты анализа показали целесообразность проведенного расчета.

Наталья Гаврилина,
руководитель направления CAE,
группа CADWorx & Analysis Solutions

НОВОСТИ

Schneider Electric – новая облачная платформа для промышленных машин

Компания Schneider Electric представила свою новую облачную платформу для удаленного доступа к промышленным машинам и их обслуживанию – EcoStruxure Machine Advisor.

Решение EcoStruxure от компании Schneider Electric – это открытая комплексная платформа на основе технологии IoT с собственной архитектурой, которая обладает высокой функциональной совместимостью и применяется в самых различных отраслях промышленности. Платформа

призвана повысить безопасность, надежность, эксплуатационную эффективность, снизить влияние на окружающую среду и открыть новые возможности для связи между устройствами в самых разных областях промышленности и производства.

Готовые к вызовам будущего решения в области оборудования и передовые технологии “умной” автоматизации EcoStruxure Machine позволяют производить более безопасное и гибкое оборудование, а также минимизировать затраты на обслуживание машин и достигать максимальной операционной эффективности производства.

EcoStruxure Machine Advisor состоит из трех основных модулей, которые призваны обеспечить оптимальные условия для надежной и безопасной работы промышленных машин:

- **Сервис визуализации**, обеспечивающий web-доступ ко всем подключенным машинам в режиме реального времени.
- **Сервис аналитики**, предоставляющий удаленный контроль и анализ состояния и производительности машин.
- **Удаленное техническое обслуживание**, дающее возможность исправления неполадок оборудования из любой точки мира. Обеспечивает

подключение и программирование промышленных контроллеров линейки M2xx и панелей оператора Magelis через Интернет-браузер стационарного ПК или мобильного устройства вне зависимости от фактического местонахождения сотрудника.

В совокупности три этих элемента позволяют партнерам Schneider Electric обеспечивать своим клиентам принципиально новый сервис по обслуживанию любой промышленной установки в любой точке мира, предоставляя для них исчерпывающую картину всего того, что происходит на производстве.

XXIII МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ГАЗОВОГО ХОЗЯЙСТВА

В РАМКАХ IX ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕЖДУНАРОДНОГО ГАЗОВОГО ФОРУМА

ОФИЦИАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА ВЫСТАВКИ:



1-4
октября
2019



НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ЦИФРОВЫЕ РЕШЕНИЯ

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ
РАЗРАБОТКИ**

ОРГАНИЗАТОР ПЕТЕРБУРГСКОГО
МЕЖДУНАРОДНОГО ГАЗОВОГО ФОРУМА:
EXPOFORUM

ОРГАНИЗАТОР
ВЫСТАВКИ: **FareXPO** **FE**[®]
PROFESSIONAL EXHIBITION & CONGRESS ORGANIZER

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАРТНЕР ВЫСТАВКИ:

**ГАЗОВАЯ
ПРОМЫШЛЕННОСТЬ**

**ТЕРРИТОРИЯ
НЕФТЕГАЗ**

**КОРПОЗИЯ
НЕФТЕГАЗ**

Тел/факс: +7 (812) 777-04-07; 718-35-37
E-mail: gas2@farexpo.ru www.rosgasexpo.ru

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:
г. Санкт-Петербург, КВЦ «ЭКСПОФОРУМ», павильон G

1-4 ОКТЯБРЯ 2019



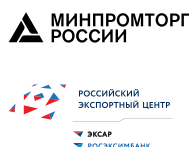
IX ПЕТЕРБУРГСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГАЗОВЫЙ ФОРУМ

ПРИЗНАННАЯ ПЛОЩАДКА
ДЛЯ ДИСКУССИИ О РАЗВИТИИ
МИРОВОЙ ГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



ПРИ УЧАСТИИ



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ
ПАРТНЕР



ПАРТНЕРЫ



КОНГРЕССНО-ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР
ЭКСПОФОРУМ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
ПЕТЕРБУРГСКОЕ ШОССЕ, 64/1

+7 (812) 240 40 40 (ДОБ. 2168, 2122)
GF@EXPOFORUM.RU

18+

GAS-FORUM.RU