

УДК 539.4

Моделирование напряженно-деформированного состояния и диагностика резервуаров и трубопроводов

В.В.МОЖАРОВСКИЙ, С.А.МАРЫН

В производственных процессах, например, при нефтепереработке, возникает необходимость решения задачи контроля за состоянием оборудования (емкостей, сосудов и т.д.) применяющегося для хранения агрессивных жидкостей. На крупных предприятиях число контролируемых объектов может достигать нескольких тысяч, поэтому довольно сложно следить за их состоянием, а оценить состояние оборудования предприятия в целом почти невозможно. Поэтому актуальна разработка программного комплекса на ПЭВМ, позволяющего автоматизировать данный процесс. Разработанный в Гомельском государственном университете им. Ф. Скорины программный комплекс[2,3] контроля и диагностики коррозии сосудов и резервуаров позволяет:

- представлять структуру предприятия в виде иерархических схем;
- производить ввод данных о контролируемых объектах вручную или непосредственно со специализированной аппаратурой (приборы – толщиномеры);
- визуализировать все данные контролируемых объектов(изображение, технические параметры, замеры, график хода коррозии);
- прогнозировать процесс хода коррозии технологического аппарата;
- производить оценку прочности и расчет напряженного состояния трубопроводов;
- создавать графические изображения трубопроводов, сосудов и технологические схемы;
- масштабировать изображения;
- выполнять некоторые операции параллельно, в различных потоках;
- производить печать отчетов в виде текста, таблиц и графиков;

Программный комплекс использует открытые, получившие широкое распространение форматы графических файлов. Однако возможна работа и с форматами файлов других САПР. Все базы данных имеют открытую архитектуру и могут быть модифицированы пользователем, а использование интерфейса ODBC делает систему независимой от формата данных, будь то Microsoft Access, dBASE или Oracle. Пользователь, использующий программный комплекс, может работать и автономно на локальном компьютере, и в группе разработчиков на сетевом рабочем месте. Работая в сети, возможности системы можно настроить под любые требования групповой работы. Файлы данных легко передаются по сети и могут быть доступны любым другим проектантам, имеющим соответствующие интерфейсы, доступом к которым есть возможность работать с файлами данного проекта.

Одна из проблем, связанных с разработкой проектов крупных производственных комплексов, относится к управлению и распределению информации между пользователями различными техническими отделами и службами. Большинство фирм тратит значительные средства и время на проверку данных и возможности их получения проектировщиками. Тем не менее, все это бывает бесполезно, если они получают неточные данные. Для большинства проектов необходимо, чтобы проектная информация была постоянно синхронизирована, обновлялась актуальные данные и была доступна всем членам проектной группы. В условиях современной работы большого числа проектировщиков система контроля, реализованная в модуле P&ID программного комплекса, дает возможность пользователям значительно сократить время проверки информации и соответственно время разработки всего проекта.



Рис. 1. Структура взаимодействия модулей программного комплекса

Благодаря свойственной P&ID способности масштабироваться этот модуль подходит для выполнения крупных, средних и небольших проектов. Постоянно меняющиеся объемы чертежной документации и размеры баз данных не усложняют работу, поскольку система P&ID обеспечивает распределение и контроль данных и гарантирует их доставку проектировщику, несмотря на конкретные размеры разрабатываемых проектов. В результате такого подхода, сокращается время разработки проекта за счет наличия динамических линий связи между технологическим чертежом, выполненным в системе AutoCAD, и базой данных проекта. При этом всегда используются самые точные проектные данные вследствие проверки и уточнения их в реальном масштабе времени, а многоуровневая система защиты информации сводит к минимуму ошибки операторов.

Динамические линии связи между технологическим чертежом и базой данных позволяют вносить оперативные изменения в процесс проектирования. Так, в условиях конкретного проекта перечни необходимых приборов, оборудования или трубопроводов могут быть легко и быстро взяты из всех чертежей проектной документации простым удалением их из базы данных. Кроме того, пользователи, занятые разработкой конкретных чертежей, могут мгновенно воспользоваться справочными проектными данными, находящимися в других чертежах, и т.д. Это значительно сокращает время проверки и выбора чертежей из P&ID и сводит к минимуму ошибки проектировщиков как "при контроле технологии", так и при "предсмотре технологии".

Модуль P&ID позволяет сохранять точную базу данных, обеспечивает уникальные номера всех объектов, например, трубопроводов, емкостей и т.д., которые приводятся на всех чертежах проекта, их характеристики и атрибуты. Точность обеспечивается проверкой в реальном масштабе времени базы данных проекта, в момент занесения или изменения атрибутов в чертеже. При обнаружении несуществующих атрибутов или противоречий система извещает пользователя и предлагает скорректировать значения. Такой подход существенно сокращает время проверки чертежей при выполнении проекта и обеспечивает точность и не-противоречивость данных.

Для каждого пользователя или группы устанавливается свой уровень защиты, позволяющий:

- вводить дополнительные признаки в проект;
- удалять признаки из проекта;
- редактировать информацию признака в ходе проекта.

Умелое пользование подобной многоуровневой защитой проектной информации способствует сведению к минимуму человеческого фактора и обеспечивает контроль ошибок. Современный доступ к точной и самой свежей информации для всех членов проектной группы является фундаментальным требованием для успешного завершения больших проектов.

При диагностике коррозии оборудования предприятия применяются методы прикладного регрессионного анализа, которые позволяют на основе результатов замеров (приборы-толщиномеры) строить прогноз с достаточной степенью достоверности[3].

Важным аспектом, предопределяющим точность расчетов и прогнозов, является качественное выполнение работ по технической диагностике контролируемых объектов.

В настоящее время значительно возросло использование трубопроводов из различных композиционных материалов на металлической или полимерной матрице. Анализ накопленного опыта эксплуатации полимерных трубопроводов показывает, что основной причиной разрушения является, как правило, именно недоучет особенностей свойств полимерного материала. В отличие от стальных труб для труб из полимеров при определении нагрузок и опасных сочетаний необходимо учитывать повышенную эластичность труб, вызывающую необходимость тщательного конструирования и склонность некоторых полимеров к растрескиванию под напряжением, усугубляющуюся при повышенном давлении; это требует более точного расчета величины напряжений и деформаций. Расчет напряженного состояния трубопроводов проводится согласно разработанным на основе теории упругости ортотропного тела математическим моделям.

Модель расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) ортотропной толстостенной трубы

Пусть имеется ортотропная толстостенная труба внутреннего радиуса a и внешнего b . Труба подвергается равномерно распределенному давлению. Интенсивность внутреннего давления – через p , наружного – через q . Тогда, полагая, что $\sigma_r = -q$ на внешней стенке трубы и $\sigma_r = -p$ на внутренней соответственно, тогда для компонентов напряжений σ_r и σ_θ в области кольца получаем

$$\begin{cases} \sigma_r = M_0 \left(\frac{a}{r} \right)^{1-\gamma} + N_0 \left(\frac{b}{r} \right)^{1+\gamma} \\ \sigma_\theta = \gamma \left[M_0 \left(\frac{a}{r} \right)^{1-\gamma} - N_0 \left(\frac{b}{r} \right)^{1+\gamma} \right], \end{cases} \quad (1)$$

где

$$M_0 = \frac{qc^{-\gamma} - cp}{c^\gamma - c^{-\gamma}}, \quad N_0 = \frac{qc^{-\gamma} - qc^{-1}}{c^\gamma - c^{-\gamma}}, \quad \gamma^2 = \frac{E_\theta}{E_r}, \quad c = \frac{b}{a} \quad (2)$$

E_r и E_θ – модули упругости в радиальном и трансверсальном направлениях.

Деформации находятся на основании закона Гука из соотношений:

$$\varepsilon_r = \frac{1 + \nu_{rz}}{E_r} \sigma_r - \frac{\nu_{r\theta} + \nu_{rz}\nu_{r\theta}}{E_\theta} \sigma_\theta, \quad \varepsilon_\theta = -\frac{\nu_{r\theta} + \nu_{rz}\nu_{r\theta}}{E_\theta} \sigma_r + \frac{1 + \nu_{\theta z}}{E_\theta} \sigma_\theta, \quad \gamma_{r\theta} = \frac{1}{G_{r\theta}} \tau_{r\theta} \quad (3)$$

Для повышения прочностных характеристик используются полимерные трубопроводы подкрепленные металлической оболочкой.

Модель расчета НДС ортотропной толстостенной трубы, подкрепленной снаружи упругим изотропным покрытием

Пусть имеется труба (ортотропная толстостенная труба с внутренним радиусом a и наружным радиусом b подкреплена снаружи упругой цилиндрической оболочкой толщиной h). Труба имеет правильное неизменное круговое сечение и лишена днищ; длина трубы велика сравнительно с наружным диаметром; Нагрузка, приложенная к трубе, является ради-

альной и равномерно распределенной как по внутренней поверхности трубы, где интенсивность нагрузки обозначается p , так и на внешней поверхности, где интенсивность давления равна q .

Для ортотропного кольца:

$$\begin{cases} \sigma^2_r = C_1^0 r^{k-1} [A_{12} + A_{11}k] + C_2^0 r^{-k-1} [A_{12} - A_{11}k] \\ \sigma^2_\theta = C_1^0 r^{k-1} [A_{22} + A_{12}k] + C_2^0 r^{-k-1} [A_{22} - A_{12}k] \end{cases} \quad (4)$$

где A_{ij} , $i, j = 1, 2$, коэф-ты, зависящие от упругих характеристик E, ν материала трубы

Для упругой изотропной оболочки:

$$\begin{cases} \sigma^1_r = E \left(C_1^I (1+\nu) - C_2^I (1-\nu) \frac{1}{r^2} \right) \\ \sigma^1_\theta = E \left(C_1^I (1+\nu) + C_2^I (1-\nu) \frac{1}{r^2} \right) \end{cases} \quad (5)$$

где $C_1^0, C_2^0, C_1^I, C_2^I$ находится из граничных условий (6) из системы уравнений (7):

- 1) $\sigma_r^1 = -q$, при $r = b + h = c$.
 - 2) $\sigma_r^2 = -p$, при $r = a$.
 - 3) $\sigma_r^1|_{r=b} = \sigma_r^2|_{r=b}$
 - 4) $u^1 = u^2$, при $r = b$.
- (6)

$$\begin{bmatrix} E(1+\nu) & \frac{E(1-\nu)}{c^2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a^{k-1} [A_{12} + A_{11}k] & a^{-k-1} [A_{12} - A_{11}k] \\ E(1+\nu) & \frac{-E(1-\nu)}{b^2} & -b^{k-1} [A_{12} + A_{11}k] & -b^{-k-1} [A_{12} - A_{11}k] \\ b & b^{-1} & -b^k & -b^{-k} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} C_1^I \\ C_2^I \\ C_1^0 \\ C_2^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -q \\ -p \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Таким образом, разработан программный комплекс формирования объектной базы данных расчета напряженно-деформированного состояния и диагностики резервуаров и трубопроводов. Результаты исследования успешно реализованы на практике.

Abstract

The authors develop a program complex of an object database of calculation of tight-deformed states and diagnostics of tanks and oil pipelines.

Литература

1. И.А.Прусов, Термоупругие анизотропные пластиинки, Мн.: БГУ, 1978.
2. В.В.Можаровский, С.А.Марьин, В.В.Орлов, Н.А.Рогачева, Математическое моделирование и создание базы данных для определения напряженного состояния сосудов и резервуаров их волокнистых композиционных материалов, Материалы 20-й Международной конференции "Композиционные материалы в промышленности. СЛАВПОЛИКОМ-2000", Ялта, 2000, С. 69–70.
3. В.В.Можаровский, С.А.Марьин, В.В.Орлов, Мониторинговый программный комплекс расчета напряженно-деформированного состояния трубопроводов, ВЕСТНИК ХГТУ №3(12), Херсон, 2001, С.185–188.

Поступило 22.04.2002