

4. Используйте только безопасные интернет-соединения. Это можно легко проверить: URL адрес сайта, на который вы переходите, должен начинаться с <https://>. Данная технология передачи данных шифрует все данные, которые вы отправляете на сервер сайта, в том числе пароли, номера кредитных карт.

5. Своевременно обновляйте свою компьютерную систему. Включите автоматическое обновление. Компании часто исправляют ошибки, найденные в своем ПО, удаляя уязвимости, тем самым увеличивая степень безопасности данных.

6. Используйте только сложные пароли, содержащие различные буквы, цифры и специальные символы – чем длиннее и сложнее, тем лучше. Используйте разные пароли для каждой учетной записи. Двухфазная аутентификация еще больше обезопасит ваши данные.

7. Устанавливайте только лицензионное ПО с официальных сайтов. Лучше один раз заплатить разработчикам за их работу, чем потерять все свои личные данные или «лечить» компьютер, вышедший из строя, за еще более высокую сумму денег.

8. Если компьютер подключен к сети, включите «брандмауэр» («файрволл»), то есть программу, ограничивающую как входящую, так и исходящую сетевую активность компьютера.

Вывод. Исходя из результатов эксперимента по выявлению эффективности антивирусных программ против только что сгенерированных угроз, было выяснено, что общая эффективность обнаружения ви-

русов составляет 12,5%. Против давно существующих вирусов антивирусы показывают эффективность примерно 99,8%. Таким образом, был сделан вывод, что антивирусные программы не так эффективны против только что сгенерированных угроз. Было рассмотрено пять методов внедрения вирусов на системное ПО и разработано восемь простых правил безопасности, которые следует соблюдать при использовании компьютером, чтобы обезопасить его от большинства видов атак. Это позволит сохранить уникальную информацию, персональные данные, личные материалы.

#### Список литературы

1. **Рудниченко А.К.** Актуальные способы внедрения компьютерных вирусов в информационные системы [Электрон. ресурс] / А.К. Рудниченко, М.В. Шаханова // Молодой ученый. – 2016. – №11. – С. 221–223. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/115/30348>.
2. **Климентьев К.Е.** Компьютерные вирусы и антивирусы: взгляд программиста / К.Е. Климентьев. – М.: ДМК-Пресс, 2013.
3. **Нестеров С.А.** Информационная безопасность и защита информации: учеб. пособие / С.А. Нестеров. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009.
4. Введение в информационную безопасность автоматизированных систем: учеб. пособие / В.В. Бондарев. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 250 с.
5. **Блинов А.М.** Информационная безопасность: учеб. пособие / А.М. Блинов. – Ч. 1. – СПб.: СПбГУЭФ, 2010. – 96 с.

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЕТОВ НА ПРОЧНОСТЬ ТОНКОСТЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ПРИ КОРРОЗИОННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ



**Тищенко Светлана Леонидовна**

Студентка 1-го курса магистратуры Московского политехнического университета



**Луганцев Леонид Дмитриевич**

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Инфокогнитивные технологии» Московского политехнического университета

**Аннотация.** На основе линейной механики разрушения представлены метод и алгоритм расчетной оценки несущей способности и располагаемого ресурса тонкостенных оболочечных конструкций, работающих в коррозионных средах при сочетании термомеханического и коррозионного воздействий.

**Ключевые слова:** тонкостенный элемент конструкции, термомеханическое воздействие, коррозионный износ, коррозионная трещина, располагаемый ресурс, прочность.

Рассматриваются типовые тонкостенные оболочечные конструкции химико-технологического оборудования, работающие в коррозионных средах при сочетании термомеханического и коррозионного воздействий (рис. 1).

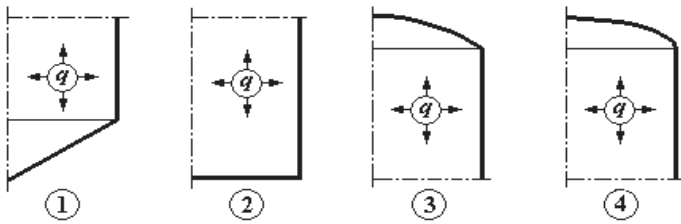


Рис. 1. Типовые оболочечные конструкции (1 – аппарат с коническим днищем; 2 – аппарат с плоским днищем; 3 – аппарат со сферической крышкой; 4 – аппарат с эллиптической крышкой)

Под воздействием коррозионной среды образуется сплошная коррозия внутренней поверхности аппарата. Конструкционный материал разрушается по всей поверхности контакта с коррозионной средой, толщина стенки тонкостенных элементов с течением времени уменьшается.

Совместное воздействие коррозионной среды и растягивающих напряжений вызывает снижение пластических свойств конструкционного материала с переходом к хрупкому состоянию и приводит к коррозионному растрескиванию – образованию первичных микротрещин и дальнейшему их развитию. С течением времени под влиянием коррозионной среды размеры трещин увеличиваются и возникает опасность хрупкого разрушения изделия.

Анализ напряженно-деформированного состояния оболочечных конструкций [1] показал, что наиболее благоприятные условия для развития трещин создаются в меридиональных сечениях оболочечных элементов, где кольцевые растягивающие напряжения достигают максимальных значений. На рис. 2 показаны меридиональная трещина длиной  $2a$  и глубиной  $b$  на внутренней поверхности цилиндрического корпуса аппарата и зона пластических деформаций в ее вершине.

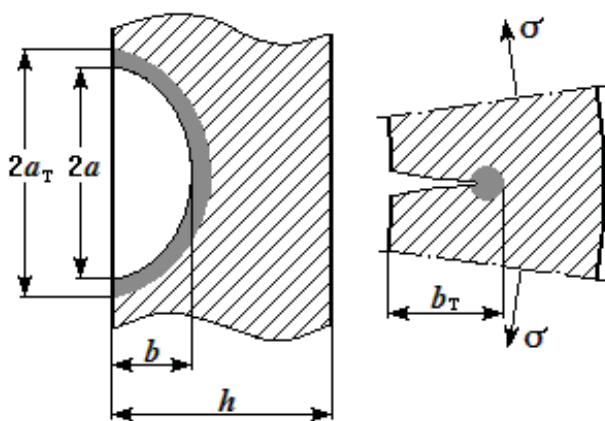


Рис.2. Меридиональная трещина в корпусе аппарата

Решение задачи о сопротивлении хрупкому разрушению строим на основе линейной механики разрушения [2]. Условие быстрого развития трещины длиной  $2a$  при хрупком разрушении принимаем в виде  $K_1 \geq K_{1c}$ , где  $K_1 = \sigma \sqrt{\pi a}$  – коэффициент интенсивности напряжений;  $K_{1c} = \sqrt{2E\gamma_k}$  – вязкость разрушения;  $\sigma$  – растягивающее напряжение;  $E$  – модуль упругости. Параметр  $\gamma_k$  является характеристикой материала, отражающим сопротивление хрупкому разрушению при наличии исходной трещины, и определяется экспериментально.

При расчетной оценке сопротивления оболочечных конструкций хрупкому разрушению коэффициент интенсивности напряжений определяем по уравнению  $K_1 = \sigma \sqrt{\pi b_T} \cdot f_{1k}$ , где  $f_{1k}$  – поправочная функция, учитывающая геометрию изделия и характер нагружения [2];  $a_T = a[1 + 0,5(\sigma / \sigma_T)^2]$  – расчетная длина трещины с учетом образующейся в ее вершине зоны пластической деформации;  $b_T = [1 + 0,5(\sigma / \sigma_T)^2]$  – расчетная глубина трещины;  $\sigma_T$  – предел текучести конструкционного материала.

При построении математической модели и алгоритма численного анализа несущей способности и ресурса рассматриваемых конструкций полагаем, что параметры исследуемой конструкции и условия ее работы, в том числе коррозионная среда, ее концентрация  $C$  и температура  $T$ , заданы. Определены также физико-механические параметры конструкционного материала, и параметры математической модели скорости коррозионного износа  $V_k = V_k(C, T)$ .

Задачу решаем в реальном масштабе времени. Вводим в рассмотрение вектор состояния оболочечного элемента  $\{Z(\tau)\} = \{h(\tau) \ a(\tau) \ b(\tau) \ \sigma(\tau)\}$ , где  $h$  – толщина оболочечного элемента. Степень коррозионного повреждения оцениваем величиной параметра  $\Omega(\tau) = K_1(\tau) / K_{1c}$ .

Задачу определения вектора состояния  $\{Z(\tau)\}$  сводим к решению задачи Коши для системы дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} dh / d\tau &= -V_k, \\ da / d\tau &= V_{kp}, \\ db / d\tau &= V_{kp} - V_k, \\ d\sigma / d\tau &= \sigma V_k / h \end{aligned} \tag{1}$$

с начальными условиями:

$$\begin{aligned} h(0) &= h_0, \quad a(0) = a_0, \\ b(0) &= b_0, \quad \sigma(0) = \sigma_0 \end{aligned} \tag{2}$$

Степень коррозионного повреждения изделия в текущий момент времени  $\tau$  вычисляем по следующему алгоритму:

$$\begin{aligned} a_T(\tau) &= a(\tau) \left( 1 + 0,5 \left( \frac{\sigma(\tau)}{\sigma_T} \right)^2 \right), \\ b_T(\tau) &= b(\tau) \left( 1 + 0,5 \left( \frac{\sigma(\tau)}{\sigma_T} \right)^2 \right) \end{aligned} \tag{3}$$

$$K_1(\tau) = \sigma(\tau) \sqrt{\pi b_T(\tau)} \cdot f_{1k}(\tau),$$

$$\Omega(\tau) = K_1(\tau) / K_{1c}$$

Располагаемый ресурс изделия характеризуется временным интервалом  $[0, \tau_k]$ , где  $\tau_k$  – момент времени, когда оболочечная конструкция достигает предельного состояния, и выполняются условия  $K_1(\tau_k) = K_{1c}$  и  $\Omega = 1$ .

Для определения  $\tau_k$  используем сочетание шагового метода с последующим уточнением по методу дихотомии. При этом на каждом шаге выполняем решение задачи Коши (1) – (2), затем по алгоритму (3) вычисляем коэффициент интенсивности напряжений  $K_1(\tau)$  и степень коррозионного повреждения  $\Omega$ .

Численная реализация разработанного метода и алгоритма компьютерного анализа несущей способности элементов конструкций осуществлена в виде программного обеспечения. Программный продукт позволяет выполнять численный анализ несущей способности и располагаемого ресурса оболочечных элементов, прогнозировать долговечность изделий в условиях комбинированного силового, температурного и коррозионного воздействия, осуществлять мониторинг остаточного ресурса оборудования в реальном масштабе времени.

С помощью разработанного программного обеспечения выполнили ряд численных экспериментов по исследованию элементов оборудования, работающих в условиях коррозионного воздействия среды. На рис. 3 представлены результаты компьютерного анализа корпуса аппарата с коническим днищем. Конструктивные параметры корпуса аппарата: радиус цилиндрической оболочки  $r = 500$  мм; высота конического днища  $H = 500$  мм; толщина стенки корпуса аппарата  $h = 10$  мм; конструкционный материал – коррозионноустойчивая сталь 12X18H10T. Физико-механические параметры материала: модуль упругости  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа, предел текучести  $\sigma_T = 240$  МПа, вязкость разрушения  $K_{1c} = 2000$  Н/мм<sup>3/2</sup>. Коррозионная среда – серная кислота с температурой  $T = 50$  °С. Математическая модель скорости коррозионного износа стали 12X18H10T в серной кислоте при температуре 50 °С получена на основе экспериментальных данных. При концентрации серной кислоты  $C = 5 \dots 40$  % скорость коррозионного износа  $V_k = -0,03833C + 0,01508C^2 - 0,0007417C^3 + 1,167 \cdot 10^{-5}C^4$  мм/год.

При численном анализе длину первичной микротрещины, образующейся вследствие коррозионного растрескивания конструкционного материала, принимали равной 0,1 мм, глубину – равной 0,01 мм.

На рис.3 представлены графики располагаемого ресурса аппарата для различных значений концентрации серной кислоты и внутреннего давления в аппарате.

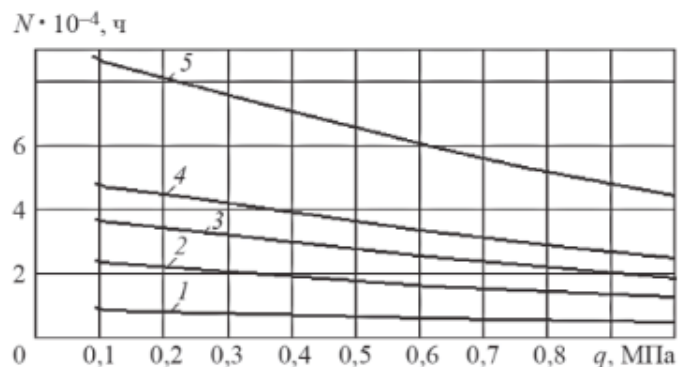


Рис. 3. Графики располагаемого ресурса аппарата

График 1 соответствует концентрации серной кислоты 40%, график 2 – концентрации 30%, график 3 – концентрации 20%, график 4 – концентрации 15%, график 5 – концентрации 10 %. Результаты компьютерного анализа свидетельствуют о существенном влиянии величины напряжений на ресурс исследуемого изделия.

Предложенный метод позволяет получить решение ряда новых задач по расчету и исследованию несущей способности и ресурса элементов конструкций, работающих в условиях комбинированного термомеханического и коррозионного воздействия.

#### Список литературы

1. **Lugantsev L.D.** System for engineering analysis and optimal design of composite shell structures / L.D. Lugantsev // Chemical and Petroleum Engineering. – 2013. – v. 48, № 11–12. – PP. 673–679.
2. **Махутов Н.А.** Сопrotивление элементов конструкций хрупкому разрушению / Н.А. Махутов. – М.: Машиностроение, 1973. – 200 с.