

дрение данной услуги позволит компании увеличить долю дополнительных доходов.

Все вышеперечисленные информационные технологии позволяют улучшить качество бизнес-процессов в гражданской авиации. Однако есть несколько проблем, решение которых хочется предложить.

Многие люди сталкиваются с проблемой навигации в аэропорту. Каждый аэропорт подходит к решению проблемы навигации по-своему. Некоторые устанавливает интерактивные дисплеи, другие использует «умный дизайн» самих навигационных указателей. Однако качество часто желает лучшего. В России распространен метод навигационных указателей, но часто посетители путаются в огромных залах. Есть иной путь – мобильное приложение с функцией навигации в одном из терминалов. Подобным воспользовался аэропорт «Шереметьево». Приложение включает в себя интерактивную карту аэропорта и каталог полезных мест. На данный момент отсутствует функция построения маршрута, именно то, чего ожидают пользователи. Идея заключается в создании мобильного приложения, содержащего карты аэропортов мира, в котором можно построить маршрут.

Другая проблема – однотипная инфраструктура аэропорта для ожидающих пассажиров. Если приходится долгое время пребывать в аэропорту, пассажир либо все время проводит в зале ожидания, либо заселяется в отеле рядом с аэропортом. Есть решение, которое позволит проводить время в аэропорту с пользой и без лишних трат. Создание 12-часовой бесплатной зоны с компьютерами и беспроводным выходом в интернет. Так, человек может

поработать или развлечься, введя номер рейса и дополнительные данные в программу компьютера. Ему не нужно тратить заряд и трафик своих электронных устройств, сидеть в шумных залах ожидания. К тому же установленная программа в компьютере уведомит пользователя об изменении статуса рейса. Такое пребывание в аэропорту поможет пассажиру расслабиться и успокоиться.

Вывод

Таким образом, российская гражданская авиация не уступает зарубежным конкурентам по уровню использования цифровизации в бизнес-процессах цифровизации. Блокчейн, онлайн-регистрация, биометрия – этому подтверждение. Однако отечественные производители зачастую не выдерживают конкуренции. Цифровизация приводит к повышению эффективности экономики и улучшению качества жизни. А внедрение информационных технологий в гражданскую авиацию является продвижением результатов интеллектуальной собственности на мировой рынок.

Список литературы

1. **Мошелла Д.** Путеводитель по цифровому будущему / Д. Мошелла. – Альпина Паблишер, 2017. – 310 с.
2. Приказ Министерства транспорта РФ «О внесении изменений в некоторые нормативные правовые акты Министерства транспорта Российской Федерации по вопросу использования посадочного талона, оформленного в электронном виде» от 14 января 2019 г. №7.
3. **Тапскотт Д.** Технология блокчейн – то, что движет финансовой революцией сегодня / Д. Тапскотт, А. Тапскотт. – Эксмо, 2017. – 448 с.

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ПОЛЗУЧЕСТИ ТРУБЧАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ



Остроухова Татьяна Сергеевна

Студентка 4 курса, факультета информационных технологий по направлению подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» (профиль «Интеграция и программирование в САПР») Московского политехнического университета



Луганцев Леонид Дмитриевич

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

Аннотация: На основе теории нестационарной ползучести излагается метод и алгоритм численного анализа несущей способности и ресурса трубчатых элементов конструкций, оборудования, работающих в условиях нестационарного термосилового воздействия.

Abstract: On the basis of the theory of non-stationary creep, a method and an algorithm for the numerical analysis of the bearing capacity and resource of tubular structural elements and equipment operating under conditions of non-stationary thermal-force action are presented.

Ключевые слова: реакционная труба, термомеханическое воздействие, ползучесть, несущая способность, остаточный ресурс.

Key words: reaction tube, thermomechanical action, creep, bearing capacity, residual life.

Работоспособность и надежность нефтехимического оборудования во многом определяется ресурсом реакционных труб, работающих в условиях высоких температур. Повышенные рабочие температуры вызывают деформации ползучести. Постепенно развивающиеся процессы вязкоупругого течения конструкционного материала могут привести к внезапным отказам. Практическая невозможность мониторинга остаточного ресурса с помощью неразрушающих средств контроля определяет актуальность развития методов компьютерного анализа, основанных на положениях механики вязкоупругой сплошной среды.

Рассматриваем трубчатый элемент, представляющий собой круговую тонкостенную цилиндрическую оболочку. Радиус оболочки – r , толщина стенки – h . Трубчатый элемент нагружен внутренним давлением q , осевым усилием N_s , распределённым по торцу оболочки, и нагрет до температуры T . Температурное поле считаем симметричным и постоянным по длине цилиндра. Силовые нагрузки и температура не изменяются во времени. Однако параметры напряженно-деформированного состояния и геометрические размеры рассматриваемого изделия с течением времени изменяются в силу необратимых деформаций ползучести.

При построении математической модели кинетики процесса ползучести вводим параметр τ , определяющий развитие процесса нагружения изделия. Рассмотрим напряженно-деформированное состояние трубчатого элемента в момент времени τ . Напряжения в оболочке определяются уравнениями безмоментной теории оболочек:

$$\sigma_s = \frac{N_s}{h}, \quad \sigma_t = \frac{qr}{h}, \quad \sigma_z = 0. \quad (1)$$

Скорость изменения напряжений в процессе ползучести

$$\frac{d\sigma_s}{d\tau} = -\sigma_s \frac{d\varepsilon_z}{d\tau}, \quad \frac{d\sigma_t}{d\tau} = -\sigma_t \left(\frac{d\varepsilon_t}{d\tau} - \frac{d\varepsilon_z}{d\tau} \right), \quad \frac{d\sigma_z}{d\tau} = 0. \quad (2)$$

Уравнения вязкоупругого деформирования конструкционного материала, связывающие скорости изменения напряжений и деформаций, определяются обобщённым законом Гука с учётом деформаций ползучести:

$$\begin{aligned} \frac{d\varepsilon_z}{d\tau} &= \frac{1}{E} \left(\sigma_z \frac{d\sigma_z}{d\tau} - \mu \frac{d\sigma_t}{d\tau} \right) + \frac{d\varepsilon_z^c}{d\tau}, \\ \frac{d\varepsilon_t}{d\tau} &= \frac{1}{E} \left(\sigma_t \frac{d\sigma_t}{d\tau} - \mu \frac{d\sigma_s}{d\tau} \right) + \frac{d\varepsilon_t^c}{d\tau}, \\ \frac{d\varepsilon_s}{d\tau} &= \frac{\mu}{E} \left(\frac{d\sigma_s}{d\tau} + \frac{d\sigma_t}{d\tau} \right) + \frac{d\varepsilon_s^c}{d\tau}. \end{aligned} \quad (3)$$

Через промежуток времени $d\tau$ толщина стенки элемента изменится на величину $dh = h d\varepsilon_z$, а радиус цилиндрической оболочки изменится на величину $dr = h d\varepsilon_t$. Таким образом,

$$\frac{dh}{d\tau} = h \frac{d\varepsilon_z}{d\tau}, \quad \frac{dr}{d\tau} = r \frac{d\varepsilon_t}{d\tau}. \quad (4)$$

Рассматривая совместно уравнения (2) – (4), после алгебраических преобразований получим следующую систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dh}{d\tau} &= h \cdot \frac{3\nu_i^c}{2\sigma_i} \left[\left(1 + \mu \frac{\sigma_z}{E} - \mu \frac{\sigma_t}{E} \right) \varepsilon_z - \mu \frac{\sigma_t}{E} \varepsilon_t \right], \\ \frac{dr}{d\tau} &= r \cdot \frac{3\nu_i^c}{2\sigma_i} \left[\left(1 + \frac{\sigma_t}{E} \right) \varepsilon_t - \left(-\mu \frac{\sigma_z}{E} + \frac{\sigma_t}{E} \right) \varepsilon_z \right], \\ \frac{d\sigma_s}{d\tau} &= -\sigma_s \cdot \frac{3\nu_i^c}{2\sigma_i} \left[\left(1 + \mu \frac{\sigma_z}{E} - \mu \frac{\sigma_t}{E} \right) \varepsilon_z - \mu \frac{\sigma_t}{E} \varepsilon_t \right], \\ \frac{d\sigma_t}{d\tau} &= \sigma_t \cdot \frac{3\nu_i^c}{2\sigma_i} \left[\left(1 + (1 + \mu) \frac{\sigma_t}{E} \right) \varepsilon_t - \left(1 - (1 - \mu) \frac{\sigma_t}{E} \right) \varepsilon_z \right]. \end{aligned} \quad (5)$$

Согласно общим положениям теории ползучести [1] при сложных напряженных состояниях компоненты скорости ползучести пропорциональны компонентам девиатора напряжений:

$$\frac{d\varepsilon_z}{d\tau} = \frac{3S_z}{2\sigma_i} \nu_i^c, \quad \frac{d\varepsilon_t}{d\tau} = \frac{3S_t}{2\sigma_i} \nu_i^c, \quad \frac{d\varepsilon_s}{d\tau} = \frac{3S_s}{2\sigma_i} \nu_i^c, \quad (6)$$

где S_s, S_t, S_z – компоненты девиатора напряжений; σ_i – интенсивность напряжений; $\nu_i^c = f(\sigma_i, T)$ – интенсивность скорости деформаций ползучести.

Уравнения (5) и (6) образуют замкнутую систему дифференциальных уравнений относительно параметров состояния трубчатого элемента $h, r, \sigma_s, \sigma_t, \varepsilon_s^c, \varepsilon_t^c, \varepsilon_z^c$ с начальными условиями:

$$\begin{aligned} h(0) &= h_0; \quad r(0) = r_0; \quad \sigma_s(0) = \frac{N_s}{h_0}; \quad \sigma_t(0) = \frac{qr_0}{h_0}, \\ \varepsilon_s^c(0) &= 0, \quad \varepsilon_t^c(0) = 0, \quad \varepsilon_z^c(0) = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

Систему уравнений (5), (6) с начальными условиями (9) можно рассматривать как математическую модель кинетики процесса вязкоупругого деформирования исследуемой конструкции при комбинированном силовом и температурном воздействии.

Алгоритм расчета сводится к решению задачи Коши для системы дифференциальных уравнений (5), (6) с начальными условиями (7). В результате численного анализа находим значения параметров состояния трубчатого элемента во всех узловых точках

процесса нагружения на заданном интервале изменения временного параметра τ , получая в результате полное описание кинетики вязкоупругого деформирования изделия.

Предельное состояние конструкции определяем по величине интенсивности накопленной деформации ползучести ϵ_i^c . В качестве предельно допустимой величины интенсивности деформаций ползучести принимаем величину $\epsilon_{кр}^c = 0,03 - 0,05$. При таких значениях деформаций существенно возрастает вероятность возникновения трещин в конструкционном материале.

Располагаемый ресурс изделия характеризуется временным интервалом $[0, \tau_{кр}]$, где $\tau_{кр}$ – момент времени, когда исследуемая конструкция достигает предельного состояния, и выполняется условие $\epsilon_i^c = \epsilon_{кр}^c$.

Для определения ресурса изделия $\tau_{кр}$ используем сочетание шагового метода [2] с последующим уточнением по методу хорд. При этом на каждом шаге выполняем решение задачи Коши (5) – (7), затем вычисляем интенсивность накопленной деформации ползучести:

$$\epsilon_i^c = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\epsilon_s^c - \epsilon_i^c)^2 + (\epsilon_i^c - \epsilon_z^c)^2 + (\epsilon_z^c - \epsilon_s^c)^2}$$

и проверяем условие $\epsilon_i^c = \epsilon_{кр}^c$.

Предложенный метод реализован в виде программного обеспечения. Программный комплекс «CreepingTube» имеет модульную структуру, функционирует в операционных системах Windows 7/10. Позволяет выполнять численный анализ несущей способности и располагаемого ресурса высокотемпературных трубчатых элементов, прогнозировать их долговечность в условиях нестационарного силового и температурного воздействия.

Программный продукт «CreepingTube» применяли для расчета реакционных труб печи конверсии метана на производстве аммиака. Диаметр труб $D = 115$ мм, толщина стенки $h = 10$ мм. Давление па-

рогазовой смеси в трубах $q = 3,6$ МПа, температура $T_0 = 930$ °С. Конструкционный материал – сталь 45Х25Н20С. Параметры математической модели ползучести для стали: $C = 1,3 \cdot 10^{11}$ 1/ч; $n = 4,1$; $\Delta H = 2,9 \cdot 10^5$ Дж/моль; предел текучести при 20 °С $\sigma_T = 240$ МПа.

На рис. 1 показано относительное изменение диаметра $\Delta D/D_0$ трубчатого элемента в процессе развития деформаций ползучести.

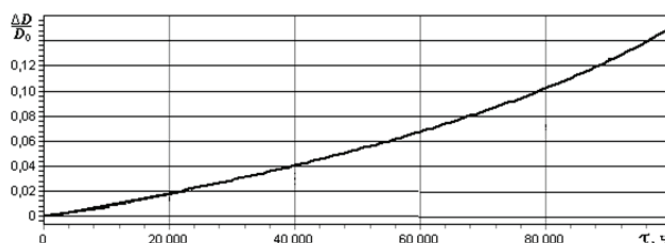


Рис. 1. Деформации ползучести трубчатого элемента

Толщина стенки трубы в процессе ползучести уменьшается: $\Delta h / h_0 = -\Delta D / D_0$. Принимая предельно допустимое значение $\Delta D / D_0 = 0,05$, находим ресурс изделия $\tau_{кр} = 50 000$ ч. Скорость деформаций ползучести в конце срока службы изделия увеличивается в 1,5 раза по сравнению с первоначальной скоростью.

Таким образом, предложенный метод численного анализа процессов ползучести трубчатых элементов позволяет прогнозировать долговечность изделий, выполнять компьютерный мониторинг несущей способности и располагаемого ресурса высокотемпературного оборудования в условиях нестационарного силового и температурного воздействия.

Список литературы

1. **Малинин Н.Н.** Прикладная теория пластичности и ползучести / Н.Н. Малинин. – М.: Машиностроение, 1975. – 400 с.
2. **Коростылёв А.В.** Моделирование процесса ползучести реакционных труб печей конверсии углеводородных газов / А.В. Коростылёв, Л.Д. Луганцев // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2009. – Т. 75. № 11. – С. 52–54.

ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССА ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ НА МАТЕРИАЛЬНЫЕ ОБЪЕКТЫ



Сорокин Алексей Юрьевич

Аспирант факультета подготовки научных и педагогических кадров Российского Государственного Социального Университета

Аннотация: В статье приведен общий подход к разработке среды моделирования прогнозирования последствий воздействия ударно волновых нагрузок на материальные объекты любого типа. Приводится общее описание интерпретации физики взаимодействия объектов в среде симулятора, а так же принципы моделирования ударной волны и материального объекта. Приводится пример моделирования распределения избыточного давления в результате взрыва в продольном сечении подземного тоннеля метрополитена.