

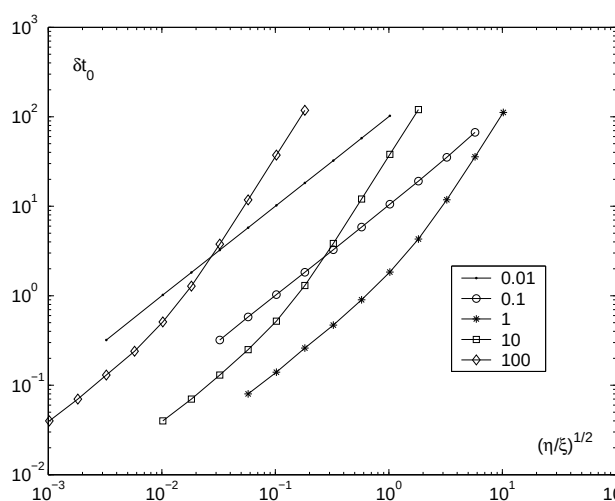


Рис. 1. Зависимость δt_0 от $\sqrt{\eta/\xi}$
(перегиб при $\nu = 1$)

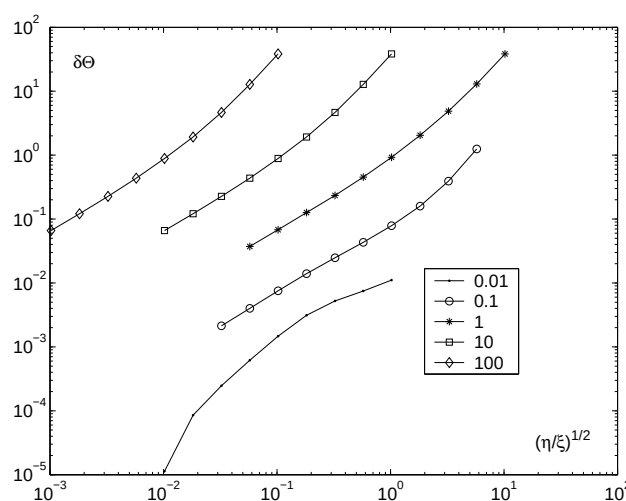


Рис. 2. Зависимость $\delta\Theta$ от $\sqrt{\eta/\xi}$
(монотонность по ν)

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 09-01-00439).

Литература

1. Кунин, Л.Л. *Проблемы дегазации металлов* / Кунин Л. Л., Головин А. И., Суровой Ю. И. Хохрин В. М. М.: Наука, 1972.
2. *Взаимодействие водорода с металлами* / Ред. А. П. Захаров. М.: Наука, 1987. С. 143–206.
3. Марчук Г.И. *Сопряженные уравнения и анализ сложных систем*. М.: Наука, 1992.

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И ЭФФЕКТИВНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕМ ЗАВОДЕ

В. А. Ирхин (Минск, Беларусь), О. Н. Гайдук (Мозырь, Беларусь)

Предупреждение аварийных ситуаций и эффективное управление технологическими системами являются актуальными задачами нефтехимической отрасли. Качественное обучение операторов управления технологическими установками навыкам оптимальной и безаварийной эксплуатации технологических аппаратов и установок служит одним из наиболее важных инструментов повышения промышленной безопасности вышеуказанных объектов и снижения затрат на их функционирование [1,2]. В связи с этим одним из приоритетных направлений научно-технической деятельности в Республике Беларусь является разработка динамических компьютерных тренажеров для операторов технологических процессов в нефтехимии и нефтепереработке. Разработка таких тренажеров невозможна без моделирования физико-химических процессов в технологических установках.

В работе строятся математические модели неуставившегося неизотермического течения двухфазной среды для трубопровода, теплообменника, холодильника, печи,

колонны, реактора, сепаратора, компрессора, насоса, модели запорной арматуры (задвижки, клапаны) и автоматических регуляторов [3,4]. Также рассматривается модель реакторного блока установки гидроконверсии вакуумного газойля, которая включает все вышеуказанные элементы, объединенные в одну технологическую сеть. Построение этих моделей базируется на основных законах сохранения: массы, импульса, энергии и массы компонента. Рассмотрим произвольный объем сплошной среды V , ограниченный замкнутой поверхностью S . Для этого объема законы сохранения записываются в виде [5]: закон сохранения массы

$$\iiint_V \frac{\partial \hat{\rho}}{\partial t} dV + \iint_S \hat{\rho} \cdot v_n dS = 0;$$

закон сохранения импульса

$$\iiint_V \frac{\partial (\hat{\rho} \cdot \bar{v})}{\partial t} dV + \iint_S \hat{\rho} \cdot \bar{v} \cdot v_n dS = - \iint_S \hat{p} \cdot \bar{n} dS + \iint_S \bar{\tau}_n dS + \iiint_V \hat{\rho} \cdot \bar{F} dV;$$

закон сохранения энергии

$$\begin{aligned} & \iiint_V \frac{\partial}{\partial t} \left[\hat{\rho} \cdot \left(\hat{\varepsilon} + \frac{v^2}{2} \right) \right] dV + \iint_S \hat{\rho} \cdot \left(\hat{\varepsilon} + \frac{v^2}{2} \right) \cdot v_n dS = - \iint_S \hat{p} \cdot v_n dS + \\ & + \iint_S \bar{\tau}_n \cdot \bar{v} dS + \iiint_V \hat{\rho} \cdot \bar{F} \cdot \bar{v} dV + \iiint_V \hat{Q} dV - \iint_S \bar{W} \cdot \bar{n} dS + \sum_{i=1}^{N_C} \iint_S \hat{\varepsilon}_i \cdot \hat{\rho} \cdot \hat{D}_i \cdot \frac{\partial \hat{c}_i}{\partial n} dS; \end{aligned}$$

закон сохранения массы компонента

$$\iiint_V \frac{\partial (\hat{\rho} \cdot \hat{c}_i)}{\partial t} dV + \iint_S \hat{\rho} \cdot \hat{c}_i \cdot v_n dS - \iint_S \hat{\rho} \cdot \hat{D}_i \cdot \frac{\partial \hat{c}_i}{\partial n} dS = 0, \quad i = \overline{1, N_C - 1},$$

$$\hat{c}_{N_C} = 1 - \sum_{i=1}^{N_C-1} \hat{c}_i,$$

где $\hat{\rho}$ – плотность смеси, $\hat{p}$ – давление смеси, $\bar{v}$ – скорость смеси, $\hat{c}_i$ – массовая концентрация i -го компонента смеси, $v_n = \bar{v} \cdot \bar{n}$ – проекция $\bar{v}$ на внешнюю единичную нормаль $\bar{n}$ к элементу поверхности dS , $v = |\bar{v}|$, τ – тензор вязких напряжений, $\tau_n = \bar{\tau} \cdot \bar{n}$ – напряжение, обусловленное действием сил вязкого трения на поверхности dS с внешней нормалью $\bar{n}$, $\bar{F}$ – удельная массовая сила, $\hat{\varepsilon}$ – удельная внутренняя энергия смеси, $\hat{Q}$ – удельная мощность источников тепла, $\bar{W}$ – вектор плотности потока тепла в смеси. Для замыкания системы уравнений задаются уравнения состояния, описывающие термодинамические соотношения между неизвестными функциями, и соответствующие краевые условия.

В соответствии с описанием технологических элементов и схем (составленных из технологических элементов) длины элементов намного больше их поперечных сечений, что позволяет преобразовать вышеуказанную трехмерную модель к эквивалентной одномерной дифференциальной формулировке, которая представлена в работе. Этот переход позволяет существенно сократить время численного расчета, практически не снижая точность полученных расчетных оценок.

При анализе математической модели реакторного блока (как примера, включающего основные технологические элементы) в работе осуществляется переход к математической модели процессов тепломассопереноса на графах, для которой строятся эффективные вычислительные алгоритмы [6-8].

Литература

1. Селезнев В. Е., Алешин В. В., Прялов С. Н. *Математическое моделирование трубопроводных сетей и систем каналов: методы, модели и алгоритмы*. М.: МАКС Пресс, 2007.
2. Сарданашвили С. А. *Расчетные методы и алгоритмы (трубопроводный транспорт газа)*. М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2005.
3. Бессонный А. Н., Дрейцер Г. А., Кунтыш В. Б. и др. *Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения*. СПб.: Недра, 1996.
4. Степанов А. И. *Центробежные и осевые компрессоры, воздуходувки и вентиляторы. Теория, конструкция и применение*. Пер. с. англ. М.: Машгиз, 1960. 348 с.
5. Тихонов А. Н., Самарский А. А. *Уравнения математической физики*. М.: Изд-во МГУ, 1999.
6. Самарский А. А., Попов Ю. П. *Разностные схемы газовой динамики*. М.: Наука, 1980.
7. *User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) dispersion models. Vol. II. Description of Model Algorithms*. 2000.
8. Irkhin U. *Mathematical modelling of nonstationary processes of heat-mass transfer at the oil-refinery plant* // Abstracts of the 3d International Conference Computational Methods in Applied Mathematics: CMAM-3, Minsk (Belarus), June 25 - 30, 2007.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПРОНИКНОВЕНИЯ ПЛОСКОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ ЧЕРЕЗ УПРУГИЙ СЛОЙ

И. С. КОЗЛОВСКАЯ (МИНСК, БЕЛАРУСЬ)

В пространстве $\mathbb{R}^3$ расположен упругий слой D ($0 < z < \Delta$), характеризуемый комплекснозначными параметрами μ, Λ, ρ и уравнением Ламе

$$\mu \Delta \vec{u} + (\Lambda + \mu) \operatorname{grad} \operatorname{div} \vec{u} + \omega^2 \rho \vec{u} = 0.$$

Полупространство D_1 ($z < 0$) заполнено акустической средой, характеризуемой скоростью звука a_1 и плотностью среды ρ_1 . Полупространство D_2 ($z > \Delta$) также заполнено акустической средой с соответствующими параметрами a_2, ρ_2 . На слой D со стороны полупространства D_1 воздействует плоское первичное звуковое поле v_0 , колеблющееся с круговой частотой ω . Обозначим через v_1' звуковое поле, отраженное от слоя D и распространяющееся в области D_1 , а через v_2 звуковое поле, прошедшее через слой D в область D_2 . Пусть $v_1 = v_0 + v_1'$ – суммарное поле в области D_1 .

С помощью разработанных граничных условий сопряжения на слое D сформулируем краевую задачу проникновения первичного звукового поля v_0 через слой D .

Краевая задача. При заданном плоском поле v_0 требуется определить звуковые поля $v_1' \in C^2(D_1) \cap C^1(\overline{D_1})$, $v_2 \in C^2(D_2) \cap C^1(\overline{D_2})$, которые удовлетворяют уравнениям