далее идет описание потоков сети, каждое из которых состоит из набора описаний узлов. Так же были заданы правила именования узлов.

При разработке графического интерфейса процесс описания сети был разбит на несколько шагов. Каждый шаг пользователь выполняет на отдельной форме. Это позволяет снизить нагрузку на пользователя, т.к. в каждый момент времени ему приходится работать с меньшим числом полей. Так же при переходе к следующему шагу имеется возможность проверки ошибок пользовательского ввода. Формы организованы таким образом, что пользователь имеет возможность возвращаться к предыдущим шагам для внесения исправлений. Содержимое форм следующих шагов зависит от введенных на предыдущих шагах данных и генерируется автоматически.

Таким образом, полученная система состоит из двух основных модулей: модуля генератора моделей и модуля пользовательского интерфейса. Данные модули слабо связаны друг с другом, что позволяет использовать их независимо в других системах. Например, генератор моделей так же используется вместе с генератором архитектур, который создает формализованные описания для набора сетей со схожими характеристиками, а генератор моделей на основе этих описаний создает имитационные модели. Аналогично существует возможность использования разработанного интерфейса с другим генератором моделей, например использующим другой алгоритм или другой язык имитационного моделирования.

Для реализации системы использовался язык C++ с применением стандартной библиотеки STL, а для реализации пользовательского интерфейса использовалась кроссплатформенная библиотека Qt.

Заключение. Рассматриваемая задача сведена к специализации стандартных инструментов моделирования - к построению оболочки, применяемой как инструмент моделирования, средство обучения моделированию, так и в составе других систем (для автоматической генерации тестов, заданий на моделирование при обучении и т.п.). Разработаны правила внутреннего представления сетей, обеспечивающие читаемость и параметризуемость моделей, структура системы, алгоритмы и система классов генерации GPSS-моделей, хранения входных спецификаций и спецификаций моделей. Проведено макетирование системы.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ, ЛЕЖАЩЕЙ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ, С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНОСТИ ДЕФОРМАЦИЙ И ПРОГИБА

Клыковский И.О.,
студент 2 курса УО «ВГТУ», г. Витебск, Республика Беларусь
Научный руководитель – Никонова Т.В., канд. физ.-мат. наук, доцент

Целью данного исследования являлась разработка методики расчета напряженно-деформированного состояния цилиндрической оболочки, лежащей на упругом основании и испытывающей действие однородного давления, при таких ее геометрических параметрах при которых применение линейной теории тонких оболочек становится не допустимым и необходимо применять нелинейную модель.

Результаты и их обсуждение. Рассмотрим цилиндрическую оболочку средней длины L, лежащую на упругом основании и находящуюся под действием нормального однородного внешнего давления.

Для построения математической модели будем использовать вариант нелинейной теории оболочек, основанный на гипотезе Кирхгофа-Лява. Уравнения типа Кармана [1] позволяют учитывать нелинейность деформаций и прогиба элемента оболочки. Воздействие упругого основания принимаем в качестве дополнительного давления, обусловленного нормальным перемещением w^* стенок оболочки, при этом рассмотрим модель

Винклера. Уравнение элемента оболочки и уравнение совместности деформаций имеют вид:

$$
\begin{aligned}
&\frac{D}{h}\nabla^4 w^* = L(w^*,\Phi^*) + \nabla_k^2\Phi^* + \frac{q^*}{h} + \frac{\alpha w^*}{h},\\
&\frac{1}{E}\nabla^4\Phi^* = -\frac{1}{2}L(w^*,w^*) - \nabla_k^2 w^*,
\end{aligned} \tag{1}
$$

где

$$
\nabla^4 = \frac{\partial^4}{\partial x^{*4}} + 2\frac{\partial^4}{\partial x^{*2}\partial y^{*2}} + \frac{\partial^4}{\partial y^{*4}}, \qquad \nabla_k^2 = k_y\frac{\partial^2}{\partial x^{*2}} + k_x\frac{\partial^2}{\partial y^{*2}},
$$

$$
L(w^*,w^*) = 2\left[\frac{\partial^2 w^*}{\partial x^{*2}}\cdot\frac{\partial^2 w^*}{\partial y^{*2}} - \left(\frac{\partial^2 w^*}{\partial x^*\partial y^*}\right)^2\right],
$$

$$
L(w^*,\Phi^*) = \frac{\partial^2 w^*}{\partial x^{*2}}\cdot\frac{\partial^2\Phi^*}{\partial y^{*2}} + \frac{\partial^2 w^*}{\partial y^{*2}}\cdot\frac{\partial^2\Phi^*}{\partial x^{*2}} - 2\frac{\partial^2 w^*}{\partial x^*\partial y^*}\cdot\frac{\partial^2\Phi^*}{\partial x^*\partial y^*},
$$

$D = Eh^3/[12(1-\nu^2)]$ – цилиндрическая жесткость оболочки, E, ν – модуль Юнга и коэффициент Пуассона материала оболочки, h, R – толщина и радиус оболочки, соответственно, k_x, k_y – главные кривизны поверхности оболочки, x^*, y^* – продольная и окружная координаты на поверхности оболочки, w^*, Φ^* – нормальный прогиб и функция напряжений, q^* – внешнее давление, α – коэффициент постели упругого основания.

Перейдем к безразмерному виду, используя следующие соотношения: $x = x^*/R$, $\varphi = y^*/R$, $\varepsilon^8 = h^2/\left[12R^2\left(1-\nu^2\right)\right]$ – малый параметр, $\Phi = \Phi^*/\left(ER^2\varepsilon^4\right)$, $w = w^*/R$ – безразмерные функции напряжений и перемещений, $q = q^* R^2\sqrt{12(1-\nu^2)}/(Eh^2)$, $\tilde{\alpha} = \alpha R^3\sqrt{12(1-\nu^2)}/(Eh^2)$.

На краях оболочки зададим условия жесткого закрепления

$$
w = \frac{\partial w}{\partial x} = 0 \quad \text{при } x = 0, x = l,\ l = L/R. \tag{2}
$$

Введем новые переменные $\tilde{w}$, $\tilde{\Phi}$, связанные с перемещением w и функцией напряжений Φ соотношениями

$$
w = \varepsilon^3\tilde{w}, \qquad \Phi = \varepsilon^3\tilde{\Phi}. \tag{3}
$$

Функции $\tilde{w}$, $\tilde{\Phi}$ в свою очередь разложим в ряд по степеням ε

$$
\tilde{w} = \sum_{j=0}^{\infty}\varepsilon^j\tilde{w}_j, \quad \tilde{\Phi} = \sum_{j=0}^{\infty}\varepsilon^j\tilde{\Phi}_j. \tag{4}
$$

При этом считаем, что $q = \varepsilon^3\tilde{q}$, $\tilde{\alpha} \sim 1$, $\tilde{w}_i \sim 1$, $\tilde{\Phi}_i \sim 1$, а также соответствующие производные $\frac{\partial}{\partial x} \sim 1$, $\frac{\partial}{\partial\varphi} \sim \varepsilon^{-1}$, $i = \overline{1..n}$.

Подставим разложения (4) в систему уравнений (1) и граничные условия (2). Приравняв к нулю коэффициенты при одинаковых степенях ε, получим последовательность дифференциальных уравнений и последовательность соответствующих граничных условий.

Так как полученные в соответствующих приближениях системы уравнений с частными производными не удается решить аналитическими методами и получить решение в явном виде, будем использовать численный метод сеток [2].

Построенные первое и второе приближения позволяют с учетом нелинейных слагаемых провести уточнение найденных из нулевого приближения значений для нормального прогиба $\widetilde{w}(x_i, \varphi_j)$.

Литература:

1. Вольмир, А.С. Оболочки в потоке жидкости и газа (задачи аэроупругости) / А.С. Вольмир. – М.: Наука, 1976. – 416 с.
2. Калиткин, Н.Н. Численные методы / Н.Н. Калиткин. – М.: Наука, 1978. – 512 с.

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ГАУССА РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ С ПОЗИЦИИ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Красоткина А.Н.,
магистрант ВГУ имени П.М. Машерова, г. Витебск, Республика Беларусь
Научный руководитель – Маркова Л.В., канд. физ.-мат. наук, доцент

Современная вычислительная линейная алгебра – бурно развивающаяся наука. Ее центральная проблема – это решение систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). В настоящее время разработано множество методов, упрощающих эту задачу. Большинство этих методов зависит от структуры матрицы и основаны на представлении матрицы в виде произведения других матриц специального вида, или матричных разложениях (факторизациях). Как правило, после факторизации матрицы, задача решения СЛАУ существенно упрощается.

Цель исследования – показать преимущества объектно-ориентированного подхода для экономичной реализации алгоритма.

Материал и методы. Методы – анализ, синтез, метод объектно-ориентированного программирования.

Результаты и их обсуждение. Рассмотрим решения системы линейных алгебраических уравнений методом Гаусса

$$Ax = f \qquad (1)$$

где A - матрица коэффициентов системы, x- вектор неизвестных величин системы, f-вектор правых частей системы.

Будем решать задачу (1), используя теорему об LU-разложении.

Теорема. Пусть все главные миноры матрицы А отличны от нуля, т.е.

$$a_{11} \neq 0, \quad \det\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \neq 0, \ldots, \det(A) \neq 0$$

Тогда матрица A представима в виде $A=LU$, где L – нижняя, U – верхняя треугольные матрицы

Таким образом, метод Гаусса можно трактовать следующим образом. Сначала производится разложение матрицы A в произведение двух треугольных матриц L и U, т.е. $A=LU$, а затем последовательно решаются две системы уравнений

$$Lg = f \qquad (2)$$

$$Ux = g \qquad (3)$$

Главное преимущество метода LU-разложения заключается в том, что явный вид вектора правой части f при решении СЛАУ используется только на заключительном этапе (в формулах прямого хода), а наиболее трудоемкие операции по вычислению самих матриц L и U вовсе не требуют знания вектора f.

Для реализации метода Гаусса используется объектно-ориентированная технология (ООП). Данная технология позволяет создать иерархию классов не только вычислительной алгебры, но и иерархию матричных классов. Это позволяет модифицировать поведение объектов и придает объектно-ориентированному программированию исключительную гибкость [1].

Была разработана иерархия классов.