$$+\left(\Gamma_{11}^{1}\frac{T_{11}}{\sqrt{a_{11}}}\right)_{k,l}^{n}+2\left(\Gamma_{12}^{1}\frac{T_{12}}{\sqrt{a_{22}}}\right)_{k,l}^{n}+\left(\Gamma_{22}^{1}\frac{\sqrt{a_{11}}}{\sqrt{a_{22}}\sqrt{a_{22}}}T_{22}\right)_{k,l}^{n}\Bigg\}.$$

На шаге корректор разностные уравнения имеют следующий вид:

$$(\rho v_1)_{k,l}^{n+1}=0,5\Bigg\{(\rho v_1)_{k,l}^{n}+(\tilde{\rho}\tilde{v}_1)_{k,l}^{n}-\tau\Bigg\{\frac{1}{(\sqrt{g})_{k,l}}\frac{1}{\Delta r}\left[\left(\frac{\sqrt{g}}{\sqrt{a_{11}}}\tilde{T}_{11}\right)_{k+1,l}^{n}-\left(\frac{\sqrt{g}}{\sqrt{a_{11}}}\tilde{T}_{11}\right)_{k,l}^{n}\right]+$$

$$+\left(\frac{\sqrt{a_{11}}}{\sqrt{g}}\right)_{k,l}\frac{1}{\Delta\varphi}\left[\left(\frac{\sqrt{g}}{\sqrt{a_{11}}\sqrt{a_{22}}}\tilde{T}_{12}\right)_{k,l+1}^{n}-\left(\frac{\sqrt{g}}{\sqrt{a_{11}}\sqrt{a_{22}}}\tilde{T}_{12}\right)_{k,l}^{n}\right]+$$

$$+\left(\Gamma_{11}^{1}\frac{\tilde{T}_{11}}{\sqrt{a_{11}}}\right)_{k,l}^{n}+2\left(\Gamma_{12}^{1}\frac{\tilde{T}_{12}}{\sqrt{a_{22}}}\right)_{k,l}^{n}+\left(\Gamma_{22}^{1}\frac{\sqrt{a_{11}}}{\sqrt{a_{22}}\sqrt{a_{22}}}\tilde{T}_{22}\right)_{k,l}^{n}\Bigg\}\Bigg\}.$$

Аналогичным образом аппроксимируются второе и третье уравнения системы (1).

Список литературы

1 **Ляхов, Г. М.** Волны в грунтах и пористых многокомпонентных средах / Г. М. Ляхов. – М. : Наука, 1982. – 286 с.

2 Механический эффект взрыва в грунтах / И. А. Лучко [и др.]. – Киев : Наукова думка, 1989. – 232 с.

3 **Кильчевский, Н. А.** Основы тензорного исчисления с приложениями к механике / Н. А. Кильчевский. – Киев : Наукова Думка, 1972. – 198 с.

4 **Гуляєв, В. І.** Елементи теорії поверхонь / В. І. Гуляєв, І. В. Горбунович, Л. В. Гловач. – Київ : Нац. транспортний ун-т, 2011. – 239 с.

5 **Флетчер, К.** Вычислительные методы в динамике жидкостей / К. Флетчер. Т. 2. – М. : Мир, 1991. – 526 с.

УДК 539.37

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК С ДИСКРЕТНЫМ РЕБРИСТЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ УДАРЕ

В. Ф. МЕЙШ, С. П. ОРЛЕНКО

Институт механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины, г. Киев

Ю. А. МЕЙШ

Национальный транспортный университет, г. Киев, Украина

Рассматривается трехслойная цилиндрическая оболочка с внутренним дискретным ребристым наполнителем. Полагается, что внутренний и внешний слои представляют собою коаксиальные цилиндрические оболочки с соответствующими толщинами и радиусами срединных поверхностей. Наполнитель представляет собой систему ребер, жестко соединенных с внутренней и внешней оболочками (обшивками). Математически моделью процесса динамического деформирования данной структуры является система гиперболических нелинейных дифференциальных уравнений теории оболочек и стержней типа Тимошенко. Деформированное состояние внутренней и внешней цилиндрических оболочек определяется соответствующими составляющими обобщенных векторов перемещений $\bar{U}_1=(u_1^1,\,u_3^1,\,\varphi_1^1)^T$ и $\bar{U}_2=(u_1^2,\,u_3^2,\,\varphi_1^2)^T$. При рассмотрении наполнителя полагается, что деформированное состояние j-го ребра определяется обобщенным вектором перемещений центра тяжести его поперечного сечения $\bar{U}_j=(u_{1j},u_{3j},\,\varphi_{1j})^T$. Условия контакта, связывающие центры тяжести поперечного сечения соответствующего j-го подкрепляющего ребра со срединными поверхностями внешней и внутренней оболочек, имеют вид

$$u_{1j}=u_1^i(x_j)\pm h_j^i\varphi_1^i(x_j);\quad u_{3j}=u_3^i(x_j),\quad \varphi_{1j}=\varphi_1^i(x_j),\ i=1,\ 2;\quad j=\overline{1,J}. \tag{1}$$

где x_j – координата линии сопряжения центра тяжести поперечного сечения с соответствующей срединной поверхностью; $h_j^i = 0,5h_i + H_j$, h_i $(i = 1,2)$ – толщины внутренней и внешней оболочек, H_j – расстояние от оси j-го ребра до поверхности оболочек.

Для вывода уравнений движения трехслойной цилиндрической структуры с дискретным наполнителем используется вариационный принцип стационарности Гамильтона – Остроградского.

После стандартных преобразований в вариационном уравнении получим уравнения колебаний трехслойной структуры в дифференциальной форме:

– для цилиндрических оболочек в гладкой области

$$\frac{\partial T_{11}^i}{\partial x} + P_1^i = \rho_i h_i \frac{\partial^2 u_1^i}{\partial t^2}, \quad \frac{\partial \overline{T}_{13}^i}{\partial x} - \frac{T_{22}^i}{R_i} + P_3^i = \rho_i h_i \frac{\partial^2 u_3^i}{\partial t^2}; \tag{2}$$

$$\frac{\partial M_{11}^i}{\partial x} - T_{13}^i + m_1^i = \rho_i \frac{h_i^3}{12} \frac{\partial^2 \varphi_1^i}{\partial t^2};$$

$$\overline{T}_{13}^i = T_{13}^i + T_{11}^i \theta_1^i, \quad i = 1,2;$$

– для j-го дискретного ребра на линии $x = x_j$

$$\sum_{i=1}^{2} T_{11}^{i\pm} = \rho_j F_j \frac{\partial^2 u_{1j}}{\partial t^2}; \quad \sum_{i=1}^{2} \overline{T}_{13}^{i\pm} - \frac{T_{22j}}{R_j} = \rho_j F_j \frac{\partial^2 u_{3j}}{\partial t^2}; \quad \sum_{i=1}^{2} M_{11}^{i\pm} = \rho_i I_{kpj} \frac{\partial^2 \varphi_{1j}}{\partial t^2}, \tag{3}$$

где $T_{11}^{i\pm}, \overline{T}_{13}^{i\pm}, M_{11}^{i\pm}$ – усилия-моменты в срединной поверхности соответствующей оболочки, действующие на j-й подкрепляющий элемент на линии разрыва $x = x_j$. В уравнениях (2), (3) величины ρ_i, ρ_j соответствуют плотностям обшивок и ребер; h_i – толщины обшивок; F_j – площадь поперечного сечения j-го ребра; R_j – радиус j-го ребра относительно центра тяжести поперечного сечения.

Уравнения движения дополняются соответствующими начальными и граничными условиями. Для случая продольного удара граничные условия при $x = 0$ имеют вид

$$T_{11}^1 = -F(t); \quad T_{13}^1 = 0; \quad M_{11}^1 = 0; \; T_{11}^2 = 0; \quad \overline{T}_{13}^2 = 0; \quad M_{11}^2 = 0,$$

где $F(t)$ – прилагаемая нагрузка.

Правый край оболочки при $x = L$ полагается жестко защемленный:

$$u_1^1 = u_3^1 = \varphi_1^1 = 0; \quad u_1^2 = u_3^2 = \varphi_1^2 = 0.$$

Численные алгоритмы решения начально–краевых задач основываются на применении конечно-разностной аппроксимации исходных вариационных функционалов и явной разностной схеме интегрирования по времени. Основной сложностью решения краевых задач теории неоднородных оболочек с учетом дискретности заполнителя является наличие разрывных коэффициентов в уравнениях движения. В рассматриваемых задачах линиями разрывов являются линии проектирования центра массы поперечного сечения j-го ребра наполнителя на соответствующие срединные поверхности оболочек. Согласно подходу [1, 2], находится решение в гладкой части области соответствующих оболочек и "склеиваются" на линиях разрывов. Построение численного алгоритма решения уравнений (2), (3) проводятся по аналогии с изложенными работами [1].

Как численный пример, рассматривалась задача динамического поведения трехслойной цилиндрической оболочки с наполнителем, представляющим собою набор дискретных кольцевых ребер при продольном осесимметричном импульсном нагружении. Нагрузка $F(t)$ задавалась в виде

$$F(t) = \sin\frac{\pi t}{T}\left[\eta(t) - \eta(t - T)\right],$$

где T – длительность нагрузки.

Полученные численные результаты позволяют характеризовать напряженно – деформированное состояние трехслойной упругой структуры цилиндрического типа в произвольный момент времени на исследованном временном интервале согласно вышеуказанной постановке. Расчеты проводились на временном интервале $0 \le t \le 40T$.

Список литературы

1 **Головко, К. Г.** Динамика неоднородных оболочек при нестационарных нагрузках : [монография] / К. Г. Головко, П. З. Луговой, В. Ф. Мейш; под ред. акад. НАН Украины А. Н. Гузя. – К. : Изд.-полигр. центр «Киевский ун-т», 2012. – 541 с.

2 **Луговой, П. З.** Численное моделирование динамического поведения подкрепленных оболочек вращения при нестационарном воздействии / П. З. Луговой, В. Ф. Мейш // Прикладная механика. – 1992. – Т. 28. – № 11. – С. 38–44.

3 **Мейш, В. Ф.** О численном решении двумерных динамических задач геометрически нелинейной теории дискретно подкрепленных цилиндрических оболочек типа Тимошенко / В. Ф. Мейш // Прикладная механика. – 1997. – Т. 33. – № 2. – С. 61–67.

УДК 62-229.85

СЪЁМНИК ДЛЯ СРЕДНЕГАБАРИТНЫХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Р. В. МИСКЕВИЧ, В. Г. СОРОКИН, А. В. СЕВАШКО, Т. Н. ПЫЖИК
Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Республика Беларусь

Введение. В ходе выполнения работ по текущему или оперативному ремонту механизмов, по техническому обслуживанию или замене некоторых узлов и деталей невозможно обойтись без использования специальных приспособлений – съемников. Так называют группу инструментов, с помощью которых удается оперативно, без деструктивных последствий и не прилагая чрезмерных усилий произвести демонтаж таких элементов, как зубчатые колеса (шестерни), шкивы, подшипники, муфты, втулки.

Учитывая, что эти составные части механизмов предназначены для передачи крутящего момента, достигающего порой значительных величин, к точности и плотности их установки на посадочное место предъявляются высокие требования. Поэтому как монтаж, так и демонтаж шестерен и подшипников требует применения высокого и правильно скоординированного усилия, чего нельзя добиться без специальных съёмных приспособлений [1; 2].

Кроме того, правильный подбор и корректная эксплуатация съемников значительно повышает безопасность проведения слесарных работ и позволяет снизить уровень травматизма.

Цель работы определена – разработка конструкции съёмного приспособления для среднегабаритных деталей.

Разработка конструкции съёмника. Общий вид стандарт-ного винтового съёмника показан на рисунке 1.

При использовании достаточно больших съемных приспособлений возникает неудобства самостоятельно, без помощника или иного приспособления, закрепить и отпозиционировать сам съемник [3–5].

Для устранения этого недостатка предлагается усовершенствовать конструкцию съемника. Модернизация заключается в разработке механизма, сжимающего с помощью пружин захваты съемника и позволяющий развести захваты на необходимое расстояние нажатием одной руки. Конструктивно захваты съёмника выполнены таким образом, что они имеют подвижное соединение с разводяще-нажимной пластиной. Вариант модернизации съемника показан на рисунке 2.

Благодаря пружинным захватам и жёсткости конструкции предлагаемый модернизированный съёмник является более удобным и безопасным для пользователя инструментом. Специально разработанные подпружиненные захваты позволяют оператору размещать съёмник на детали одним движением и надежно фиксировать на детали.

Исследования, проведенные в работе. В работе проведены модельные исследования распределения нагрузки при использовании разработанного съёмного приспособления с использованием Cals-технологий.

Проведены прочностные расчеты винта съемника и захвата как наиболее нагруженных элементов. Спроектированы гайка, корпус, нижний упор, а также захват съемника.

Разработаны 3D-модели; проведен анализ напряженно-деформированного состояния захвата, с учетом которого произведены дополнительные преобразования конструкции. На рисунке 3 представлено распределение напряжённо-деформированного состояния захвата.