

**Кормилицин А.И., Сачкова О.С., Назаркина О.А.,
Назаркин Д.С., Федоров А.Л.**

Моделирование саркофага (соотношение высоты к ширине два к семи) для уменьшения аварийного выброса нефти из скважины с помощью комплекса программ Мусаева В.К.

Аннотация: Рассмотрена задача об ударном аварийном выбросе нефти в сложной системе, которая состоит из разных деформируемых сред (водной, нефтяной и твердой), а так же из твердого деформируемого саркофага (соотношение высоты к ширине два к семи).

Ключевые слова: безопасность в чрезвычайных ситуациях, техносферная безопасность, вычислительная физика, водная среда, нефтяная среда, деформируемая среда, выброс нефти, аварийная ситуация, саркофаг, комплекс программ Мусаева В.К.

Информация о моделировании нестационарных волн напряжений в деформируемых телах приведена в следующих работах [1–6].

Информация о точности и достоверности рассматриваемого численного метода, алгоритма и комплекса программ приведена в следующих работах [1–3].

Рассмотрим задачу об ударном аварийном выбросе нефти (рис. 2) в сложной системе, которая состоит из разных деформируемых сред (водной, нефтяной и твердой), а так же из твердого деформируемого саркофага (соотношение высоты к ширине два к семи) (рис. 1).

Расчеты проводились при следующих единицах измерения: килограмм-сила (кгс); сантиметр (см); секунда (с). Для перехода в другие единицы измерения были приняты следующие допущения: $1 \text{ кгс/см}^2 \approx 0,098 \text{ МПа}$; $1 \text{ кгс с}^2/\text{см}^4 \approx 0,98 \cdot 10^9 \text{ кг/м}^3$.

На контуре MN приложено нормальное воздействие σ_y (рис. 1), которое при $0 \leq n \leq 11$ ($n = t/\Delta t$) изменяется линейно от 0 до P, при $11 \leq n \leq 30$ равно P и при $30 \leq n \leq 40$ от P до 0 ($P = \sigma_0$, $\sigma_0 = 0,098 \text{ МПа}$ (1 кгс/см^2)). Принято следующее допущение: $1 \text{ кгс/см}^2 \approx 0,098 \text{ МПа}$. Граничные условия для контура ABCILD при

$t > 0$ $u = v = \dot{u} = \dot{v} = 0$. Отраженные волны от контура ABCILD не доходят до исследуемых точек при $0 \leq n \leq 500$.

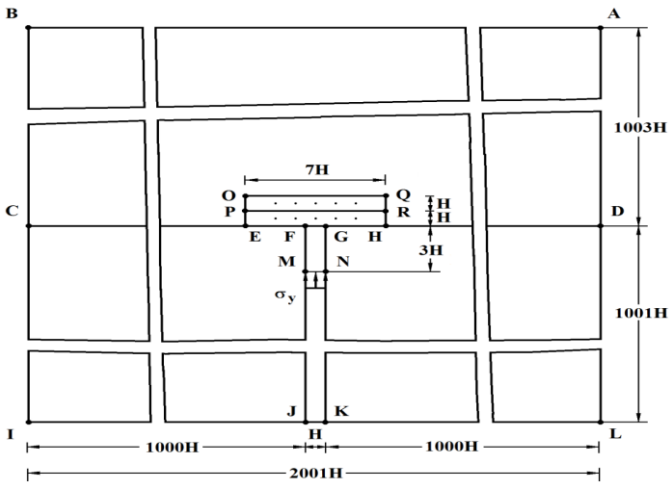


Рис. 1 – Постановка задачи об ударном аварийном выбросе нефти в сложной деформируемой системе с саркофагом (плита: соотношение высоты к ширине два к семи)

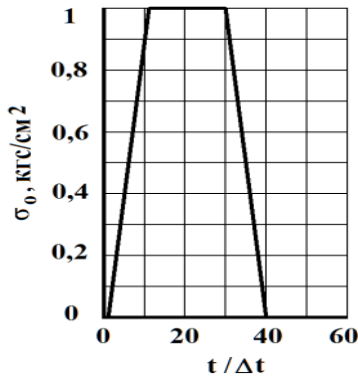


Рис. 2 – Ударное воздействие для задачи с саркофагом (плита: соотношение высоты к ширине два к семи)

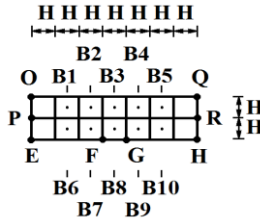


Рис. 3 – Точки В1 - В10, в которых поучены упругие напряжения во времени для задачи с саркофагом (плита: соотношение высоты к ширине два к семи)

Для твердой деформируемой среды FECIJM, DHGKNL и QOPEFGHR приняты следующие исходные данные: $H = \Delta x = \Delta y$; $\Delta t = 1,393 \cdot 10^{-6}$ с; $E = 3,09 \cdot 10^4$ МПа ($3,15 \cdot 10^5$ кгс/см²); $\nu = 0,2$; $\rho = 0,25 \cdot 10^4$ кг/м³ ($0,255 \cdot 10^{-5}$ кгс с²/см⁴); $C_p = 3587$ м/с; $C_s = 2269$ м/с. Приняты следующие допущения: $1 \text{ кгс/см}^2 \approx 0,098 \text{ МПа}$; $1 \text{ кгс с}^2/\text{см}^4 \approx 0,98 \cdot 10^9 \text{ кг/м}^3$. Для водной деформируемой среды АВСЕРОQRHD приняты следующие исходные данные: $H = \Delta x = \Delta y$; $\Delta t = 3,268 \cdot 10^{-6}$ с; $\rho = 1,025 \cdot 10^3$ кг/м³ ($1,045 \cdot 10^{-6}$ кгс с²/см⁴); $C_p = 1530$ м/с. Принято следующее допущение: $1 \text{ кгс с}^2/\text{см}^4 \approx 0,98 \cdot 10^9 \text{ кг/м}^3$.

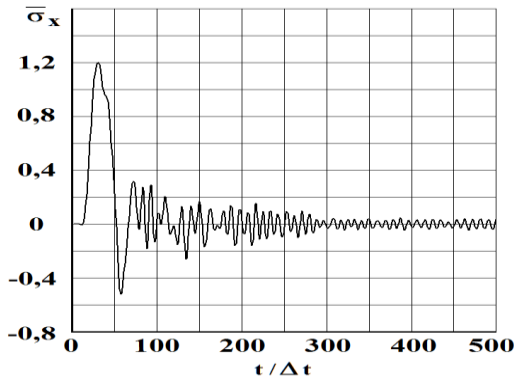


Рис. 4 – Изменение упругого нормального напряжения $\bar{\sigma}_x$ во времени $t/\Delta t$ в точке В1 в задаче с саркофагом (плита: соотношение высоты к ширине два к семи)

Для нефтяной деформируемой среды GFМJKN приняты следующие исходные данные: $H = \Delta x = \Delta y$; $\Delta t = 3,876 \cdot 10^{-5}$ с; $\rho = 0,825 \cdot 10^3$ кг/м³ ($0,841 \cdot 10^{-6}$ кгс с²/см⁴); $C_p = 1290$ м/с. Принято следующее допущение: $1 \text{ кгс с}^2/\text{см}^4 \approx 0,98 \cdot 10^9 \text{ кг/м}^3$.

На границе материалов с разными свойствами приняты условия непрерывности перемещений. При расчетах принимается минимальный шаг по времени $\Delta t = 1,393 \cdot 10^{-6}$ с. Исследуемая расчетная область имеет 4014010 узловых точек. Решается система уравнений из 16056040 неизвестных.

Получено изменение упругого нормального напряжения $\bar{\sigma}_x$ ($\bar{\sigma}_x = \sigma_x / |\sigma_0|$) во времени n в точках В1 - В10 (рис. 3). Получено изменение упругого нормального напряжения $\bar{\sigma}_y$ ($\bar{\sigma}_y = \sigma_y / |\sigma_0|$) во времени n в точках В1 - В10 (рис. 3). Получено изменение упругого касательного напряжения $\bar{\tau}_{xy}$ ($\bar{\tau}_{xy} = \tau_{xy} / |\sigma_0|$) во времени n в точках В1 - В10 (рис. 3). На рис. 4 представлено изменение упругого нормального напряжения $\bar{\sigma}_x$ ($\bar{\sigma}_x = \sigma_x / |\sigma_0|$) во времени n в точке В1 (рис. 3).

Авторы выражают благодарность Мусаеву В.К. за оказанную помощь и внимание к работе.

Литература:

1. *Musayev V.K.* Estimation of accuracy of the results of numerical simulation of unsteady wave of the stress in deformable objects of complex shape // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2015. – Volume 11, Issue 1. – P. 135–146.
2. *Мусаев В.К., Дикова Е.В., Кормилицин А.И., Самойлов С.Н., Стародубцев В.В.* Достоверность результатов численного метода в перемещениях при отражении упругих волн напряжений в виде треугольного импульса от свободной поверхности пластинки // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2016. – № 4. – С. 57–61.
3. *Мусаев В.К.* Оценка точности компьютерного моделирования плоских нестационарных волн напряжений (прямоугольный импульс) в упругой полуплоскости // Международный журнал

прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 11–2. – С. 236–239.

4. *Мусаев В.К.* Численное моделирование саркофага (соотношение ширины к высоте семь к одному, двум и трем) в водной среде для уменьшения ударного воздействия (выброса) нефти из скважины // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 11–3. – С. 408–413.

5. *Мусаев В.К.* Численное моделирование саркофага (соотношение ширины к высоте семь к одному, двум и трем) в водной среде для уменьшения ударного воздействия (выброса) нефти из скважины // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 11–3. – С. 408–413.

6. *Мусаев В.К.* Математическое моделирование безопасности окружающей среды при аварийном разливе нефти в водную среду // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – № 12–1. – С. 135–138.