

УДК 622.248.54

А. А. Каракозов, Е. Р. Алексеев, Т. В. Кучер, С. Н. Парфенюк

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, Украина

Разработка программного обеспечения математической модели работы бурильной колонны при ликвидации прихватов бурового снаряда

Описана математическая модель динамических процессов в бурильной колонне при ликвидации прихвата ударным механизмом. Рассмотрена конечно-разностная схема решения гиперболического уравнения на трех этапах рабочего цикла механизма. Приведены результаты компьютерного моделирования.

Ключевые слова: бурильная колонна, прихват, ударный механизм, гиперболическое уравнение, компьютерная модель.

В бурении многие процессы, связанные с колебаниями бурильной колонны или неустановившимся движением жидкости в скважине, описываются гиперболическими дифференциальными уравнениями в частных производных. Решение этих уравнений в настоящее время не представляет существенных трудностей, при условии, что на всем протяжении рабочего процесса граничные условия остаются неизменными. Однако существует ряд задач, при решении которых мы сталкиваемся с разделением процесса на несколько фаз, отличающихся граничными условиями, при этом состояние системы в конце фазы определяет начальные условия следующей фазы. В этом случае аналитическое решение уже для второй фазы процесса становится весьма громоздким для практического использования, учитывая, что решение большинства подобных задач сопряжено, в конечном итоге, с определением суммы бесконечного ряда, в котором слагаемые зачастую содержат коэффициенты, находимые из трансцендентных уравнений. Если же в рабочем цикле имеется еще хотя бы третья фаза, то аналитическое решение, полученное для нее, использовать еще более затруднительно из-за больших объемов вычислений. Поскольку полученные аналитические решения для своей реализации все равно требуют разработки программного обеспечения и выполнения значительных расчетов на компьютере, то нам представляется, что подобные задачи значительно проще решать исключительно численными методами.

В статье рассматривается пример реализации такого подхода при проведении расчетов по несколько упрощенной математической модели, описывающей динамические процессы в бурильной колонне в течение рабочего цикла ударного механизма для ликвидации прихватов бурового снаряда, реализующего энергию упругой деформации бурильных труб (гидравлического или механического яса). Математическая модель является гиперболическим дифференциальным уравнением в частных производных, при этом, на каждом из этапов рабочего цикла меняются граничные и начальные условия. Граничные условия изменяются в зависимости от характера закрепления верхнего и нижнего концов бурильной колонны на той или иной фазе, обусловленных ее взаимодействием с талевой системой и прихваченным снарядом. Решение дифференциального уравнения на предыдущем этапе позволяет сформировать начальные условия последующего. Кроме того, длительность каждого из этапов определяется в процессе решения уравнения с учетом дополнительно налагаемых ограничений, обусловленных параметрами системы «ударный механизм – бурильная колонна – талевая система». Подобные особенности модели не позволяют использовать известные приложения решения дифференциальных уравнений в частных производных. Поэтому был разработан комплекс программных средств для решения данной задачи.

Ударные механизмы (гидравлические и механические ясы) широко используются в практике бурения нефтяных и газовых скважин, и их работа исследовалась рядом авторов [1–5]. В практике бурения геологоразведочных скважин ударные механизмы применяются для ликвидации прихватов колонковых наборов, длина которых на один – два порядка меньше длины колонны бурильных труб. В этом случае справедливо допущение, позволяющее рассматривать их, соответст-

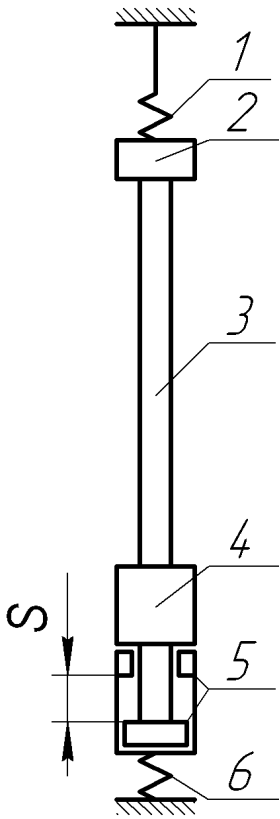


Рис. 1. Расчетная схема для анализа рабочего цикла ударного механизма: 1 – канат талевой системы; 2 – талевый блок; 3 – бурильная колонна; 4 – УБТ; 5 – ударный механизм; 6 – прихваченный снаряд; S – ход бойка.

венно, как пружину и упругий стержень с равномерно распределенной массой. Прихваченный снаряд также допускается рассматривать неподвижным, поскольку за время от момента размыкания «замка» ударного механизма до удара колебания в нем практически затухают.

При анализе рабочего цикла ударного механизма использовалась расчетная схема, представленная на рис. 1. Канат талевой системы представлен в виде упругой нити. Масса талевого блока учитывается в виде сосредоточенной массы M_1 , связанной с верхней частью упругого стержня, а включаемые в состав снаряда утяжеленные бурильные трубы (УБТ) – массой M_2 , закрепленной на нижнем торце бурильной колонны. При этом наличие УБТ является необязательным, в этом случае $M_2=0$. Поскольку эффективность применения ударного механизма определяется не только величиной ударной силы, но и характером возбуждаемых в колонне волновых процессов, то рабочий цикл механизма исследуется на всем его протяжении до нарушения контакта между бойком и корпусом устройства в момент прихода отраженной волны растяжения к нижнему торцу колонны бурильных труб.

При составлении расчетной модели приняты следующие обозначения: x – текущая координата по оси колонны, м; t – текущее значение времени, с; u – перемещение сечения колонны с координатой x , м; c – скорость распространения волны упругой деформации в материале труб, м/с; P – растягивающая нагрузка, приложенная сверх веса колонны, Н; z – жесткость талевой системы; G – жесткость прихваченного снаряда; M_1 – сосредоточенная масса талевого блока; M_2 – сосредоточенная масса УБТ, закрепленных на нижнем конце бурильной колонны; L – длина бурильной колонны, при решении задачи рассматривалась в пределах до 1000 м, что характерно для геологоразведочных скважин.

Цикл работы ударного механизма описывается волновым уравнением продольных колебаний упругого стержня

$$u_{tt} = c^2 u_{xx},$$

где $x = 0 \dots L$; $t = 0 \dots T$, $T = \frac{2L}{c}$ – общее время рабочего цикла.

Рабочий цикл разделяется на три этапа, отличающиеся друг от друга граничными и начальными условиями. Перемещение сечения колонны с координатой x в текущий момент времени t обозначим следующим образом: $u^I(x,t)$ – перемещение на первом этапе, $u^{II}(x,t)$, $u^{III}(x,t)$ – перемещение на втором и третьем этапах рабочего цикла соответственно.

Рассмотрим фазы работы ударного механизма.

1. Первый этап – фаза разгона бойка, при которой накопленная в бурильной колонне энергия упругой деформации переходит в кинетическую энергию ее движения. Этап начинается в момент размыкания «замка» ударного механизма и заканчивается в момент T_1 контакта бойка с корпусом устройства. Условие окончания первого этапа при $t=T_1$ выражается соотношением $u(L, T_1) = S$, где S – ход бойка, определяющийся конструкцией механизма. Верхний конец колонны бурильных труб рассматривается как упруго закрепленный (действует сила упругости со стороны талевой системы), а нижний конец – свободный.

Начальные условия для первого этапа ($t_1=0$):

- перемещение сечения колонны с координатой x равно упругой деформации участка бурильных труб от 0 до x :

$$u^I(x,0) = Px/(EF) \tag{2}$$

- сечения колонны с координатой x неподвижны:

$$u_t^I(x,0) = 0 \tag{3}$$

Граничные условия для первого этапа ($t_1 \in [0; T_1]$):

- упругая сила в верхнем сечении ($x=0$) буровой колонны:

$$EFu_x^I(0, t_1) = zu^I(0, t_1) + M_1 u_u^I(0, t_1) + P \quad (4)$$

- нижний торец буровой колонны ($x=L$):

$$EFu_x^I(L, t_1) = -M_2 u_u^I(L, t_1) \quad (5)$$

2. Второй этап – фаза удара, при которой боек взаимодействует с корпусом ударного механизма (нижний конец буровой колонны становится упруго закрепленным), при этом на верхний конец буровых труб еще продолжает действовать упругая сила со стороны талевого системы.

Этап заканчивается в момент времени T_2 , когда $u^{II}(0, T_2) = -u_c$, где u_c – статическое положение равновесия талевого системы под действием веса буровой колонны. При этом в конце фазы верхний торец колонны разгружается от действия силы упругости талевого системы и далее рассматривается как свободный.

Рассматривая вторую фазу, следует помнить, что ее начальными условиями будут значения $u^I(x, T_1)$ и $u_t^I(x, T_1)$:

- перемещение сечения колонны с координатой x :

$$u^{II}(x, 0) = u^I(x, T_1) \quad (6)$$

- скорость сечения колонны с координатой x :

$$u_t^{II}(x, 0) = u_t^I(x, T_1) \quad (7)$$

Граничные условия для второго этапа имеют вид (для $t_2 \in [0; T_2]$):

- упругая сила в верхнем сечении ($x=0$) буровой колонны:

$$EFu_x^{II}(0, t_2) = zu^{II}(0, t_2) + M_1 u_u^{II}(0, t_2) + P \quad (8)$$

- нижний торец буровой колонны ($x=L$):

$$EFu_x^{II}(L, t_2) = -M_2 u_u^{II}(L, t_2) - G[u^{II}(L, t_2) - u_0] \quad (9)$$

где $u_0 = u^I(L, T_1)$.

3. Третий этап – продолжение фазы удара, при которой контакт бойка с корпусом продолжается (т.е. нижний конец буровой колонны остается упруго закрепленным), а верхний конец буровых труб свободен. Этап заканчивается в момент прихода отраженной волны растяжения к контактному сечению бойка с наковальной ударного механизма при $T_3 = 2L/c - T_1 - T_2$.

Следует отметить, что при определенных сочетаниях значений растягивающей силы и хода бойка ударного механизма вторая фаза может длиться до окончания рабочего цикла, т.е. в этом случае третьего этапа не будет.

На третьем этапе начальными условиями являются значения $u^{II}(x, T_2)$ и $u_t^{II}(x, T_2)$:

- перемещение сечения колонны с координатой x

$$u^{III}(x, 0) = u^{II}(x, T_2) \quad (10)$$

- скорость сечения колонны с координатой x :

$$u_t^{III}(x, 0) = u_t^{II}(x, T_2) \quad (11)$$

Граничные условия для третьего этапа имеют вид (для $t_3 \in [0; T_3]$):

- упругая сила в верхнем сечении ($x=0$) буровой колонны равна 0:

$$u_x^{III}(0, t_3) = 0 \quad (12)$$

- нижний торец буровой колонны ($x=L$):

$$EFu_x^{III}(L, t_3) = -M_2 u_u^{III}(L, t_3) - G[u^{III}(L, t_3) - u_0] \quad (13)$$

Зная перемещение нижнего сечения бурильной колонны в течение второй и третьей фаз работы ударного механизма, можно определить величину усилия P_y , действующего на прихваченный буровой снаряд:

$$P_y^{II} = -G[u^{II}(L, t_2) - u_0], P_y^{III} = -G[u^{III}(L, t_3) - u_0] \quad (14)$$

Для решения задачи моделирования динамических процессов в бурильной колонне использован метод сеток, при этом частные производные в уравнении, начальных и граничных условиях заменены разделенными разностями [6]:

$$U_{tt} = \frac{U_i^{j-1} - 2 \cdot U_i^j + U_i^{j+1}}{\Delta t^2}, U_{xx} = \frac{U_{i-1}^j - 2 \cdot U_i^j + U_{i+1}^j}{h^2},$$

$$U_t = \frac{U_i^j - U_i^{j-1}}{\Delta t}, U_x = \frac{U_{i-1}^j - U_i^j}{h},$$

где h и Δt – шаг сетки по x и t соответственно, U_i^j – текущий узел сетки, соответствующий значению функции $U(x_i, t_j)$. Шаг по времени выбирается из условия Куранта устойчивости разностной схемы $\Delta t \leq \frac{h}{c}$ [6].

В разностной схеме расчетная формула во внутренних узлах сетки на всех трех этапах принимает вид

$$U_i^{j+1} = 2 \cdot U_i^j - U_i^{j-1} + \frac{c^2 \cdot \Delta t^2}{h^2} \cdot (U_{i-1}^j + U_{i+1}^j - 2 \cdot U_i^j). \quad (15)$$

На первом этапе формулы для расчета в пограничных слоях имеют вид (N – количество узлов в сетке по координате x , $L1$ – количество узлов по времени в сетке на первой фазе):

$$U_i^0 = \frac{Px_i}{(EF)}, \quad i=0...N \quad (16)$$

$$U_i^1 = U_i^0$$

$$U_0^j = \frac{EF\Delta t^2}{M_1 \cdot h} \cdot \left(U_1^{j-1} - U_0^{j-1} \cdot \left(1 + \frac{z \cdot h}{EF} - 2 \frac{M_1 \cdot h}{EF\Delta t^2} \right) - \frac{M_1 \cdot h}{EF\Delta t^2} \cdot U_0^{j-2} - \frac{Ph}{(EF)} \right) \quad (17)$$

Если $M_1 = 0$, то $U_0^j = \frac{1}{\left(1 + \frac{zh}{EF} \right)} \cdot \left(U_1^j - \frac{Ph}{(EF)} \right)$ $j=2...L1$

$$U_{N-1}^j = \frac{EF\Delta t^2}{M_2 \cdot h} \cdot \left(U_{N-2}^{j-1} - U_{N-1}^{j-1} \cdot \left(1 - \frac{2M_2 \cdot h}{EF\Delta t^2} \right) - \frac{M_2 \cdot h}{EF\Delta t^2} U_{N-1}^{j-2} \right) \quad (18)$$

$j=2...L1$

Если $M_2=0$, то $U_{N-1}^j = U_{N-2}^j$.

$$U_{N-1}^j = U_{N-2}^j, j=2...L1 \quad (19)$$

Время окончания первого этапа определяется из соотношения $u_N^{L1} = S$.

На втором этапе формулы для расчета в пограничных слоях имеют вид ($L2$ – количество узлов по времени на второй фазе):

$$U_i^0 = U_i^{(L1)L1}, \quad i=0...N-1 \quad (20)$$

$$U_i^1 = U_i^0 + U_i^{(I)L1} - U_i^{(I)L1-1}, i=0...N-1 \quad (21)$$

$$U_0^j = \frac{EF\Delta t^2}{M_1 \cdot h} \left(U_1^{j-1} - U_0^{j-1} \left(1 + \frac{z \cdot h}{EF} - 2 \frac{M_1 \cdot h}{EF\Delta t^2} \right) - \frac{M_1 \cdot h}{EF\Delta t^2} \cdot U_0^{j-2} - \frac{Ph}{(EF)} \right) \quad (22)$$

$$j = L1 + 1 \dots L2$$

$$\text{Если } M_1 = 0, \text{ то } U_0^j = \frac{1}{\left(1 + \frac{zh}{EF} \right)} \cdot \left(U_1^j - \frac{Ph}{(EF)} \right)$$

$$U_{N-1}^j = \frac{EF\Delta t^2}{M_2 \cdot h} \cdot \left(U_{N-2}^{j-1} - U_{N-1}^{j-1} \cdot \left(1 - \frac{2M_2 \cdot h}{EF\Delta t^2} + \frac{G \cdot h}{EF} \right) - \frac{M_2 \cdot h}{EF\Delta t^2} U_{N-1}^{j-2} + \frac{G \cdot h}{EF} \cdot U_{N-1}^{(I)L1} \right), \quad j = L1 + 1 \dots L2 \quad (23)$$

$$\text{Если } M_1 = 0, \text{ то } U_0^j = \frac{1}{\left(1 + \frac{zh}{EF} \right)} \cdot \left(U_1^j - \frac{Ph}{(EF)} \right).$$

Время окончания второго этапа будет находиться из соотношения $u_{0}^{II L2} = -u_c$.

Можно записать следующие расчетные формулы для третьего этапа в пограничных слоях (M – количество узлов по времени для трех этапов).

$$U_i^0 = U_i^{(II)T2}, i=0...N-1, \quad (24)$$

$$U_i^1 = U_i^0 + U_i^{(II)L2} - U_i^{(II)L2-1}, i=0...N-1 \quad (25)$$

$$U_1^j = U_0^j, \quad j=L2+1...M \quad (26)$$

$$U_{N-1}^j = \frac{EF\Delta t^2}{M_2 \cdot h} \cdot \left(U_{N-2}^{j-1} - U_{N-1}^{j-1} \cdot \left(1 - \frac{2M_2 \cdot h}{EF\Delta t^2} + \frac{G \cdot h}{EF} \right) - \frac{M_2 \cdot h}{EF\Delta t^2} U_{N-1}^{j-2} + \frac{G \cdot h}{EF} \cdot U_{N-1}^{(II)L1} \right), \quad j=L2+1...M \quad (27)$$

$$\text{Если } M_2=0, \text{ то } U_{N-1}^j = \frac{1}{\left(1 + \frac{G \cdot h}{EF} \right)} \cdot \left(U_{N-2}^j + \frac{G \cdot h}{EF} \cdot U_{N-1}^{L1} \right).$$

Таким образом, задача моделирования бурильной колонны свелась к разностным уравнениям (15) – (27) с условиями нахождения времени окончания первого и второго этапов $u_N^{I L1} = S$ и $u_0^{II L2} = -u_c$.

Для хранения всей матрицы $U(N,M)$ ($N=8000$, $M=128000$, при $h=0,125$, $t \approx 0,0000029$) понадобилось бы около 7 Гб оперативной памяти. Поэтому авторами был разработан алгоритм послыного хранения матрицы, реализующий формулы (15) – (19), (20) – (23), (24) – (27) с автоматическим выбором шага по x , шаг по t выбирается из условия устойчивости явной разностной схемы.

Так как в перспективе планируется разработка кроссплатформенного программного обеспечения на языке C++ для решения ряда прикладных задач подобного уровня, то возникла про-

блема выбора компилятора. Авторами были рассмотрены и проанализированы следующие компиляторы языка C++:

- свободный компилятор (версии 4.6) из набора компиляторов GNU Compiler Collection (GCC) [7];
- компилятор из пакета MS Visual Studio 2010;
- компилятор ICC из пакета Intel Parallel Studio XE 2013 (доступен для некоммерческого использования под управлением ОС Linux).

Тестирование приложений, полученных с использованием различных компиляторов, проводилось на персональных компьютерах со следующей конфигурацией:

- настольный ПК – ОЗУ 4 ГБ, процессор Intel Core I5–2500, 3,3 ГГц (операционные системы: 64-х разрядная Windows 8 Профессиональная, 32-х разрядная Linux Mint 13);
- ноутбук – ОЗУ 2 ГБ, процессор AMD Athlon II X2 M320, 2,1 ГГц (32-х разрядные операционные системы: ОС Windows 7 Профессиональная, Linux Mint 13).

По результатам тестирования был сделан вывод, что проприетарные компиляторы даже под управлением операционных систем семейства Windows по быстродействию не превосходят свободный компилятор GCC (скомпилированное им приложение выполняло расчеты не более 9 с на первом компьютере и не более 24 с на втором). С учетом того, что использование свободного компилятора GCC не накладывает никаких правовых ограничений на использование получаемых приложений, авторами было принято решение далее использовать именно его при разработке программы для решения поставленной задачи.

Специалистам в области бурения скважин легче анализировать результаты моделирования, если наряду с числовыми данными будут присутствовать и графики зависимостей. При выборе программного обеспечения для графического отображения результатов авторы остановили свой выбор на свободном пакете GNU Octave [8, 9], так как его преимуществами являются: 1. Кроссплатформенность; 2. Лицензия распространения – GNU GPL; 3. Совместимость программного кода приложений GNU с мощным проприетарным приложением MATLAB; 4. Мощный модуль построения графиков и поверхностей; 5. Отсутствие проблем при работе с огромными массивами (100000 элементов) и матрицами (более 1000000) элементов.

Именно возможность работать с огромными массивами данных позволяет использовать GNU Octave для построения графиков при решении данной задачи (математический пакет Scilab [10] не всегда справлялся с огромными массивами данных, электронная таблица LibreOffice Calc очень медленно осуществляет чтение и обработку больших массивов данных). Большое количество вычислений в рассматриваемой задаче не позволяет использовать интерпретаторы (Scilab, Octave, Matlab) в качестве основного средства вычислений. На ПК с процессором Core i5–2500 Matlab считал около 20 минут, т.е. в 40 раз медленнее, чем программа, созданная с использованием GCC. Время счета задачи в GNU Octave составило 6 часов.

Разработанное программное обеспечение представляет скрипт, в который включены: команды компилятора GCC (с ключами оптимизации) для создания исполняемого приложения решения задачи и его запуска; вызов интерпретатора GNU Octave и передача в него файла с разработанным приложением для построения графиков; запись построенных графиков в файлы с расширением eps.

Компьютерная модель, описывающая динамические процессы в бурильной колонне в течение рабочего цикла ударного механизма для ликвидации прихватов бурового снаряда, была использована при решении реальной инженерной задачи для условий бурения геологоразведочной скважины: бурильные трубы СБТМ-50; длина колонны от 500 до 1000 м; масса талевого блока 150 кг; масса УБТ – от 0 до 1000 кг; талевая оснастка 2-х и 4-х струнная; диаметр прихваченного колонкового набора 89 мм, его длина от 4 до 9 м.

Некоторые результаты расчета, представленные в виде графических зависимостей, приведены на рис. 2–4.

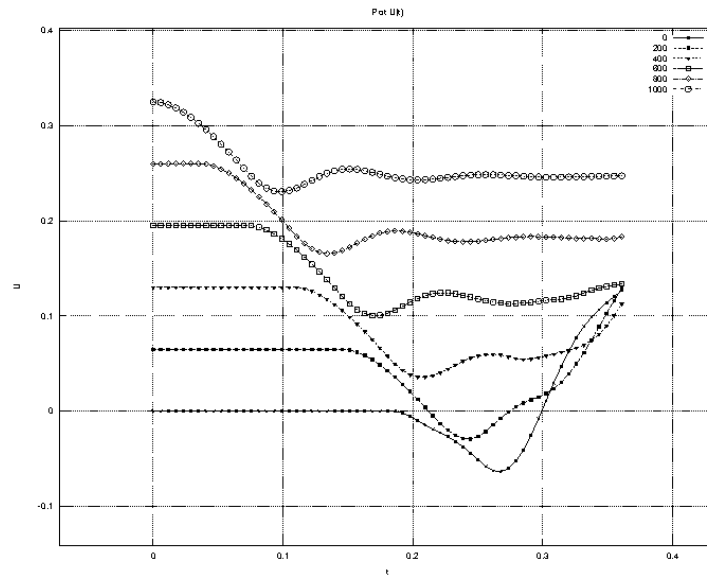


Рис. 2. Пример графика зависимости продольных перемещений $U(t)$ в различных сечениях буровой колонны (при $x=0, 200, 400, 600, 800$ и 1000 м).

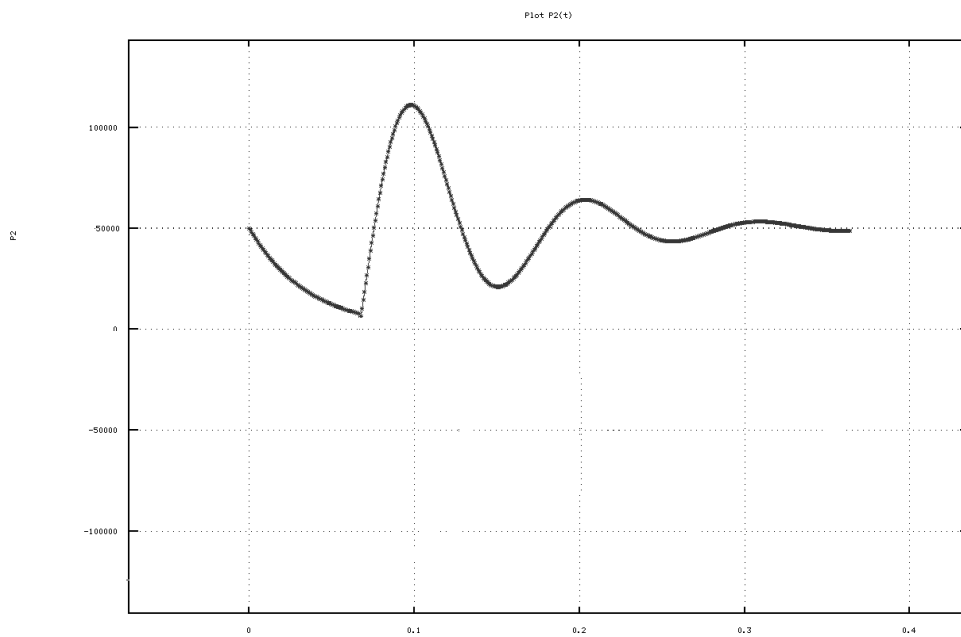
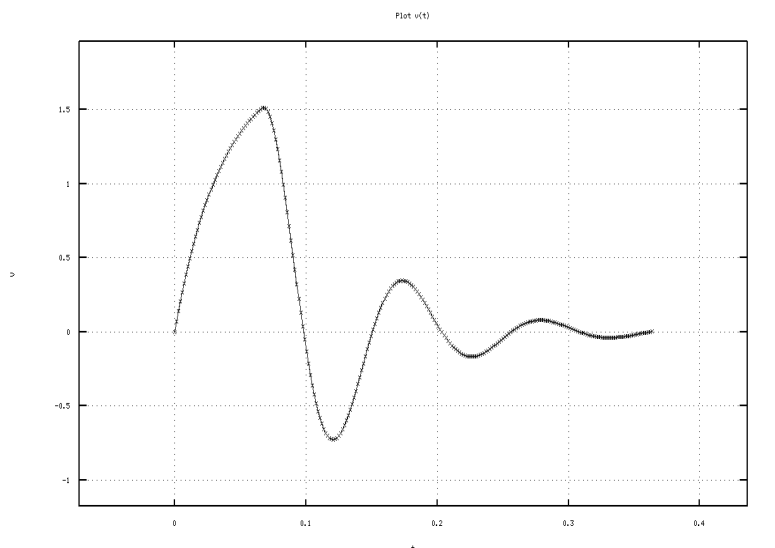


Рис. 3. Пример графика изменения усилия в нижнем сечении буровой колонны

Рис. 4. Пример графика скорости $V(t)$ нижнего сечения колонны

Анализ полученных результатов показывает, что качественная картина протекания рабочего цикла соответствует математической модели, а также известным данным: как теоретическим, полученным ранее другими исследователями, так и промысловым, полученным при эксплуатации ударных механизмов. Однако некоторые количественные показатели существенно отличаются от известных теоретических результатов. Так, например, по сравнению с данными, полученными в работах [1–5], усилие, действующее на прихваченный колонковый набор, оказывается существенно ниже, особенно по сравнению с моделями, приведенными в [2] и [5], в которых вся буровая колонна рассматривалась как сосредоточенная масса, связанная с пружиной. В то же время, данные, полученные по разработанной компьютерной модели, более согласуются с известными результатами эксплуатации ударных механизмов в геологоразведочных скважинах, в частности, с результатами использования ударных механизмов РШ-73 [11]. В пользу более низких усилий свидетельствует факт беспрепятственного ведения аварийных работ, хотя результаты, приведенные в [1, 2, 5], показывали высокую вероятность обрывов буровой колонны из-за высоких динамических нагрузок.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования предложенного метода расчета как для более точной постановки данной задачи, в которой все элементы ударной системы могут рассматриваться как тела с распределенными параметрами, так и для других задач подобного уровня. Разработанная компьютерная модель может работать не только с операционными системами семейства Windows, но и с Unix-подобными системами.

Библиографический список

1. Ферштер А.В. Выбор оптимальных условий работы яса / А.В. Ферштер, Б.А. Блейх, С.А. Шейнбаум // Нефтяное хозяйство. – 1977. – №2. – С. 17–19.
2. Самотой А.К. Предупреждение и ликвидация прихватов труб при бурении скважин / А.К. Самотой. – М.: Недра, 1979. – 182 с.
3. Friedman M.B. Drillstring Dynamics During Jar Operation / M.B. Friedman, M.R. Skeem, B.H. Walker // Journal of Petroleum Technology. – 1979. - Vol 31, №11.
4. Самотой А.К. Прихваты колонн при бурении скважин / А.К. Самотой. – М.: Недра, 1984. – 204 с.
5. Юртаев В.Г. Динамика буровых установок / В.Г. Юртаев. – М.: Недра, 1987. – 160 с.
6. Калиткин Н.Н. Численные методы / Н.Н. Калиткин. – М.: Наука, 1978. – 512 с.
7. GCC, the GNU Compiler Collection – GNU Project – Free Software Foundation (FSF) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gcc.gnu.org/> (дата обращения: 16.03.2013).
8. GNU Octave [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gnu.org/software/octave/>. - Дата обращения: 16.03.2013.

9. Алексеев Е.Р. Введение в Octave для инженеров и математиков [Электронный ресурс] / Е.Р. Алексеев, О. В. Чеснокова. – М.: ALT Linux, 2012. – 368 с. – Режим доступа: <http://www.altlinux.org/images/0/07/OctaveBook.pdf>.
10. Алексеев Е.Р. Scilab: Решение инженерных и математических задач [Электронный ресурс] / Е.Р. Алексеев, О.В. Чеснокова, Е.А. Рудченко. – М.: ALT Linux; Бином. Лаборатория знаний, 2008. – 260 с. – Режим доступа: <http://docs.altlinux.org/books/2008/altlibrary-scilab-20090409.pdf>.
11. Колomoец А.В. Предупреждение и ликвидация аварий в разведочном бурении / А.В. Колomoец. – М.: Недра, 1985. – 224 с.

Надійшла до редакції 29.03.2013

А. А. Каракозов, Є. Р. Алексеев, Т. В. Кучер, С. Н. Парфенюк
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, Україна

Розробка програмного забезпечення математичної моделі роботи бурильної колони при ліквідації прихватів бурового снаряда

Описано математичну модель динамічних процесів у бурильній колоні при ліквідації прихоплення. Розглянута кінцево-різницева схема рішення гіперболічного рівняння на трьох етапах робочого циклу механізму. Наведені результати комп'ютерного моделювання.

Ключові слова: бурильна колона, прихоплення, ударний механізм, гіперболічне рівняння, комп'ютерна модель.

A. A. Karakozov, R. Ye. Alekseev, T. Kucher, S. N. Parfenyuk
Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine

Development of the software of a mathematical model of the drill string operation during liquidation of drill sticking

The mathematical model of the dynamic processes in the drill string is described. A finite-difference scheme for solving the hyperbolic equation for three phases of mechanism work cycle is considered. Engineering analysis of the resulting simulation solutions is presented.

Keywords: drill string, sticking, jar, hyperbolic equation, computer model.