

БҰРҒЫЛАУ БАҒАНЫНЫҢ ҚОЗҒАЛЫСЫНЫҢ ОРНЫҚТЫЛЫҒЫН МОДЕЛЬДЕУ

А.Т. Талғатова

әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,
e-mail: aikerim.talgatova@mail.ru

Бұл мақалада мұнай-газ өнеркәсібінде қолданылатын бұрғылау бағаны қозғалысының математикалық моделі құрылып, неғұрлым аз шығынмен, бағана қозғалысының орнықтылығын сақтайтын тез және өнімді нәтижеге қол жеткізетін параметрлер шамалары анықталды. Жоба барысында тік ұңғымадағы бұрғылау бағанасының төменгі жағы екі жүктеменің: осьтік жүктеме күш және бағананың өзіндік салмағы әсерінде болатын модель қарастырылды. Қарастырылып отырған модель көпөлшемді, периодты, бағана орнықтылығына әсер ететін бірнеше параметрлерді қамтиды. Көпөлшемді модельдің күрделілігіне байланысты Бубнов-Галеркиннің айнымалыларды бөлу әдісі арқылы модель екінші ретті қарапайым дифференциалдық теңдеулер жүйесіне келтірілді. Математикалық модельдің шешімін ішінара іріктеу әдісі арқылы шығарып, C++ бағдарламалық тілі мен Matlab қолданбалы бағдарламалық пакетінде есептеулер жүргізе отырып, графикалық нәтижелер алынды. Бұрғылау бағанасының тұрақтылығының өзгерісін бұрғылау моделінде кездесетін әртүрлі параметрлердің мәндерін өзгерту арқылы өзара салыстырулар жүргізіліп тиімді шешімі қарастырылды.

Бұрғылау бағанының параметрлерінің тербеліс амплитудасына әсеріне талдау жүргізілді. Айналу жиілігі мен бағана ұзындығының айтарлықтай әсері анықталды.

Түйін сөздер: бұрғылау бағанасы, орнықтылық, ішінара іріктеу әдісі, сызықсыз модель, Бубнов-Галеркин әдісі, рекурренттік формула.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ БУРОВОЙ КОЛОННЫ

А.Т. Талғатова

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
e-mail: aikerim.talgatova@mail.ru

В данной статье построена математическая модель движения буровой колонны, применяемая в нефтегазовой промышленности, и определены величины параметров, которые при минимальных затратах обеспечивают быстрый и продуктивный результат, сохраняющий устойчивость движения колонны. В ходе проекта была рассмотрена модель, в которой нижняя часть буровой колонны в вертикальной скважине находится под влиянием двух нагрузок: осевой нагрузки силы и собственного веса колонны. Рассматриваемая модель многомерная, периодическая. Она включает в себя несколько параметров, влияющих на устойчивость колонны. Из-за сложности многомерной модели с помощью метода разделения переменных Бубнова-Галеркина модель была преобразована в систему обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка. Выводя решение математической модели методом частичной дискретизаций и выполняя вычисления в программном языке C++ и прикладном программном пакете Matlab, получались графические результаты. Было рассмотрено эффективное решение устойчивости буровой колонны путем изменения значений различных параметров, встречающихся в модели бурения.

Проведен анализ влияния параметров буровой колонны на амплитуду колебаний. Выявлено значительное влияние частоты вращения и длины колонны.

Ключевые слова: буровая колонна, устойчивость, метод частичной дискретизаций, нелинейная модель, метод Бубнова-Галеркина, рекуррентная формула.

MODELING THE STABILITY OF THE DRILLING COLUMN MOVEMENT

A.T. Talgatova

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

e-mail: aikerim.talgatova@mail.ru

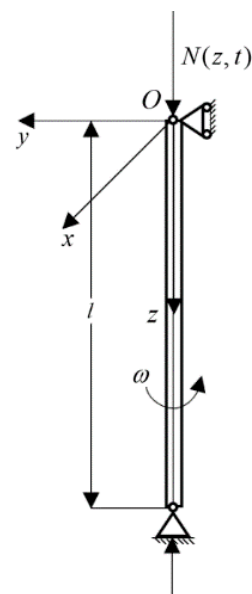
In this article, a mathematical model of the movement of a drill string used in the oil and gas industry is constructed and the values of parameters are determined that, at minimal cost, provide a fast and productive result that preserves the stability of the movement of the column. During the project, a model was considered in which the lower part of the drill string in a vertical well is influenced by two loads: the axial force load and the column's own weight. The model in question is multidimensional and periodic. It includes several parameters that affect the stability of the column. Due to the complexity of the multidimensional model, using the Bubnov-Galerkin variable separation method, the model was transformed into a system of second-order ordinary differential equations. By deducing the solution of the mathematical model using the partial discretization method and performing calculations in the C++ programming language and the Matlab application software package, graphical results were obtained. An effective solution to the stability of the drill string was considered by changing the values of various parameters found in the drilling model.

The analysis of the influence of the parameters of the drill string on the amplitude of vibrations is carried out. A significant influence of the rotation frequency and the length of the column was revealed.

Keywords: drilling column, stability, partial discretization method, nonlinear model, Bubnov-Galerkin method, recurrent formula.

Кіріспе. Қазіргі таңда мұнайдың қуат көзі ретінде беделі жоғары. Оның ішінде мұнай және газ қорына бай біздің республикамызға бұл шикізаттың орыны ерекше. Ел экономикасы үшін ірі табыс көзі болып табылатын мұнайды тиімді өндіру өз өзектілігін жоғалтпайтын мәселелердің бірі. Өнім көлемінің өсімі мұнай және газ ұңғымаларын бұрғылау процесінің сапалы болуына тікелей байланысты. Бұл тек қондырғылардың заманауи жабдықталғандығын ғана емес, сонымен қатар, ұңғымаларды бұрғылау кезіндегі туындауы мүмкін апаттардың алдын алуды да қамтиды.

Бұрғылау жұмыстарының техникалық-экономикалық көрсеткіштеріне бұрғылау машиналары мен құралдарын жетілдіру, олардың жүктеме және жұмыс режимдерін ұйымдастыру, бұрғылау құралдарының қозғалысына қоршаған ортаның әсері және т.б. факторлар әсер етеді. Бұрғылау тәжірибесінен бұрғыланған ұңғымалардың 1/3-іне дейіні олардың қисаюына немесе бұрғылау штангаларының сынуына байланысты жарамсызданатыны белгілі. Бұл техникалық, технологиялық және геологиялық факторларға байланысты бұрғылау штангаларының жұмысындағы күрделі тербелмелі процестер мен құбылыстарға байланысты болады. Ұңғымаларды бұрғылау режимдерінің орнықтылығы мен қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін бұл факторлардың бұрғылау бағанасының динамикасына әсерін мұқият зерттеу қажет [1-3].



1-сурет - Бұрғылау бағанасының есептік сұлбасы

Материалдар мен әдістер. Бұрғылау бағанасын $Oxyz$ декарттық координаталар жүйесінде ұзындығы l , айналу жылдамдығы ω , жоғары ұшына $N(z, t)$ жүктеме күші түсірілген, тұрақты айналу моменті әсер ететін, көлденең қимасы тұрақты және симметриялы болатын біртекті серпімді өзекше (1-сурет) ретінде қарастырамыз [4-6].

Бұрғылау бағанасының $U-Oxz$ жазықтықтарындағы қозғалыс компоненті бар көлденең ауытқуының математикалық моделі келесі түрде алынды:

$$\rho A \frac{\partial^2 U(z, t)}{\partial t^2} - \rho J \frac{\partial^4 U(z, t)}{\partial z^2 \partial t^2} + EJ \frac{\partial^4 U(z, t)}{\partial z^4} + \frac{\partial}{\partial z} [(N_0 + N_t \cos \omega t + \rho A g z_k l) \frac{\partial U(z, t)}{\partial z}] - \rho A v^2 U(z, t) = 0. \quad (1)$$

Осытік жүктеме күш $N(z, t)$ бағананың өз салмағы мен уақыт бойынша тұрақты N_0 және айнымалы N_t күш құраушыларынан тұратын уақыт бойынша периодты функция болып табылады:

$$N(z, t) = N_0 + N_t \cos \omega t + \rho A g z_k l \quad (2)$$

Бағананың көлденең қимасының ауданы:

$$A = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \quad (3)$$

Сақиналы қиманың инерция моменті:

$$J = \frac{\pi D^4}{64} \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right) \quad (4)$$

1-кесте - Бұрғылау кезінде қолданылатын қажетті параметрлер

	Параметр	Өлшем бірлігі
E	Юнг модулі	Па
ρ	Бұрғылау бағананың тығыздығы (темір)	кг/м ³
A	Бағанның көлденең қимасының ауданы	м ²
d	Бағананың ішкі диаметрі	м
D	Бағананың сыртқы диаметрі	м
J	Сақиналы қиманың инерция моменті	м ⁴
v	Бұрыштық айналу жиілігі	рад/с
ω	Сыртқы әсер жиілігі	рад/с
l	Бұрғылау бағанының ұзындығы	м
z_k	Бағана бөлігі	
N_t	Айнымалы осьтік жүктеме күш	Н
N_0	Тұрақты осьтік жүктеме күш	Н

Бағана ұштарының көлденең жылжулары мен айналуына шектеу қойылып, екі жағынан бекітілген. Бұл орын ауыстыру мен иілу моментінің нөлге теңдігін білдіреді және келесі шекаралық шарттар арқылы беріледі:

$$\begin{aligned} U(z, t)|_{z=0} &= 0 & U(z, t)|_{z=l} &= 0 \\ EJ \frac{\partial^2 U(z, t)}{\partial z^2} |_{z=0} &= 0 & EJ \frac{\partial^2 U(z, t)}{\partial z^2} |_{z=l} &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Көп өлшемді теңдеудің шешімін бір аргументке қатысты қарапайым дифференциалдық теңдеудің шешіміне дейін төмендету үшін Бубнов-Галеркин әдісін қолданамыз. Берілген шекаралық шарттарды қанағаттандыратын $g(z) = \sin \frac{\pi z}{l}$ функциясын таңдап аламыз [7]. Енді шешімді

$$U(z, t) = u(t) \sin \frac{\pi z}{l} \quad (6)$$

түрінде қарастырамыз. (6)-ны (1) теңдеуге қойсақ:

$$[\rho A \frac{\partial^2 u(t)}{\partial t^2} + \rho J \frac{\partial^2 u(t)}{\partial t^2} \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 + EJ \left(\frac{\pi}{l}\right)^4 u(t) - (N_0 + N_t \cos \omega t + \rho A g z_k l) u(t) \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 - \rho A v^2 u(t)] \sin \frac{\pi z}{l} = 0.$$

Келесі Бубнов-Галеркин әдісі бойынша $\sin \frac{\pi z}{l}$ базистік функцияға көбейтіп, интеграл аламыз:

$$\int_0^l [\rho A \frac{\partial^2 u(t)}{\partial t^2} + \rho J \frac{\partial^2 u(t)}{\partial t^2} \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 + EJ \left(\frac{\pi}{l}\right)^4 u(t) - (N_0 + N_t \cos \omega t + \rho A g z_k l) u(t) \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 - \rho A v^2 u(t)] \sin^2 \frac{\pi z}{l} dz = 0.$$

$$\frac{1}{2} (\rho A \frac{\partial^2 u(t)}{\partial t^2} + \rho J \frac{\partial^2 u(t)}{\partial t^2} \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 + EJ \left(\frac{\pi}{l}\right)^4 u(t) - (N_0 + N_t \cos \omega t + \rho A g z_k l) u(t) \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 - \rho A v^2 u(t)) = 0$$

Нәтижесінде бір аргументке қатысты қарапайым дифференциалдық теңдеу шығады:

$$(\rho A + \rho J \frac{\pi^2}{l^2}) u''(t) + (EJ \frac{\pi^4}{l^4} - \rho A g \frac{\pi^2}{l} z_k - \rho A v^2 - \frac{\pi^2}{l^2} N_0) u(t) - \frac{\pi^2}{l^2} N_t u(t) \cos(\omega t) = 0. \quad (7)$$

Уақыттың абсолютті мәнінен оның салыстырмалы мәніне көшу үшін $\tau = t\omega_0$ теңдігін пайдаланып, моделімізді өлшемсіз түрге келтіреміз:

$$u_1''(\tau) + \frac{EJ \frac{\pi^4}{l^4} - \rho A g \frac{\pi^2}{l} z_k - \rho A v^2 - \frac{\pi^2}{l^2} N_0}{(\rho A + \rho J \frac{\pi^2}{l^2}) \omega_0^2} u_1(\tau) - \frac{(\frac{\pi^2}{l^2} N_t u)}{(\rho A + \rho J \frac{\pi^2}{l^2}) \omega_0^2} u_1(\tau) \cos(\Omega \tau) = 0. \quad (8)$$

Мұнда

$$\Omega = \frac{\omega}{\omega_0}, \quad u_1''(\tau) + \frac{b}{a \omega_0^2} u_1(\tau) + \frac{c}{a \omega_0^2} u_1(\tau) \cos \Omega \tau = 0 \quad (10)$$

ω_0 -өзіндік айналу жиілігі,

(10) үшін ауытқу теңдеуі:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{b}{a}} \quad (9) \quad \frac{d^2 f(\tau)}{d\tau^2} + (B + C \cos \Omega \tau) f(\tau) = 0 \quad (11)$$

Мұнда

$$a = \rho A + \rho J \frac{\pi^2}{l^2}, \quad B = \frac{b}{a \omega_0^2}, \quad C = \frac{c}{a \omega_0^2}. \quad (12)$$

$$b = EJ \frac{\pi^4}{l^4} - \rho A g \frac{\pi^2}{l} z_k - \rho A v^2 - \frac{\pi^2}{l^2} N_0,$$

$$c = -\frac{\pi^2}{l^2} N_t$$

(11) теңдеуді шешу үшін А.Н. Тюреходжаевтың дифференциалдық теңдеулерді ішінара іріктеу әдісін қолданамыз [8].

белгілеулері арқылы ықшамдалған теңдеуге көшеміз:

Теңдеудің екінші мүшесін жинақталған функциялар класында дискреттеу арқылы аламыз:

$$\ddot{f}(\tau) + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n (\tau_k + \tau_{k+1}) [(B + C \cos \Omega \tau_k) f(\tau_k) \delta(\tau - \tau_k) - (B + C \cos \Omega \tau_{k+1}) f(\tau_{k+1}) \delta(\tau - \tau_{k+1})] = 0. \quad (13)$$

$f(\tau_k) - f(\tau)$ функциясының τ_k нүктесіндегі мәні, $k = 1, n$, $\delta(\tau - \tau_k)$ - Дирак функциясы.

Дирак функциясы жинақталған функциялардың түріне жатады және нүктелік әсерді, сондай-ақ, бір нүктеде шоғырланған немесе қолданылатын физикалық шамалардың кеңістіктік тығыздығын жазуға мүмкіндік береді. Ол мына түрде беріледі:

$$\delta(\tau) = \begin{cases} r \neq 0 \rightarrow 0 \\ r = 0 \rightarrow +\infty \end{cases} \quad (14)$$

Ол $\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(\tau) d\tau = 1$ нормалау шартының сақта-

луын қажет етеді. Дәл осылай ығысқан Дирак функциясы беріледі:

$$\delta(\tau - \tau_k) = \begin{cases} \tau \neq \tau_k \rightarrow 0 \\ \tau = \tau_k \rightarrow +\infty \end{cases} \quad (15)$$

Бұл жағдайда нормалау шарты[9]:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(\tau - \tau_k) d\tau = 1 \quad (16)$$

(13) теңдеуді екі рет интегралдап, $f(\tau)$ -ды анықтаймыз:

$$\dot{f}(\tau) = -\frac{1}{2} \sum_{k=1}^n (\tau_k + \tau_{k+1}) [(B + C \cos \Omega \tau_k) f(\tau_k) H(\tau - \tau_k) - (B + C \cos \Omega \tau_{k+1}) f(\tau_{k+1}) H(\tau - \tau_{k+1})] + C_1 \quad (17)$$

$$f(\tau) = -\frac{1}{2} \sum_{k=1}^n (\tau_k + \tau_{k+1}) [(B + C \cos \Omega \tau_k) f(\tau_k) (\tau - \tau_k) H(\tau - \tau_k) - (B + C \cos \Omega \tau_{k+1}) f(\tau_{k+1}) (\tau - \tau_{k+1}) H(\tau - \tau_{k+1})] + C_1 \tau + C_2 \quad (18)$$

Бұл жерде $H(\tau - \tau_k)$ - Хэвисайд бірлік функциясы.

Бұл функция, Дирак функциясы сияқты, аргументтің теріс мәндерінде нөлге тең және оң мәндерде бірлікке тең болатын тұрақты функция болып табылады. Хэвисайд функциясының жазылуы:

$$H(\tau) = \begin{cases} \tau < 0 \rightarrow 0 \\ \tau > 0 \rightarrow 1 \end{cases} \quad (19)$$

$\tau = 0$ нүктесінде функция анықталмаған, бірақ ол, әдетте, ыңғайлы болу үшін белгілі бір санмен

анықталады. Симметрияны ескере отырып, үзіліс нүктесінде сол және оң жақ шектердің арифметикалық ортасын қолдану орынды, яғни $\tau = 0$ нүктесінде функция $\frac{1}{2}$ -ге тең болады. Ығысқан Хэвисайд бірлік функциясы:

$$H(\tau - \tau_k) = \begin{cases} \tau < \tau_k \rightarrow 0 \\ \tau > \tau_k \rightarrow 1 \end{cases} \quad (20)$$

Дирак және Хэвисайд функциялары арасындағы байланыс[9]:

$$H'(\tau) = \delta(\tau), H'(\tau - \tau_k) = \delta(\tau - \tau_k) \quad \text{немесе} \quad \int \delta(\tau - \tau_k) = H(\tau - \tau_k). \quad (21)$$

Есептің бастапқы шарттарын

$$\tau = 0 : \quad f = f_0, \dot{f} = \dot{f}_0. \quad (22)$$

пайдалансақ, (17)-(18) теңдеулердің шешімі мына түрде болады:

$$f(\tau) = - \sum_{k=1}^n (\tau_k + \tau_{k+1}) [(B + C \cos \Omega \tau_k) f(\tau_k) (\tau - \tau_k) H(\tau - \tau_k) - (B + C \cos \Omega \tau_{k+1}) f(\tau_{k+1}) (\tau - \tau_{k+1}) H(\tau - \tau_{k+1})] + f_0 \tau_k + f_0 \quad (23)$$

Шешім қисығындағы бірнеше алғашқы нүктелер үшін функцияның өрнектерін жазайық. (23) теңдеуден $\tau = \tau_1$ үшін:

$$f(\tau_1) = -(\tau_1 + \tau_2) [(B + C \cos \Omega \tau_1) f(\tau_1) (\tau_1 - \tau_1) H(\tau_1 - \tau_1) - (B + C \cos \Omega \tau_2) f(\tau_2) (\tau_1 - \tau_2) H(\tau_1 - \tau_2)] + f_0 \tau_1 + f_0 \quad (24)$$

Мұнда біз ауыстыру қолданамыз:

$$\tau_i = \frac{\tau_i + \tau_{i+1}}{2}. \quad (25)$$

$$(\tau_1 - \tau_1) = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2} - \tau_1 = \frac{\tau_1 + \tau_2 - 2\tau_1}{2} = \frac{\tau_2 - \tau_1}{2}$$

$$f(\tau_1) = -(\tau_1 + \tau_2) [(B + C \cos \Omega \tau_1) f(\tau_1) (\frac{\tau_2 - \tau_1}{2}) H(\frac{\tau_2 - \tau_1}{2})] - (B + C \cos \Omega \tau_2) f(\tau_2) (\tau_1 - \tau_2) H(\tau_1 - \tau_2)] + \dot{f}_0 \tau_1 + f_0 \quad (26)$$

(25) ауыстыруды пайдаланып, ықшамдаймыз:

$$f(\tau_1) = -\frac{1}{2} (\tau_1 + \tau_2) (B + C \cos \Omega \tau_1) f(\tau_1) (\tau_2 - \tau_1) + \dot{f}_0 \tau_1 + f_0 \quad (27)$$

$f(\tau_1)$ -ді теңдеудің сол бөлігіне жинап, мәнін табамыз:

$$f(\tau_1) = \frac{\dot{f}_0 \tau_1 + f_0}{1 + \frac{1}{2} (\tau_2^2 \cdot \tau_1^2) (B + C \cos \Omega \tau_1)} \quad (28)$$

$f(\tau_2)$ және $f(\tau_3)$ үшін осы әрекеттерді қайталаймыз.

$$f(\tau_2) = \frac{-(\tau_1 + \tau_2) (B + C \cos \Omega \tau_1) f(\tau_1) (\tau_2 - \tau_1) + \dot{f}_0 \tau_2 + f_0}{1 + \frac{1}{2} (\tau_3 - \tau_1) (\tau_3 - \tau_2) (B + C \cos \Omega \tau_2)} \quad (29)$$

$f(\tau_3)$:

$$f(\tau_3) = \frac{-(\tau_1 + \tau_2) (A + K \cos \Omega \tau_1) f(\tau_1) (\tau_3 - \tau_1) + (\tau_3 - \tau_1) (B + C \cos \Omega \tau_2) f(\tau_2) (\tau_3 - \tau_2) + \dot{f}_0 \tau_3 + f_0}{1 + \frac{1}{2} (\tau_4 - \tau_2) (\tau_4 - \tau_3) (B + C \cos \Omega \tau_3)} \quad (30)$$

Алғашқы 3 нүктенің өрнегін тапқан соң, математикалық индукция әдісін пайдаланып $f(\tau)$ үшін τ_k уақыт үшін рекуренттік формуланы анықтаймыз [10]:

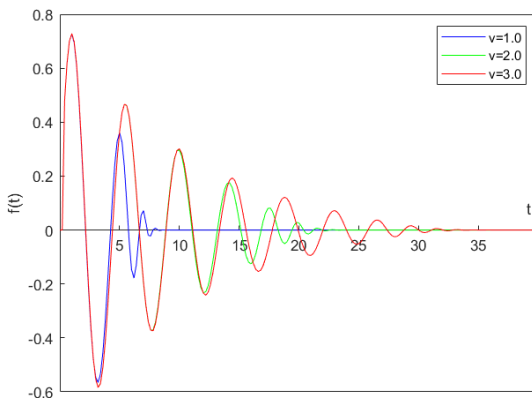
$$f(\tau_k) = \frac{-(\tau_1 + \tau_2)(B + C \cos \Omega \tau_1) f(\tau_1) \left(\frac{\tau_k + \tau_{k+1}}{2} - \tau_1\right) -}{1 + \frac{1}{2}(\tau_4 - \tau_2)(\tau_4 - \tau_3)(B + C \cos \Omega \tau_3)} \quad (31)$$

$$- \sum_{i=2}^{k-1} (\tau_{i+1} - \tau_{i-1})(B + C \cos \Omega \tau_i) f(\tau_i) \left(\frac{\tau_k + \tau_{k+1}}{2} - \tau_i\right) + \dot{f}_0 \frac{\tau_k + \tau_{k+1}}{2} + f_0$$

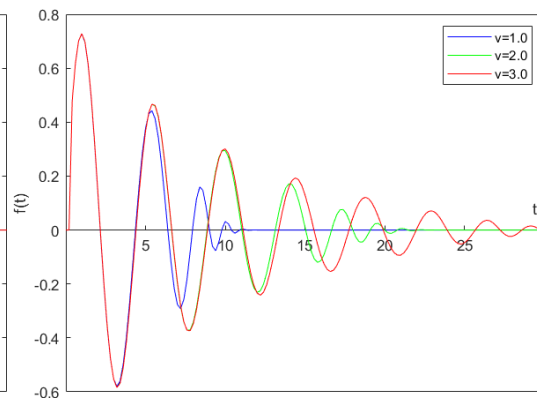
Нәтижелер мен талқылау. Алынған рекуренттік формула нәтижесі бізге бағананың көлденең орын ауытқуын көрсететін тербеліс графиктерін береді. Яғни, тербеліс амплитудасының кіші болуы және тербелістің тез өшуі бағана қозғалысының тұрақтылық жағдайын көрсетеді, ал қарама-қарсы жағдай қозғалыстың тұрақсыздығына, оның салда-

рынан бағана жұмысының бұзылуына әкеледі. 1-кестедегі бірнеше параметрлердің бағана қозғалысының тұрақтылығына әсері зерттелді.

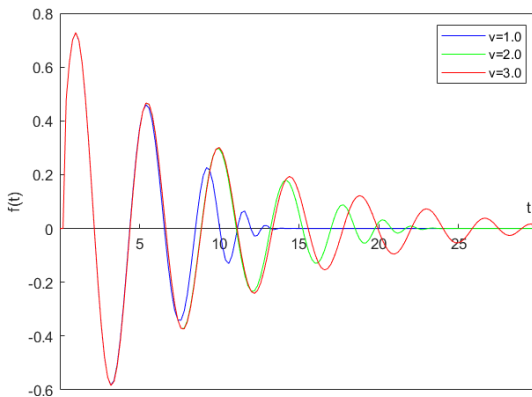
Модельде келтірілген параметрлер темір бағананың тығыздығы $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$, бағананың көлденең қимасының ауданы $A = 2 \times 10^{-2} \text{ м}^2$, инерция моменті $J = 6.8 \times 10^5 \text{ м}^4$ Юнг модулі $E = 2.1 \times 10^{11} \text{ Па}$



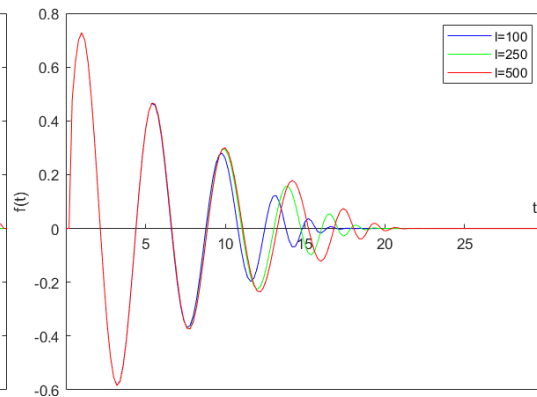
2-сурет - $z_k = 0.5, l = 100\text{м}, D = 0.2\text{м}$ кезінде айналу жиілігінің (v) тұрақтылыққа әсері



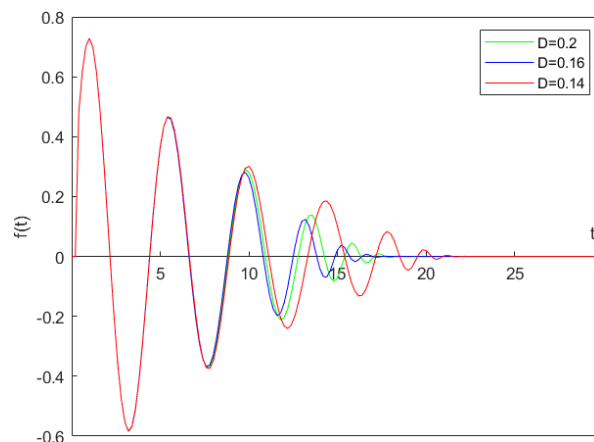
3-сурет - $z_k = 0.25, l = 100\text{м}, D = 0.2\text{м}$ кезінде айналу жиілігінің (v) тұрақтылыққа әсері



4-сурет - $z_k = 0.8, l = 100\text{м}, D = 0.2\text{м}$ кезінде айналу жиілігінің (v) тұрақтылыққа әсері



5-сурет - $z_k = 0.5, \omega = 1.5 \text{ рад/с}, D = 0.2\text{м}$ кезінде әртүрлі бағана ұзындығының (l) тұрақтылыққа әсері



6-сурет - $z_k = 0.5$, $\omega = 1.5$ рад/с, $l = 150$ м кезінде бағананың сыртқы диаметрінің D тұрақтылыққа әсері

Алынған нәтижелерді салыстырып, берілген модель тұрақтылығы бойынша қорытындыға келеміз: 1) айналу жиілігі ν кеміген сайын тұрақтылық артады, яғни ауытқу мөлшері кемиді (2-4-суреттерде көрсетілгендей); 2) l бағана ұзындығының үлкен шамасы амплитуданың өсуіне әкеледі (5-суретте көрсетілгендей); 3) бұрғылау бағанасының D сыртқы диаметрін 0.2 м-ден 0.16 м-ге дейін төмендеуі, яғни бағана қабырғаларының жұқаруы тербеліс амплитудасының шамалы өсуіне әкеледі. Нәтижесінде құрылғыға арналған материалды үнемдеуге мүмкіндік туады. Ал 0.14 м-ге жұқаруы тербелістің үлкен ауытқуларына әкеледі (6-суретте көрсетілгендей).

Қорытынды. Мақалада тік ұңғымадағы бұрғылау бағанасының төменгі жағы екі жүктеменің: осьтік жүктеме күш және бағананың өзіндік салмағы әсерінде болатын жағдайының моделі қарастырылды.

Қарастырылып отырған модель көпөлшемді, периодты бағана тұрақтылығына әсер ететін бірнеше параметрлерді қамтиды. Бубнов-Галеркиннің айналымын бөлу әдісі арқылы модель екінші ретті қарапайым дифференциалдық теңдеулер жүйесіне келтірілді. Анықталған модель үшін ауытқу теңдеуі табылып, сандық нәтиже А.Н. Тюреходжаевтың ішінара іріктеу әдісі арқылы рекурренттік формула алынып, C++ қолданбалы бағдарламалау жүйесінде және Matlab қолданбалы бағдарламалық пакетінде есептелінді.

Бұрғылау бағананың параметрлерінің тербеліс амплитудасына әсеріне талдау жүргізілді. Айналу жиілігі мен бағана ұзындығының айтарлықтай әсері анықталды.

Зерттеу нәтижелері параметрлердің әртүрлі мәндеріндегі графиктер түрінде көрсетіліп, салыстырулар арқылы ұсынылды.

Әдебиеттер

1. Вудс Г., Лубинский А. Искривление скважин при бурении. - М.: Гостоптехиздат.-1960. -161 с.
2. Симонов В.В., Юнин Е.К. Влияние колебательных процессов на работу бурильного инструмента. - М.: Недра.-1977. -217 с.
3. Юртаев В.Г. Динамика буровых установок. - М.: Наука.- 1987. -156 с.
4. Хаджиева Л.А., Умбеткулова А.Б., Сергалиев А.С. Колебания буровых штанг при больших деформациях // Тез. Межд. конференции «Машины, технологии и материалы для современного машиностроения», посвящ. 75-летию ИМАШ РАН А.А.Благодарова. – Москва.- 2013. - С. 116.
5. Кудайбергенов Аскар К. Нелинейные поперечные колебания буровой колонны // Процессы в геосредах. - 2016. - № 4 (8). - С. 52-57.
6. Умбеткулова А.Б., Хаджиева Л.А., Малинников В.В. Об анализе нелинейных колебаний буровых штанг с конечными деформациями // Известия НАН РК. - 2012. - № 1. - С.10-14.
7. Ильин В.П., Карпов В.В., Масленников А.М. Численные методы решения задач строительной механики. Справочное пособие. - Минск: Вышэйшая школа.- 1990. - 349 с.

-
8. Ляпунов А.М. Соб.соч.- 1956.- Т. 2. М.б.- - С. 407-409.
 9. Шакиров А.Ш. Использование функций Хевисайда и Дирака при исследовании скачкообразных процессов //XXIV Туполевские чтения (школа молодых ученых). - 2019. - С. 295-300.
 10. Тюреходжаев А.Н., Лукпанова Л.Х. Решение задачи динамической устойчивости упругого стержня методом частичной дискретизации дифференциальных уравнений // Межд. конф. Актуальные проблемы механики машиностроения. Алматы.- 2005. Т. 2. - С. 68-70.

References

1. Vuds G., Lubinskij A. Iskrivlenie skvazhin pri burenii. - M.: Gostoptehizdat, 1960. -161 s.
2. Simonov V.V., Junin E.K. Vlijanie kolebatel'nyh processov na rabotu buril'nogo instrumenta. - M.: Nedraю- 1977. -217 s.
3. Jurtaev V.G. Dinamika burovyyh ustanovok. - M.: Nauka.- 1987. -156 s.
4. Hadzhieva L.A., Umbetkulova A.B., Sergaliev A.S. Kolebaniya burovyyh shtang pri bol'shih deformacijah // Tez. Mezhd. konferencii «Mashiny, tehnologii i materialy dlja sovremennogo mashinostroeniya», posvjashh. 75-letiju IMASh RAN A.A.Blagonravova. – Moskva.- 2013. - S. 116.
5. Kudajbergenov Askar K. Nelinejnye poperechnye kolebaniya burovoy kolonny // Processy v geosredah. - 2016. - № 4 (8). - С. 52-57.
6. Umbetkulova A.B., Hadzhieva L.A., Malinnikov V.V. Ob analize nelinejnyh kolebanij burovyyh shtang s konechnymi deformacijami // Izvestija NAN RK. - 2012. - № 1. - S.10-14.
7. Il'in V.P., Karpov V.V., Maslennikov A.M. Chislennyye metody reshenija zadach stroitel'noj mehaniki. Spravochnoe posobie. - Minsk: Vyshhejschaja shkola.- 1990. - 349 c.
8. Ljapunov A.M. Sob.soch.- 1956.- Т. 2. М.б.- - С. 407-409.
9. Shakirov A.Sh. Ispol'zovanie funkcij Hevisajda i Diraka pri issledovanii skachkoobraznyh processov //XXIV Tupolevskie chteniya (shkola molodyh uchenyh). - 2019. - S. 295-300.
10. Tjurehodzhaev A.N., Lukpanova L.H. Reshenie zadachi dinamicheskoy ustojchivosti uprugogo stержnja metodom chastichnoj diskretizacii differencial'nyh uravnenij // Mezhd. конф. Aktual'nye problemy mehanikii mashinostroeniya. Almaty.- 2005. Т. 2. - С. 68-70.

Автор туралы мәліметтер

Талғатова А.Т. - әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің магистранты, Алматы, Қазақстан, e-mail: aikerim.talgatova@mail.ru

Information about the author

A.T.Talgatova - graduate student of Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: aikerim.talgatova@mail.ru