

РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ ПАКЕТУ ПРУЖНИХ ОБОЛОНОК ПРИСТРОЮ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ТРАЄКТОРІЄЮ СВЕРДЛОВИН

М. П. Олексюк, Р. В. Рачкевич*, І. І. Яциняк, І. О. Рачкевич, В. М. Івасів

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15,
e-mail: ruslanvr79@gmail.com*

Виконано огляд існуючих конструкцій пристроїв для керування траєкторією похило-скерованих і горизонтальних свердловин без підйому бурового інструменту. Описано як вітчизняні, так і закордонні зразки. На основі проведеного критичного аналізу виділено найбільш перспективні конструкції та вказано на один із їх основних недоліків: обмеження діапазону зміни кута викривлення відхилювача внаслідок ряду конструктивних особливостей. Враховуючи це, запропоновано вдосконалений пристрій для керування траєкторією похило-скерованих і горизонтальних свердловин. В основі конструкції лежить модернізований вузол викривлення осі відхилювача. Суть нововведення полягає у використанні пакету пружних оболонок, які під дією зусилля стиску певної критичної величини втрачають стійкість, зазнаючи незначної поздовжньої деформації. Це, в свою чергу, призводить до розблокування взаємного переміщення певних елементів пристрою та перегину його осі на заданий кут. Відтак вдалося досягнути того, що кут викривлення осі відхилювача не залежить від абсолютної поздовжньої деформації пакету пружних оболонок і, таким чином, не обмежується останньою. При відриві бурильної колони від вибою, вісь пристрою повертається до прямолінійної форми. Таким чином, використовуючи стискання та розвантаження відхилювача, можна керувати траєкторією осі свердловини без підйому бурильного інструменту на поверхню. Для задання необхідної величини осевої сили стиску, яка переводить пристрій у режим викривлення, використовується пакет пружних оболонок, який може складатися зі змінної кількості шарів. Проаналізовано стійкість даного пакету з використанням 3D-моделювання та методу скінченних елементів. Визначено величину критичної сили залежно від кількості шарів у пакеті. Зазначено, що отримана залежність має яскраво виражений прямолінійний характер. Це дає можливість шляхом підбору кількості шарів навивання у пакеті пружних оболонок керувати величиною осевої сили стиску, яка спричиняє перегин осі відхилювача, враховуючи необхідну величину осевого навантаження на долото.

Ключові слова: керований відхилювач; пакет пружних оболонок; поздовжня стійкість.

Выполнен обзор существующих конструкций устройств для управления траекторией наклонно-направленных и горизонтальных скважин без подъема бурового инструмента. Рассмотрены как отечественные, так и зарубежные образцы. На основе проведенного критического анализа выделены наиболее перспективные конструкции и указан один из их основных недостатков: ограничение диапазона изменения угла искривления отклонителя в результате ряда конструктивных особенностей. С его учетом предложено усовершенствованное устройство для управления траекторией наклонно-направленных и горизонтальных скважин. В основе конструкции лежит модернизированный узел искривления оси отклонителя. Суть нововведения заключается в использовании пакета упругих оболочек, которые под действием усилия сжатия определенной критической величины теряют устойчивость, незначительно деформируясь в продольном направлении. Это, в свою очередь, приводит к разблокировке взаимного перемещения определенных элементов устройства и перегиба его оси на заданный угол. Удалось достичь того, что угол искривления оси отклонителя не зависит от абсолютной продольной деформации пакета упругих оболочек и, таким образом, не ограничивается последней. При отрыве бурильной колонны от забоя, ось устройства возвращается к прямолинейной форме. Таким образом, используя сжатие и разгрузку отклонителя, можно управлять траекторией оси скважины без подъема бурильного инструмента на поверхность. Для задания требуемой величины осевой силы сжатия, которая переводит устройство в режим искривления, используется пакет упругих оболочек, который может состоять из переменного количества слоев. Проанализирована устойчивость данного пакета с использованием 3D-моделирования и метода конечных элементов. Определена величина критической силы в зависимости от количества слоев в пакете. Отмечено, что полученная зависимость носит ярко выраженный прямолинейный характер. Это дает возможность путем подбора количества слоев навивки в пакете упругих оболочек управлять величиной осевой силы сжатия, которая вызывает перегиб оси отклонителя, учитывая необходимую величину осевой нагрузки на долото.

Ключевые слова: управляемый отклонитель; пакет упругих оболочек; продольная устойчивость.

Overview of equipment for management of a trajectory of directional and horizontal wells during drill process was done in the article. Both domestic and foreign equipment are described. Based on the critical analyses, most promising designs were chosen and were described their base disadvantage: restriction of range of changing of curvature angle of deflecting tool through some design features. Based on mentioned above, modern device for management of directional and horizontal wells trajectory was suggested. Advanced unit for curvature of deflecting tool's axle is fundamentals of construction. Using of the elastic shells packet that loses stability by critical axial load and gets small longitudinal deformation is the main innovation. Further, it is a reason of unlocking the mutual movement of specific elements of the device and buckling of its axis on preset angle. That's why angle of deflecting tool curvature does not depend of absolute longitudinal deformation of the elastic shells packet and, as result, is not restricted by them. Deflecting tool's axis gets the rectilinear shape after a drill string is torn off from a downhole. So, there is possible to manage a well axis during drilling process using stretching and compression of the deflecting tool. The elastic shells packet that consists of variable quantity of shells is used for setting necessary compression force that switches device in regime of curvature. Stability of the packet was analyzed by 3D-modeling and finite element method. The magnitude of critical force is determined depending on the number of shells in the packet. Was mentioned, this dependence is rectilinear. There is a possibility, by selecting the number of shells in the elastic shells packet, to manage magnitude of axial compression force that causes bend of the deflecting tool's axis considering needed bit load.

Key words: controlled deflector; elastic shells packet; longitudinal stability.

Вступ

На даний час зберігається чітка тенденція до збільшення обсягів похило скерованого та горизонтального буріння. Відтак, підприємства нафтогазової галузі потребують простих і в той же час ефективних рішень для викривлення або підтримання осі свердловини в заданому напрямку.

Дана проблема вирішується за допомогою пристроїв, які називаються відхилювачами. Останні включаються до компонування бурильної колони для забезпечення необхідного кута її викривлення. При цьому частина пристроїв потребує проведення спуско-піднімальних операцій для їх налаштування, інша – здатна змінювати кут перекосу безпосередньо під час процесу буріння. Останні вважаються більш перспективними.

Відтак, мета даної статті полягає в розробленні, дослідженні та обґрунтуванні парламентів 3D-моделі елемента вузла викривлення нової конструкції керованого відхилювача, який змінює своє положення в залежності від осьового навантаження на долото.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій

В роботі [1] зазначено про створення ряду відхиляючих і стабілізуючих пристроїв для буріння похило скерованих свердловин. Серед таких відхилювач – турбінний «ОТС», що дозволяє набирати зенітний кут або змінювати азимут стовбура при відсутності відхиляючого зусилля на долото. Зазначений пристрій використовується з наддолотним калібратором і може здійснювати набір зенітного кута стовбура в заданому напрямку із швидкістю, що не відрізняється від механічної швидкості буріння вертикальних свердловин з використанням тур-

бобура звичайної довжини. При цьому інтенсивність набору зенітного кута в заданому азимуті коливається в межах від 0 до 3° на 10 м.

В публікації [2] вказано про розроблення шпинделя-відхилювача «ШО1-195» для буріння в інтервалах зміни зенітного кута й азимута стовбура свердловини, а також для зарізання нових стовбурів у аварійних випадках. Вказаний пристрій встановлюють з серійним секційним турбобуром замість звичайного шпинделя безпосередньо на буровій. «ШО1-195» складається із двох частин, з'єднаних по корпусу викривленого перевідника (кут викривлення перевідника – 1°-1,5°), а по валу – подвійним шарніром, в якості яких використовують шпиндель муфти, що працює за принципом хрестовини. Шарнір розвантажений від передачі осьових зусиль шляхом встановлення з обох його кінців упорно-радіальних багаторядних кулькових підшипників. Використання подвійного шарніру дозволило виключити вплив на його довговічність розміщення відносно площини викривлення корпусу та умов запуску відхилювача. Випробування показали, що напрацювання до відмови шпинделя-відхилювача «ШО1» визначається стійкістю багаторядних кулькових підшипників, встановлених в його нижній частині. Дана стійкість суттєво залежить від частоти обертання вала турбобура.

До пристроїв, що дозволяють орієнтувати стовбур свердловини і створювати необхідний зенітний кут, а також керувати траєкторією в процесі буріння, відноситься й описаний у роботі [3]. Він складається із роз'ємного корпусу, виконаного у вигляді чотирьох секцій, з'єднаних шарніром, що має профільний циліндричний отвір, над яким знаходиться впадина. Отвір телескопічно зв'язано з підпружиненим поршнем, на внутрішній поверхні якого знахо-

диться виступ. В першій секції корпусу встановлені замковий і направляючий фіксатори так, щоб вони могли взаємодіяти з поршнем. Секції та корпус зв'язані між собою кулачковим з'єднанням, при чому кутове переміщення шарніру задається кутом скошу торця першої секції. В середині роз'ємного корпусу розміщений ведучий та ведений вали, з'єднанні шарніром. Ведучий вал через проміжний вал за допомогою конусно-шліцевого з'єднання зв'язаний з валом вибійного двигуна, а перша секція корпусу пристрою має перевідник для з'єднання з нижньою секцією вибійного двигуна. Ведений вал шпинделя зв'язаний з долотом. Для створення гідравлічного навантаження з метою переміщення поршня використовується дросельна шайба.

Також у роботі [4] описується розроблений відхилювач, дія якого базується на включенні в нього відхиляючого елемента з ексцентричним виступом. Пристрій складається з корпусу, виконаного у вигляді двох з'єднаних між собою порожнинних перевідників. Під відхиляючим елементом розміщений фіксатор, який складається із кільцевої обойми, з'єднаної з нижнім перевідником, що має наскрізний осьовий отвір. Відхилювач приводиться в робочий стан під дією напору промивальної рідини після ввімкнення бурових насосів.

Пристрій для реалізації викривлення осі свердловини при похило-скерованому бурінні подано в праці [5]. Для встановлення даного відхилювача в робоче положення на валу змонтовано запірна гайку, а втулка та перевідник зв'язані між собою шліцевим з'єднанням.

У роботі [6] зазначено про відхилювач, який включає в себе викривлений за допомогою кривого перевідника корпусу турбобура й зв'язаний із валом турбобура за допомогою шарніру породоруйнівний інструмент – долото [6]. Шарнір складається із верхньої підмуфти, що має різьбу для з'єднання з валом турбобура, і нижньої сферичної підмуфти, зв'язаної з долотом.

Спеціальний пристрій для спрямованого буріння багатовибійних і горизонтальних свердловин, а також забурювання нового стовбура в працюючих свердловинах розроблений у Долинському УБР ВАТ Укрнафта разом із Українським відділом ВНІБТ [7]. Він складається з клина спускного вузла та вузла опори. Клиן має направляючий жолоб круглого перерізу й осьовий канал. Діаметр жолобу відповідає діаметру фрезерного долота, що використовується для зарізання похило скерованого стовбура, і не менше ніж на 20 мм більший від діаметра про-

хідного (осьового) каналу. Спускний вузол містить з'єднувальний з бурильною колоною перевідник із лівою різьбою та спряжену з ним втулку, виготовлену з легкорозбурюваного матеріалу. На внутрішній поверхні втулки знаходиться трапецевидна циліндрична лівостороння різьба з упором по внутрішньому торцю. Призначення останньої полягає в зменшенні необхідного зусилля при відкручуванні бурильних труб. На нижньому кінці втулки знаходяться стопорні виступи, які фіксують втулку в момент відкручування колони труб і при наступному її розбурюванні. Вузол опори включає перевідник, що також має стопорні виступи. Останні знаходяться в зачепленні з відповідними виступами втулки. Також у конструкцію входить хвостовик, який служить опорою для відхилювача. Перед опусканням згаданого вище пристрою в свердловину на один із його елементів (клин, перевідник або хвостовик) наноситься магнітна мітка (смуга довжиною 2-3 м), по якій після установки і орієнтації відхилювача визначають його фактичний напрям.

Існує конструкція пристрою для похило-скерованого буріння шляхом створення на долоті поперечної сили в заданому напрямку [8]. Це досягається за рахунок скосів у верхній частині лап долота в напрямку його обертання та нахилених канавок в нижній його частині, які розміщені проти напрямку обертання долота. Відхилювач складається з корпусу, долота з промивальними каналами, розміщеними в корпусі, ексцентричного вантажу та золотникової втулки з спільною віссю, встановленої в підшипник. Останній разом із ексцентричним вантажем знаходяться в наповненій маслом камері з верхньою та нижньою кришками та установочним і ущільнюючими кільцями. Золотникова втулка фіксується на осі контргайкою. Відхилює зусилля на долоті створюється в процесі буріння завдяки різниці в очищенні вибою, оскільки поперечна сила буде спрямована в бік меншого скупчення вибуреної породи.

Івано-Франківським національним технічним університетом нафти і газу та ВНІБТ розроблено пристрій для похило-скерованого буріння, за допомогою якого відхиляюче зусилля на долоті створюється завдяки регулюванню подачі робочої рідини в гідрокамеру [9].

Для роторного способу буріння за кордоном розроблений відхилювач «Drilco bit boss» [10], який може бути використаний при бурінні в твердих і стійких породах. Даний пристрій складається з стабілізатора, встановленого на віддалі 9 – 14 м від долота, розміщеного між ними вала та встановленої на ньому втулки, що

має можливість повертатись і переміщатись в осьовому напрямку. З однієї сторони втулки розміщені анкерні башмаки, які під дією тиску промивальної рідини можуть висуватись. В робочому положенні відхилювача башмаки притискають втулку до стінки свердловини. Використовуючи стабілізатор як точку опори, анкерні башмаки створюють на втулку бокове зусилля, яке передається на вал і долото. При бурінні втулка залишається нерухомою, а вал і долото переміщуються на довжину ходу валу. Після опускання відхилювача в свердловину, до середини колони бурильних труб поміщається інклінометр, зафіксований відносно корпусу блоком датчиків зенітного кута і азимута стовбура свердловини. Останній, за рахунок спеціальної виточки всередині бурильної труби, орієнтовано встановлюється над відхилювачем. Далі всередину бурильних труб подається промивальна рідина. При цьому анкерні башмаки висовуються та фіксують відхилювач відносно стінок свердловини.

Одною з конструкцій пристроїв для керування траєкторією свердловини, яка знайшла широке використання закордоном, є гідравлічний керований перехідник, який отримав назву «Дайно-Флекс» [11]. В даному відхилювачі використано шарнірне з'єднання, що приводиться в дію за допомогою поршнів. Останні переміщуються під впливом тиску потоку промивальної рідини. Кут викривлення перехідника в свердловині може змінюватись від 0 до 2° за допомогою спеціальних затворів, які вкидаються в бурильні труби. Під дією промивальної рідини затвор сідає в гніздо відхилювача. У верхній частині затвору передбачена шийка захвата, який здійснюється в випадку, коли необхідно змінити кут викривлення. При куті викривлення перехідника 1,5°, інтенсивність набору кривизни на глибині 677 м складала 0,3...2,3° на 30,5м.

Оригінальним конструктивним рішенням відрізняється відхилювач, розроблений французьким інститутом нафти і фірмою «CMFI» [10, 12] і названий «Telepilot». Пристрій складається з двох секцій, з'єднаних замковим підшипником, вісь якого нахилена до осі верхньої секції під кутом α . В секції розміщені вузли привода та управління. Привод механізму складається з гідроциліндра, в якому встановлений підпружинений поршень з профільною канавкою. При повороті однієї секції відносно іншої на 180° кут перекосу між ними складає 2α . Зап'яний механізм забезпечує дискретну зміну кута викривлення в межах від 0 до 3°. Вузли керування пристроєм «Telepilot» можуть бути

механічними або електричними. Якщо вузол керування механічний, в бурильну колону вкидають кулі, які на певний час перекривають отвори в підпружиненому поршні та при підході до нижнього упору випадають у куленакопичувач.

Викликає зацікавлення винахід, описаний у роботах [13, 14]. Відхилювач [13] складається з верхньої й нижньої трубчатих секцій, встановлених із можливістю перекосу. Між секціями розміщений фіксуєчий вузол із регулятором кута перекосу, що приводиться в дію стрижнем, який опускається в бурильну колону на тросі. Пристрій [14] за конструкцією близький до відхилювача «Telepilot» і складається з двох секцій, з'єднаних підшипником, всередині якого розміщений гідроциліндр із порожнинним поршнем. При вкиданні кулі поршень стискає пружину та за рахунок храпового з'єднання повертає нижню секцію.

Найбільш простим відхилювачем для скерованого буріння свердловини є рішення, подане в праці [15]. Конструкція містить пустотілий корпус, в якому розміщені відхилювача втулка й підпружинений пакетом пружинних оболонок стовбур, верхній кінець якого зафіксований у корпусі від радіального переміщення, а нижній знаходиться в відхилюючій втулці. При цьому стовбур має можливість переміщуватись вздовж осі на величину ходу пакету пружинних оболонок, що визначає кут відхилення. Принцип управління роботою даним пристроєм базується на залежності його викривлення від навантаження на долото.

Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми

Загалом практика спорудження нафтогазових свердловин показує, що конструкції відхилювачів, на кшталт запропонованої в роботі [15], відносяться до найбільш простих, надійних і перспективних. Втім, їх недоліком є незначний хід осьового переміщення стовбура відносно корпусу, а, значить, і незначний кут відхилення.

Формулювання цілей статті

Як видно із вищезазначеного, основним робочим елементом керованих відхилювачів, конструкція яких взята за основу, є пакет пружинних оболонок. Саме він дозволяє проводити зміну положення пристрою багаторазово. Тому ціллю даної статті є розроблення та аналітичне дослідження пакету пружинних оболонок з метою забезпечення величини його корисного ходу, достатньої для досягнення необхідних значень кута перекосу відхилювача.

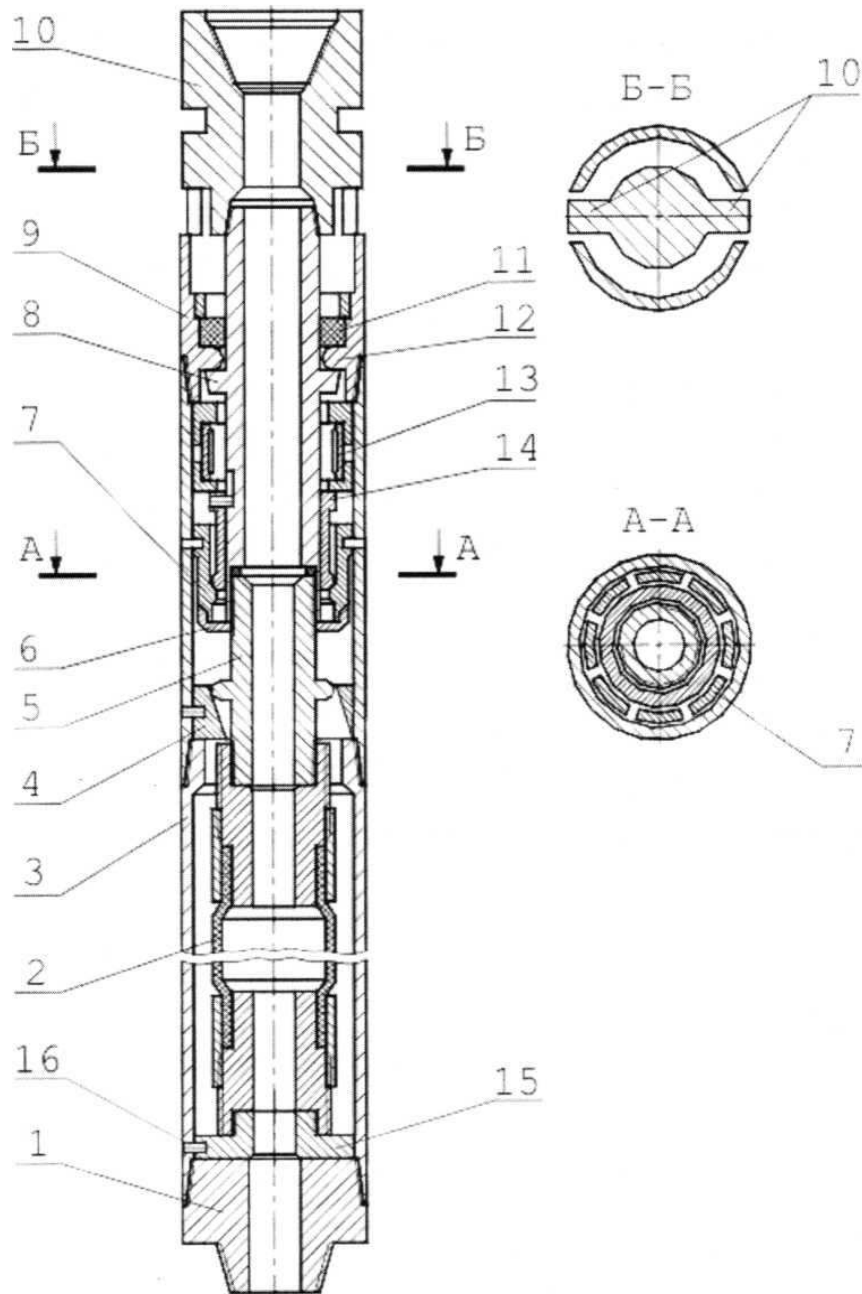


Рисунок 1 – Конструкція керованого відхилювача

Висвітлення основного матеріалу дослідження

З метою досягнення поставленої цілі запропонована конструкція керованого відхилювача для буріння вертикальних і похило-скерованих свердловин, боротьбою з їх природнім викривленням, забурюванням нових стовбурів, реалізації набору кривизни віссю свердловини з можливістю переходу на стабілізацію зенітного та азимутального кутів [1] (рис. 1). Пристрій може бути встановлений в компоновці низу бурильної колони як безпосередньо над долотом, так і на будь-якій відстані від нього. При цьому діаметри свердловин і глибини опускання відхилювача не регламентуються.

В основі запропонованого пристрою лежить можливість отримання більшого діапазону кута відхилення шляхом збільшення осьового та радіального переміщення стовбура відносно корпусу, жорсткої фіксації положення стовбура відносно корпусу при зміні осьового навантаження на бурильний інструмент, а також керованого використання відхилювача без підйому його із свердловини.

Відтак пристрій складається з пустотілого збірного корпусу 3, в якому закріплені відхилювача втулка 4 і цапга 7, а також встановлений пакет пружинних оболонок 13. У верхній частині корпусу кріпиться верхній ніпель 9 з внутрішнім буртом 12, що фіксує верхній кінець

стовбура 5 від його радіального переміщення по відношенню до корпусу 3 і служить його верхньою радіальною опорою. Для передачі обертового моменту від стовбура 5 на корпус 3 та забезпечення їх взаємного осьового переміщення на величину ходу відхилювача h , в верхньому ніпелі 9 зроблені пази, в яких рухаються виступи верхньої муфти 10 стовбура 5. Нижній кінець стовбура 5 закінчується гайкою 16, що фіксується в корпусі й впирається в торець нижнього ніпеля 1 корпусу 3.

В свою чергу, нижній ніпель 1 корпусу 3, що з'єднуються між собою за допомогою різьбового з'єднання, служить для герметизації внутрішньої порожнини стовбура та з'єднання нижньої частини відхилювача з бурильною колоною. Нижній кінець стовбура розрізний, частини якого з'єднуються між собою за допомогою гумової втулки 15, що дозволяє осьове та радіальне переміщення стовбура 5 відносно корпусу 3, а також герметизує внутрішню порожнину стовбура.

Для герметизації кільцевого простору між збірним корпусом 3 і стовбуром 5 у верхньому ніпелі 9 корпусу встановлено ущільнення 11.

На стовбурі 5 також закріплена втулка 14. Між буртом 8 стовбура 5 і втулкою 14 встановлений уже згаданий пакет пружних оболонок 13.

Середня частина стовбура 5 має бурт, який розміщений у відхиляючій втулці 4, яка під час руху збірного стовбура 5 відносно корпусу 3 вниз, відхиляє нижню частину ствола в радіальному напрямку на кут, що відповідає куту перекосу відхилювача.

Загалом, згаданий вище пристрій для скерованого буріння працює наступним чином. При опусканні бурового інструменту в свердловину та створення навантаження на долото, відхилювач знаходиться в вихідному положенні з нульовим кутом відхилення стовбура 5 відносно корпусу 3. Навантаження на долото при цьому передається через верхню муфту 10 на стовбур 5. Далі через бурт 8 стовбура 5, пакет пружних оболонок 13, втулку 14, пружну пелюсткову втулку 7 на корпус 3.

Коли навантаження на долото перевищує критичне зусилля, що забезпечує стійкість пакету пружних оболонок, останній стискається на величину h_n . При цьому стовбур 5 разом з фіксуючим елементом 6 пружної пелюсткової втулки (цанги) 7 переміщається вниз відносно корпусу 3. В результаті чого остання розфіксується та дозволяє дальшому осьовому переміщенню стовбура 5 відносно корпусу 3. Абсолютна осьова деформація пакету пружних оболонок 13 h_n повинна бути достатньою лише для

розфіксування цанги 7. Після чого він приймає початкове положення, відновлює свою початкову форму пружної рівноваги, а стовбур продовжує переміщуватись у осьовому напрямку по відношенню до корпусу на величину h .

Отже, як бачимо, розміщення між корпусом і стовбуром (над цангою та опорною втулкою) пакету пружних оболонок дає можливість уникнути обмежень, спричинених ходом останнього, на поздовжнє переміщення стовбура відносно корпусу.

За необхідності перевести пристрій у вихідне (початкове) положення з нульовим кутом перекосу достатньо зняти навантаження на долото піднявши інструмент над вибоєм на величину, що перевищує значення ходу відхилювача h . При цьому стовбур 5 відносно корпусу 3 переміщується угору, фіксатор 6 фіксує цангу 7, і пристрій готовий працювати з нульовим відхиленням.

Варто зазначити, що зовнішній діаметр відхилювача приймається, виходячи з нормативного ряду елементів бурильної колони та для запропонованого взірця становить 195 мм.

Водночас пакет пружних оболонок 13 виготовляється з тонкої сталеві смуги, яка використовується для виготовлення мембран глибокого манометра. При цьому згадана сталева смуга навивалась на дерев'яну оправу, а потім на фрезерному верстаті виконувалися поздовжні прорізи.

Цілком очевидно, що критичне навантаження, при якому втрачає поздовжню стійкість пакет пружних оболонок, є надзвичайно важливою величиною, від якої залежить режим роботи відхилювача. Для її визначення нами створено 3D-модель пакету пружних оболонок 13 (див. рис. 2). Його зовнішній діаметр становить 60 мм, а висота – 80 мм. Пакет пружних оболонок виконувався як монолітний блок. Відтак, товщина його стінки розраховується залежно від кількості шарів навивки. При цьому товщина сталеві полоси рівна 0,3 мм. Як вже зазначалося, в пакеті пружних оболонок виконується шість отворів висотою 60 мм і шириною 7 мм. Як основу для моделювання вибрано «тверде тіло» із наступними механічними властивостями: модуль пружності першого роду – $2,05 \times 10^{11}$ Па; коефіцієнт Пуассона – 0,29; модуль пружності другого роду – $8,0 \times 10^{10}$ Па.

Аналіз стійкості 3D-моделі проведено методом скінченних елементів. Для цього до її верхнього торця було прикладено осьову силу, а нижній торець защемлено (див. рис. 3).



Рисунок 2 – 3D-модель пакету пружних оболонок

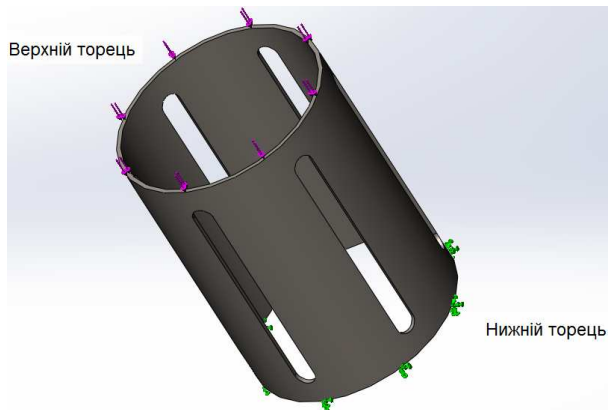


Рисунок 3 – Навантаження моделі пакету пружних оболонок

Після створення сітки скінчених елементів був проведений розрахунок для визначення критичної величини осьової сили, після досяг-

нення якої пакет пружних оболонок втрачає першопочатковий стан пружної рівноваги та зазнає деформації (див. рис. 4).

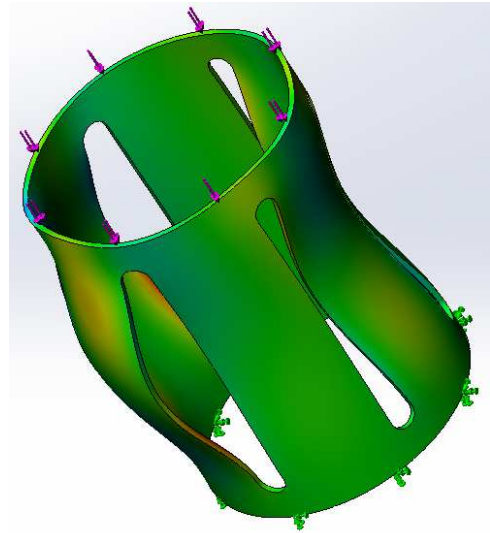


Рисунок 4 – Деформація пакету пружних оболонок після втрати стійкості

Як було зазначено вище, пакет пружних оболонок виготовляється шляхом навивання шарів сталевієї полоси товщиною 0,3 мм один на одного. Тож нами було досліджено залежність величини критичної осьової сили від кількості шарів у пакеті. В результаті проведених розрахунків отримано масив даних, які відображені за допомогою діаграми (див. рис. 5).

Апроксимаційна пряма в аналітичному вигляді описується наступною залежністю

$$F_{cr} = 56410n - 32770, \quad (1)$$

де F_{cr} – критична осьова сила;
 n – кількість шарів у пакеті пружних оболонок.



1 – розрахункові дані; 2 – апроксимаційна пряма

Рисунок 5 – Графічна залежність критичної осьової сили від кількості шарів навивки

Як бачимо з рисунка 5 і формули (1), залежність має яскраво виражений прямолінійний характер, що дозволить здійснювати налаштування необхідної величини критичного зусилля з кроком, що добре узгоджується з практичними потребами.

Висновки

Спрацювання відхилювача, що полягає в викривленні його осі, відбувається внаслідок дії критичного осьового зусилля, що спричиняє втрату стійкості пакетом пружних оболонок. При цьому, величини абсолютної поздовжньої деформації останнього повинно бути достатньо тільки для розблокування фіксації елементів, що забезпечують прямолінійність осі пристрою. Це є вагомим перевагою запропонованої конструкції відхилювача порівняно з аналогами.

В свою чергу, пакет пружних оболонок може складатися з декількох шарів. Збільшення їх кількості призводить до зростання критичного значення осьової сили, після якого відбувається втрата стійкості. Так, для двох шарів критична осьова сила складає 2,7 т., для семи – 32,7 т., що більш ніж у 12-ть разів більше. Отже, регулюванням кількості шарів пакету пружних оболонок можна встановлювати необхідну для практичних потреб величину осьового зусилля, після перевищення якої відбудеться спрацювання відхилювача.

Як показали результати 3D-моделювання, залежність критичної осьової сили від кількості шарів пакету пружних оболонок мають яскраво виражений прямолінійний характер. Враховуючи, що товщина однієї пружної оболонки становить лише 0,3 мм, є можливість зміни кількості шарів, а, отже, й значень критичної осьової сили для спрацювання відхилювача в межах діапазону найбільш широко вживаних на практиці значень навантажень на долото.

Література

1. Современные технические средства для бурения наклонно-направленных скважин с забойным двигателем и технология их применения: обз. информ. *Бурение*. 1982. Вып. 5 (13).
2. Кузнецов И.И., Никитин Г.М. Шпиндели-отклонители ШО1-195. *Нефтяное хозяйство*. 1980. № 8.
3. Пат. 75251 С2 Україна, МПК E21B 7/04. Відхильник для направлено буріння / Крижанівський Є.І., Яворський М.М., Івасів В.М., Олексюк М.П., Лігоцький М.В., Козьмін Д.І., Василів М.В.; заявник і патентовласник Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу. –

№ 20040705276; заявл. 01.07.2004.; опубл. 15.03.2006, Бюл. № 3.

4. А.с. № 781311 СССР, E21B 7/08. Отклонитель / Г.Г. Семак, М.Л. Шумада, А.Г. Калинин, Р.С. Яремийчук, В.М. Беляев. № 2697891/22-03; заявл. 18.12.1978; опубл. 23.11.1980, Бюл. № 43.

5. А.с. № 821678 СССР, E21B 7/08. Отклонитель для направленного бурения забойным двигателем / Ю.Г. Соловов, И.В. Кукушкин, О.М. Верниковская. № 2717076/22-03; заявл. 24.01.1979; опубл. 15.04.1981, Бюл. № 14.

6. А.с. № 832019 СССР, E21B 7/08. Отклонитель для наклонного направленного бурения скважин / В.Ф. Буслаев, Ю.Ф. Рыбаков, Н.С. Гаджиев, Ю.Г. Скрипилов. № 2581591/22-03; заявл. 16.02.1978; опубл. 23.05.1981, Бюл. № 19.

7. А.с. № 878894 СССР, E21B 7/08. Отклонитель для бурения многозабойных скважин / Я.И. Гирнык, А.Н. Гавскнехт, В.Ф. Жданков, И.С. Андрийчук, И.И. Думин, О.С. Дудар. № 2732972/22-03; заявл. 05.03.1979; опубл. 07.11.1981, Бюл. № 41.

8. А.с. № 909089 СССР, E21B 7/08. Устройство для направленного бурения скважин / О.А. Марков. № 2952522/22-03; заявл. 07.07.1980; опубл. 28.02.1982, Бюл. № 8.

9. А.с. № 909091 СССР, E21B 7/08. Устройство для направленного бурения скважин / Г.Г. Семак, А.Г. Калинин, Н.О. Гринкевич, Я.В. Огар. № 2905618/22-03; заявл. 04.04.1980; опубл. 28.02.1982, Бюл. № 8.

10. Пути совершенствования профиля добывающих скважин: обз. информ. Строительство скважин. *Нефтяная промышленность*, 1989. Вып. 10.

11. Масленников И.К. Буровой инструмент: справочник. М.: Недра, 1989.

12. Леонард Д. Переводник с дистанционно изменяющимся углом изгиба для бурения наклонных скважин. *Нефть и газ за рубежом*. 1989. № 7.

13. А.с. СРСР № 1239249, кл. E21 B7/08. Отклонитель для направленного бурения скважин / В.И. Рязанов, М.Н. Сафиуллин. № 3815360/22-03; заявл. 23.11.84; опубл. 23.06.86, Бюл. № 23.

14. А.с. СРСР № 1276796, кл. E21 B7/08. Отклонитель / В.И. Рязанов, М.Н. Сафиуллин, Н.Л. Туриченко. № 3866744/22-03; заявл. 13.03.85; опубл. 15.12.86, Бюл. № 46.

15. А.с. СРСР № 1802058, кл. E21 B7/08. Отклонитель для направленного бурения скважин / В.М. Ивасив, Б.А. Вацык, М.И. Иванов, М.С. Гайовый, И.В. Дейнека, В.Ю. Лишук,

Н.П. Олексюк, Д.В. Пасенюк, А.А. Старков, В.С. Токарев. № 4876871/03; заявл. 22.10.90; опубл. 15.03.93, Бюл. № 10.

References

1. Sovremennye tehicheskie sredstva dlya bureniya naklonno-napravlennyh skvazhin s zaboynym dvigatelem i tehnologiya ih primeneniya: obz. inform. *Burenie*. 1982. Vyp. 5 (13).

2. Kuznecov I.I., Nikitin G.M. Shpindel'no-otkloniteli ShO1-195. *Neftyanoe hozyaystvo*. 1980. No 8.

3. Pat. 75251 S2 Ukraina, MPK E21B 7/04. Vidkhylnyk dlia napravlenoho burinnia / Kryzhanivskiy Ye.I., Yavorskiy M.M., Ivasiv V.M., Oleksiuk M.P., Lihotskiy M.V., Kozmin D.I., Vasyliv M.V.; zaiavnyk i patentovlasnyk Ivano-Frankiv. nats. tekhn. un-t nafty i hazu. - No 20040705276; zaiavl. 01.07.2004.; opubl. 15.03.2006, Biul. No 3.

4. A.s. No 781311 SSSR, E21V 7/08. Otklonitel' / G.G. Semak, M.L. Shumada, A.G. Kalinin, R.S. Yaremychuk, V.M. Belyaev. No 2697891/22-03; zayavl. 18.12.1978; opubl. 23.11.1980, Byul. No 43.

5. A.s. No 821678 SSSR, E21V 7/08. Otklonitel' dlya napravlenogo bureniya zaboynym dvigatelem / Yu.G. Solovov, I.V. Kukushkin, O.M. Vernikovskaya. No 2717076/22-03; zayavl. 24.01.1979; opubl. 15.04.1981, Byul. No 14.

6. A.s. No 832019 SSSR, E21V 7/08. Otklonitel' dlya naklonnogo napravlenogo bureniya skvazhin / V.F. Buslaev, Yu.F. Rybakov, N.S. Gadzhiev, Yu.G. Skripilov. No 2581591/22-03; zayavl. 16.02.1978; opubl. 23.05.1981, Byul. No 19.

7. A.s. No 878894 SSSR, E21V 7/08. Otklonitel' dlya bureniya mnogozaboynyh skvazhin / Ya.I. Girnyk, A.N. Gavskneht, V.F. Zhdankov, I.S. Andriychuk, I.I. Dumin, O.S. Dudar. No 2732972/22-03; zayavl. 05.03.1979; opubl. 07.11.1981, Byul. No 41.

8. A.s. No 909089 SSSR, E21V 7/08. Ustroystvo dlya napravlenogo bureniya skvazhin / O.A. Markov. No 2952522/22-03; zayavl. 07.07.1980; opubl. 28.02.1982, Byul. No 8.

9. A.s. No 909091 SSSR, E21V 7/08. Ustroystvo dlya napravlenogo bureniya skvazhin / G.G. Semak, A.G. Kalinin, N.O. Grinkevich, Ya.V. Ogar. No 2905618/22-03; zayavl. 04.04.1980; opubl. 28.02.1982, Byul. No 8.

10. Puti sovershenstvovaniya profilya dobyvayuschih skvazhin: obz. inform. Stroitel'stvo skvazhin. *Neftyanaya promyshlennost*. 1989. Vyp. 10.

11. Maslennikov I.K. Burovoyinstrument: spravochnik. M.: Nedra, 1989.

12. Leonard D. Perevodnik s distancionno izmenyayuschimsya uglom izgiba dlya bureniya naklonnyh skvazhin. *Neft' i gaz za rubezhom*. 1989. No 7.

13. A.s. SRSR № 1239249, kl. E21 V7/08. Otklonitel' dlya napravlenogo bureniya skvazhin / V.I. Ryazanov, M.N. Safiullin. No 3815360/22-03; zayavl. 23.11.84; opubl. 23.06.86, Byul. No 23.

14. A.s. SRSR № 1276796, kl. E21 V7/08. Otklonitel' / V.I. Ryazanov, M.N. Safiullin, N.L. Turichenko. No 3866744/22-03; zayavl. 13.03.85; opubl. 15.12.86, Byul. No 46.

15. A.s. SRSR № 1802058, kl. E21 V7/08. Otklonitel' dlya napravlenogo bureniya skvazhin / V.M. Ivasiv, B.A. Vacyk, M.I. Ivaniv, M.S. Gayovy, I.V. Deyneka, V.Yu. Lischuk, N.P. Oleksyuk, D.V. Pasenyuk, A.A. Starkov, V.S. Tokarev. No 4876871/03; zayavl. 22.10.90; opubl. 15.03.93, Byul. No 10.