

622.276.53
X 29

**ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ**



Хаїханов Іса Геланієвич

УДК 622.276.53.:621.671.(047)

**КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ШТАНГОВОЇ КОЛОНИ
ГЛИБИННО-НАСОСНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ВИДОБУТКУ НАФТИ**

Спеціальність 05.11.13 – Прилади і методи контролю та визначення складу
речовин

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2007

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Заміховський Леонід Михайлович,
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу, завідувач кафедри
комп'ютерних технологій в системах управління та
автоматики.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Копей Богдан Володимирович, Івано-Франківський
національний технічний університет нафти і газу,
професор кафедри нафтогазового обладнання.
доктор технічних наук, професор
Поджаренко Володимир Олександрович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри метрології та промислової



Захист
спеціалізован
національно
м. Івано-Фра

данні
ькому

3 дис
Івано-Франк
адресою: 760

отечі
зу за

Автор

Вчени
спеціалізованої вченої ради

Дранчук м.м.



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Використання глибинно-насосних штангових установок (ГНШУ) сьогодні залишається найбільш поширеним у вітчизняній і зарубіжній нафтовій промисловості способом видобутку нафти, що обумовлюється простотою конструкції, яка забезпечує їх надійність і ефективність експлуатації. У той же час, не дивлячись на простоту конструкції, мають місце численні відмови і аварії, кількість яких постійно зростає, особливо при експлуатації викривлених (похилих і похило-направлених) свердловин. Використання в цих випадках загальноприйнятих динамометричних методів діагностування з метою визначення технічного стану ГНШУ дає значну похибку, а в окремих випадках – постановку неправильного діагнозу при розпізнаванні динамограм і віднесенні їх до наперед визначених класів дефектів. Це обумовлено складними умовами експлуатації ГНШУ у викривлених свердловинах, в яких, на відміну від вертикальних, колона насосно-компресорних труб (КНКТ) і штангова колона (ШК) знаходяться під дією комплексу силових чинників, що створюють розтягуючі, згинаючі і скручуючі напруження.

Дія останніх призводить до утворення спіралевидної форми штангової колони, збільшення сил тертя об стінки НКТ, зміни довжини ходу плунжера і т.п. Ігнорування названих чинників може призвести до неправильної інтерпретації динамограми і, як наслідок – обриву ШК, появи наскрізних отворів у колоні НКТ, втрати продукції ГНШУ, відкручування штанг і ін.

У зв'язку з цим, актуальним є завдання удосконалення динамометричних методів діагностування ГНШУ з урахуванням стану ШК, що знаходиться під дією комплексу силових чинників.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика дисертації є частиною планових науково-дослідних програм розвитку нафтового комплексу України і ґрунтується на результатах науково-дослідної роботи «Розробка теоретичних і методологічних принципів діагностування устаткування нафтогазового комплексу України», частиною науково-дослідної тематики 45/1, номер державної реєстрації в УкрНДІНТЕІ №01980005799, яка входить в координаційний план Міністерства освіти і науки «Наукові основи розробки нових технологій видобутку нафти і газу, газопромислового устаткування, поглибленої переробки нафти і газу з метою отримання високоякісних моторних мастил, допоміжних продуктів і нафтохімічної сировини». Вказаний план входить у національну програму «Нафта і газ України»

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є розробка методу контролю

стану штангової колони, яка знаходиться під дією комплексу силових чинників, що дозволяє підвищити достовірність динамометричних методів діагностування ГНШУ і, відповідно, надійність їх експлуатації.

Для здійснення поставленої мети були визначені наступні завдання досліджень:

1. Проаналізувати особливості роботи штангової колони ГНШУ, яка знаходиться під дією комплексу силових чинників, а також методи і засоби діагностування її технічного стану.

2. Розробити теоретичні передумови методу контролю стану ШК, яка знаходиться під дією комплексу силових чинників.

3. Дослідити вплив стану штангової колони, що знаходиться під дією комплексу силових чинників, на вірогідність діагностування ГНШУ динамометричними методами.

4. Розробити технічні засоби і мікропроцесорну систему на підставі вдосконаленого алгоритму діагностування за динамограмою.

5. Провести промислово апробацію методу контролю ШК, що знаходиться під дією комплексу силових чинників.

Об'єктом досліджень є механізований спосіб видобутку нафти за допомогою ГНШУ, при експлуатації яких у викривлених свердловинах виникають різноманітні дефекти, що спричиняють зміни технічного стану та виникнення аварійних ситуацій з ГНШУ, які не завжди однозначно можна визначити загальноприйнятими динамометричними методами через дію комплексу силових чинників на ШК.

Предмет дослідження – методи і технічні засоби діагностування ГНШУ динамометричними методами.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених у роботі завдань використовувалися методи: диференціальної та аналітичної геометрії; теорії пружності; методи нелінійного регресійного аналізу, звичайних диференціальних рівнянь та диференціальних рівнянь з частинними похідними; методи математичної статистики та технічної діагностики; методи системо – і схемотехніки; методи імітаційного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів

1. Вперше розроблена математична модель процесу деформації в колоні НКТ, яка має довільну тривимірну конфігурацію осі, штангової колони з урахуванням її спіральної форми, що дозволяє розраховувати напружений стан деформованої колони.

2. Вперше запропонована модель оцінки сил опору, що виникають при русі

ШК після втрати стійкості, з урахуванням просторових конфігурацій осей ШК і колони НКТ, а також отримані емпіричні формули для їх визначення, які складають основу запропонованого методу контролю стану ШК.

3. На підставі створених математичних моделей процесу деформації ШК і оцінки сил опору її руху, що враховують спіралевидність ШК і реальний профіль свердловини, вперше розроблено метод контролю її стану, що дозволяє прогнозувати також дефект типу „Обрив штанг” з вірогідністю 0.95.

4. Вперше визначено характер зміни форми динамограми, обумовлений спіралевидною деформацією ШК, і запропоновано аналітичне представлення еталонної динамограми нормальної роботи ГНШУ, що враховує ефект спіралевидності, використання якої дозволяє підвищити достовірність діагностування її стану до 0.96.

Практичне значення отриманих результатів полягає в:

- удосконаленні алгоритму діагностування ГНШУ за динамограмою на підставі розрахунку міри подібності між експериментальною динамограмою і еталонними динамограмами різних технічних станів, отриманими з еталонної динамограми нормальної роботи, яка враховує ефект спіралевидності;

- створенні тензорезистивного динамометричного перетворювача накладного типу, технічні характеристики якого відповідають відомим зарубіжним аналогам;

- розробці мікропроцесорної системи діагностування ГНШУ на основі динамометричного перетворювача накладного типу і ПЕОМ, використання якої дозволяє отримувати оперативну і достовірну інформацію про технічний стан ГНШУ в реальному режимі часу.

Розроблені метод і мікропроцесорна система діагностування пройшли промислову апробацію на свердловинах Б-320, Б-720 Битківського родовища, свердловинах Д-66 і Д-67 родовища «Довбушани» і свердловині П-812 Пасічнянського родовища НГВУ "Надвірна нафтогаз" і прийняті для подальшого впровадження.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень використовуються в навчальному процесі – в робочих програмах дисциплін "Основи теорії надійності і технічної діагностики систем", "Методи і засоби діагностування об'єктів нафтогазового комплексу", "Проектування систем діагностування", які читаються для студентів спеціальності 7.0914.01 – "Системи управління і автоматики".

Особистий внесок здобувача. Основні положення і результати роботи отримані автором самостійно. Розроблені математичні моделі процесів деформування колони НКТ у вертикальній свердловині [9] і ШК у свердловині з

криволінійною віссю [2] та тривимірного деформування ШК у свердловині з криволінійною віссю [10]. Проведено моделювання процесу коливань ГНШУ в процесі запуску і у сталому режимі [3]. У роботах, опублікованих у співавторстві, запропонована математична модель нестационарної деформації ГНШУ, представленою напівскінченим стрижнем і тілом кінцевої маси [1], запропонована формула для визначення тензора деформацій ШК з врахуванням її гвинтової конфігурації у вертикальній свердловині [4], отримані формули для визначення кількості витків спіралі при деформації ШК [8], досліджено вплив спіралевидності ШК на зміну форми динамограми [5], запропонована структурна схема системи діагностування ГНШУ [6] та методика розрахунку показника готовності розробленої системи [7], яка дозволяє визначити оптимальний період діагностування ГНШУ. Здобувач брав участь у обробці результатів промислової апробації розробленого методу контролю ШК.

Апробація результатів досліджень. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на XVIII, XIX, XX, XXI, XXII Міжнародних міжвузівських школах-семінарах «Методи і засоби технічної діагностики» (Івано-Франківськ, 2001, 2003, 2005р.р. – Україна і Йошкар - Ола, 2002, 2004, 2006р.р. – Республіка Марій-Ел –Росія); 3-ій науково-технічній конференції «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового устаткування (м. Івано-Франківськ, 2002р.); наукових семінарах кафедри комп'ютерних технологій в системах управління і автоматики (2002-2006р.р.).

Публікації. За результатами досліджень, які викладені в дисертації, опубліковано 10 робіт, з яких 5 – у виданнях, включених до фахових видань у ВАК України, а 4 статті опубліковані одноосібно.

Структура і об'єм роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, викладених на 140 сторінках тексту, 35 малюнків, 8 таблиць, списку використаних джерел, який містить 120 найменувань, і 4 додатків на 53 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність завдання, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, визначено мету і завдання дослідження, сформульована наукова новизна та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі розглянуті особливості роботи ШК, яка знаходиться під

дією комплексу силових чинників та проаналізовані причини і фактори, що спричиняють її дефекти і відмови. Встановлено, що найбільший вплив здійснює просторова конфігурація свердловини на ШК.

Здійснено аналіз математичних моделей ШК, яка знаходиться під дією комплексу силових чинників, у результаті якого встановлено, що у всіх математичних моделях ГНШУ ШК розглядають як пряму лінію або просту криву, у той час, як при експлуатації ГНШУ у викривлених свердловинах в процесі деформації ШК вимушена складатися в спіраль, як найбільш доступну форму деформації, що спостерігається на практиці. Параметри спіралевидності, які розраховувалися в окремих роботах, носять розузгоджений і несистематизований характер, що вимагає побудови математичної моделі процесу деформування ШК з урахуванням її спіралевидної форми.

Проведено аналіз традиційних динамометричних методів діагностування ГНШУ та технічних засобів для їх реалізації. Встановлено, що загальноприйнятим є метод розпізнавання дефектів ГНШУ безпосередньо за характерними ознаками форми кривої динамограми. Його застосовують у поєднанні з візуальним розпізнаванням динамограм. Однак ці методи не дозволяють дати однозначного діагнозу про стан ШК, яка знаходиться під дією комплексу силових чинників, що вимагає вдосконалення динамометричних методів.

На підставі проведеного аналізу сучасного стану проблеми сформульовано мету і завдання дисертаційної роботи.

У *другому розділі* наведена загальна модель процесу деформації ШК у свердловині з прямолінійною і криволінійною віссю, представлений радіус-вектор довільної точки деформованої колони у момент часу t :

$$\vec{r}_p = \vec{r}_c + \rho(s, \varphi, r, t) (\cos \omega(s, \varphi, r, t) \vec{b}_c + \sin \omega(s, \varphi, r, t) \vec{n}_c) + \psi(s, \varphi, r, t) \vec{\tau}_c, \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{\tau}_c = \tau_0 (1 - K_0 R \sin(K_1 S)) + \bar{n}_0 (-v_0 R \cos(K_1 S) + RK_1 \cos(K_1 S)) + \\ + \vec{b}_0 (v_0 R \sin(K_1 S) - K_0 K_1 R \sin(K_1 S)) \\ \bar{n}_c = \frac{1}{K_c} \bar{n}_0 \left(K_0 A + \frac{dB}{dS} - v_0 C \right) + \frac{1}{K_c} \tau_0 \left(\frac{dA}{dS} - K_0 B \right) + \frac{1}{K_c} \vec{b}_0 \left(v_0 B + \frac{dC}{dS} \right), \\ \vec{b}_c = [\vec{\tau}_c \times \bar{n}_c] \end{array} \right. \quad (2)$$

де K_0, v_0 – кривизна і кручення осі свердловини; K_c – кривизна осі колони;

$$\left\{ \begin{array}{l} A = 1 - K_0 R \sin(K_1 S) \\ B = R \cos(K_1 S) \cdot (K_1 - v_0), \\ C = R v_0 K_1 \sin(K_1 S) \end{array} \right. \quad (3)$$

K_1 – питома кількість витків спіралі на одиницю довжини колони. $\rho(s, \varphi, r, t)$, $\omega(s, \varphi, r, t)$, $\psi(s, \varphi, r, t)$ – функції, що визначають тривимірну деформацію колони. Вважається, що після втрати стійкості вісь ШК набуває спіралевидної конфігурації. Використовуючи стандартні методи теорії пружності, за поданням (1) у два моменти часу будуються компоненти локальних базисів $\mathfrak{F}_i = \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial x_i}$; $\mathfrak{F}_i^0 = \frac{\partial \mathbf{r}_0}{\partial x_i}$, після чого обчислюються компоненти метричних тензорів g_{ij} , компоненти тензорів деформації ε_{ij} , що дозволяє проводити розрахунок значень діючих напружень.

Для визначення кількості витків спіралі ШК по її осі після втрати стійкості виведені кінцеві аналітичні співвідношення, що зв'язують питому кількість витків K_1 з критичним навантаженням, модулем Юнга, моментом інерції критичного перетину I_{\min} :

$$K_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{P_{кр}}{EI_{\min}}}, \quad (4)$$

а також залежність для розрахунку кількості витків по довжині колони L :

$$N = \frac{L}{2\pi} \sqrt{\frac{P_{кр}}{EI_{\min}}}. \quad (5)$$

Для визначення деформацій, обумовлених коливаннями ШК у процесі запуску і у сталому режимі роботи ГНШУ побудована математична модель, що описує ці коливання:

$$\begin{cases} a_1 \frac{\partial^2 U_1}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 U_1}{\partial t^2} \\ a_2 \frac{\partial^2 U_2}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 U_2}{\partial t^2} + \alpha \frac{\partial U_2}{\partial t} \end{cases}, \quad (6)$$

при цьому граничні і початкові умови записуються у вигляді:

$$\begin{cases} U_1(0, t) = F_1(t) \\ \frac{\partial U_1}{\partial t}(0; t) = V_1(t) \end{cases}, \quad (7)$$

$$\begin{cases} U_1(L - S(t), t) = U_2(L - S(t), t) \\ \frac{\partial U_1}{\partial t}(L - S(t), t) = \frac{\partial U_2}{\partial t}(L - S(t), t) \end{cases}, \quad (8)$$

$$\begin{cases} U_2(L_1 t) = R_1(t) \\ \frac{\partial U_2}{\partial t}(L_1 t) = R_2(t) \end{cases}, \quad (9)$$

$$\begin{cases} U(x,0) = 0 \\ \frac{\partial U_1}{\partial t}(x,0) = V_1(0), \end{cases} \quad (10)$$

де U_1 і U_2 – переміщення точок колони в газоподібному і рідкому середовищах; $a_i^2 = \frac{E}{\rho}$; α – коефіцієнт тертя між матеріалом колони і середовищем;

$F_1(t)$, $V_1(t)$ – відомий режим руху колони в точці $x=0$; $S(t)$ – режим заповнення колони НКТ свердловинною рідиною; $R_1(t)$, $R_2(t)$ – закон зміни переміщень і швидкост колони, який визначається шляхом розв'язку рівняння Ван-дер-Поля для коливання тіла в середовищі із змінним опором.

Моделювання напруженого стану ШК з урахуванням її гвинтової конфігурації у вертикальній свердловині проводилося для колони, радіус-вектор точок якої задається в контрольний момент часу:

$$\vec{r} = \begin{cases} x = R \cos K_1 Z + r \cos \varphi \\ y = R \sin K_1 Z + r \sin \varphi \\ z = z, \end{cases} \quad (11)$$

де R – радіус свердловини, K_1 – кількість витків спіралі на одиницю її довжини. За формулами (1) - (3) і (11) розраховуються компоненти тензора напружень σ_{ij} за відомою методикою, з урахуванням початкової конфігурації осі колони.

Прозедено розрахунок для числових даних, узятих по свердловині № 260 НГВУ „Надвірнанафтогаз”. Встановлено зв'язок між параметром K_1 і максимальними напруженнями:

$$K_1 = \sqrt{\frac{\sigma_{\varphi_{\max}}^{ij} L^2}{\left(\frac{1}{2} \lambda + \mu\right) R^2 4\pi^2}}, \quad (12)$$

Моделювання сил опору, що діють при русі ШК після втрати її стійкості, проводиться з використанням встановлених емпіричних формул:

$$F_{\text{опр}} = F_{\text{тр}}(N) + F_0, \quad (13)$$

де $F_{\text{тр}}$ – сила тертя, що виникає при набутті спіралевидної конфігурації з кількістю витків N :

$$F_{\text{тр}}(N) = F_{\text{тр}}^{\infty} - \frac{F_{\text{тр}}^{\infty} - F_{\text{тр}}^{\text{мін}}}{4(\mu + K_1)N^2 + m} \cdot m, \quad (14)$$

$$F_{\text{п}}^{\infty} = (\mu + K_1) \frac{4\pi^2 EI_{\text{min}}}{d_{\text{т}}^2}, \quad (15)$$

F_0 – сила опору, що визначається геометричною конфігурацією осі свердловини, яка розраховується за формулою:

$$F_0 = \int_0^L \rho S \frac{V^2(t)}{R(t)} dt, \quad (16)$$

де ρ , S і $d_{\text{т}}$ – густина матеріалу труби, площа поперечного перерізу та діаметр колони; $V(t)$ – швидкість руху та $R(t)$ – радіус кривизни колони в даній точці.

У *третьому розділі* здійснена розробка методичного, алгоритмічного і програмного забезпечення методу контролю стану ШК. Розроблено методику проведення експериментальних досліджень, яка передбачала вибір свердловин таким чином, щоб забезпечити різні комбінації експлуатаційних параметрів ГНШУ та просторової конфігурації, представлені сукупністю значень глибини свердловини, кута нахилу і азимута свердловини, виміряних з дискретністю 5...25м по глибині. Методика розроблена з урахуванням особливостей експлуатації нафтовидобувних свердловин та вимірювальних технічних засобів. Для реалізації запропонованого методу була розроблена програма, яка дозволяє отримати візуальне зображення деформованої ШК у тривимірному просторі. Моделювання здійснювалося за допомогою пакета програмних продуктів C++ Builder. Побудова тривимірного зображення проводилося за допомогою бібліотеки OpenGL (Open Graphics Library). Графічна модель дозволяє розрахувати коефіцієнт видовження штанги, який автоматично розраховується для кожних нових початкових даних.

Здійснена розробка алгоритму контролю технічного стану ШК ГНШУ, який враховує вплив на форму динамограми спіралевидної деформації, що обумовлена дією осьового стискаючого навантаження.

В умовах експлуатації ШК осьове стискаюче навантаження виникає внаслідок наявності сил тертя між ШК і колоною НКТ у викривлених свердловинах, тертя між плунжером і циліндром глибинного насоса, а також гідродинамічного опору рідини при русі ШК вниз протягом половини циклу качання. Крім того, в динамічних режимах роботи, тобто при великому числі качань і глибині спуску насоса, ШК піддається періодичному навантаженню від власних коливань. Для свердловин із значною викривленістю спіралевидний вигин ШК можливий вже при спуску її в свердловину, оскільки при цьому виникають значні сили тертя між нижнім кінцем ШК і стінкою НКТ на ділянках максимального вигину свердловини.

При русі ШК вгору поздовжнє осьове навантаження є розтягуючим, що може

приводити до «розкручування» спіралі при ході вгору з подальшим відновленням спіралевидності при ході вниз під дією стискаючого навантаження. При цьому змінюється фактична довжина ходу плунжера глибинного насоса на величину, що відповідає різниці довжини ШК і довжини спіралевидної лінії, утвореної внаслідок деформації.

У результаті розрахунків, проведених для типових значень параметрів підземного обладнання ГНШУ, було встановлено, що зміна довжини ходу може складати порядку 10-50см. Це може бути виявлено по динамограмі глибинного насоса (рис.1).

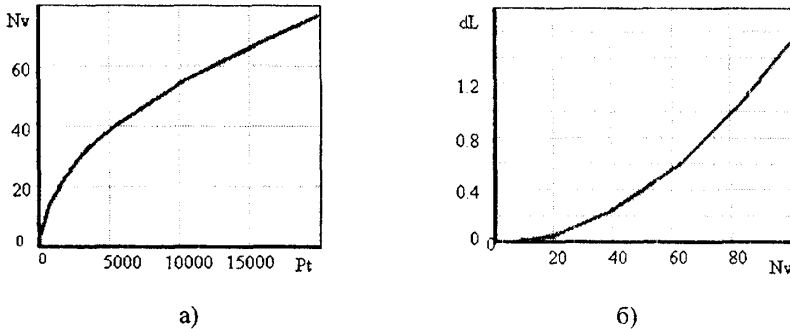


Рис. 1 Залежність: а) кількості витків N_v ШК від прикладеного осьового навантаження, та б) зміни довжини ходу dL від кількості витків N_v .

На рис. 2 показана динамограма нормальної роботи ГНШУ, що враховує наявність спіралевидної деформації ШК.

Визначено характер залежності, що описує ділянку динамограми Е-Н, яка відповідає процесу спіралевидної деформації ШК. Під дією сили P (за умови, що момент кручення рівний нулю) ШК утворює спіралевидну криву з параметром

$$k = \sqrt{\frac{0.667P}{EI}}. \quad (17)$$

При цьому зміна довжини колони у вертикальному напрямі складає

$$\Delta L_{\text{сн}} = \sum_{i=1}^4 l_i \cdot \left(\sqrt{1 + r_i^2 \cdot \frac{0.667P_{\text{тп}}}{EI}} - 1 \right), \quad (18)$$

де EI – жорсткість поперечного перерізу колони, l_{wi} – довжини ділянок ШК з різними діаметрами штанг ($r_i = 16$ мм для $i=1$; 19 мм для $i=2$; 22 мм для $i=3$ і 25 мм для $i=4$), l_{ti} – довжини ділянок колони НКТ з різними діаметрами труб ($r_{ti} = 60$ мм для $i=1$; 73 мм для $i=2$; 89 мм для $i=3$ і 102 мм для $i=4$), $P_{\text{тп}}$ – сумарна величина сил тертя.

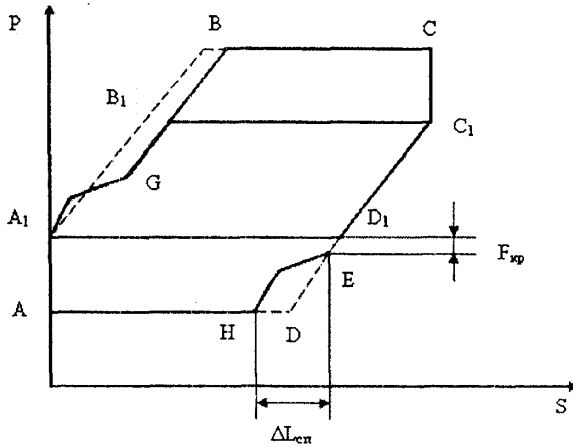


Рис.2. Динамограма нормальної роботи ГНШУ

Отже, ділянка Е-Н має вид параболи, оберненою опуклістю вгору (рис.2)

$$P(S) = \frac{EI}{0.667} \cdot \sum_{i=1}^4 \left(\frac{1}{r_{ш}} \left[\left(\frac{S_{\max} - \lambda_p - \lambda_{кр} - S}{l_i} + 1 \right)^2 - 1 \right] \right), \quad (19)$$

де S_{\max} – довжина ходу полірованого штока, $\lambda_{кр} = \frac{F_{кр}}{E} \cdot \sum_{i=1}^4 \frac{l_{ш}}{f_{ш}}$ – подовження ШК під дією сили, величина якої рівна критичному значенню $F_{кр}$, необхідному для початку процесу спіральної деформації, $\lambda_p = \frac{P_p}{E} \cdot \sum_{i=1}^4 \left(\frac{l_{ш}}{f_{ш}} + \frac{l_{т}}{f_{т}} \right)$ – сумарне подовження ШК і колони НКТ під дією ваги стовпа рідини всередині колони НКТ.

У процесі сприйняття навантаження ШК після проходження нижньої мертвої точки (т. А) спочатку відбувається "розкручування" спіралі за аналогічним законом (ділянка А-Г), після чого ШК розтягується пропорційно прикладеному навантаженню (ділянка Г-В).

Еталони інших технічних станів можна отримати із еталона нормальної роботи за відомими методиками. Діагностування проводиться шляхом підрахунку коефіцієнта кореляції між вимірною динамограмою і кожною із еталонних динамограм, що характеризують різні технічні стани ГНШУ.

Для апробації даного методу були проведені розрахунки для ряду свердловин Битківського, Довбушанського і Пасічнянського родовищ НГВУ «Надвірнанафтогаз».

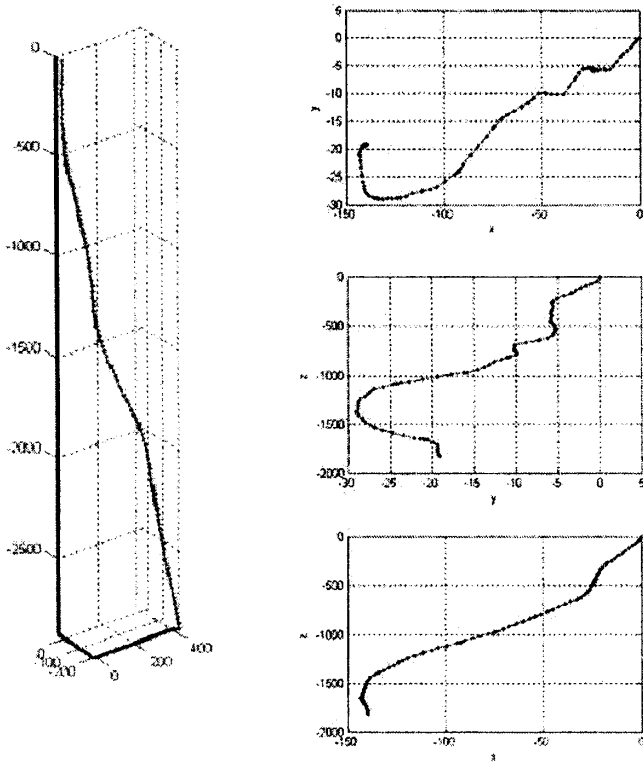


Рис. 3. Просторова конфігурація свердловини Б-320 і проєкції її профілю на координатні площини

Для свердловини Б-320 Битківського родовища, (просторова конфігурація свердловини та проєкції її профілю на координатні площини, приведені на рис.3) була розрахована теоретична динамограма за відомими формулами Вірновського без врахування можливості спіральної деформації ГНШУ. З рис.4 видно, що в порівнянні з теоретичною динамограмою моменти початку ходу плунжера ГНШУ вгору і вниз на експериментальній динамограмі дещо зміщені, причому на експериментальній динамограмі помітні ділянки, за характером близькі до параболічної залежності (обведені колом на рис.4). У зв'язку з цим застосування спрощених еталонів, що не враховують можливості спіральної деформації, призводить до встановлення невірної діагнозу - "Витік у приймальній частині".

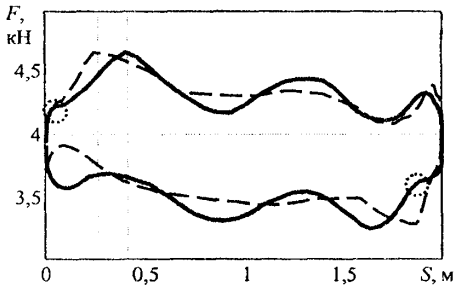


Рис.4. Теоретична (---) і експериментальна (—) динамограми нормальної роботи для свердловини Б-320

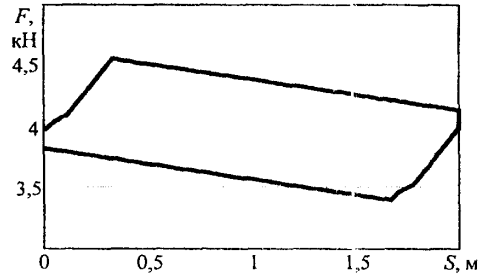


Рис.5. Уточнена (з врахуванням спіралевидності) еталонна динамограма нормальної роботи ГНШУ по свердловині Б-320

На підставі даних про просторову конфігурацію свердловини було розраховано радіус кривизни по всій довжині свердловини, на підставі чого визначена сумарна величина сил тертя та розрахована уточнена еталонна динамограма (рис.5).

Після розрахунку з використанням уточнених еталонів було отримано вірний діагноз "Нормальна робота".

Аналогічні розрахунки були проведені для інших свердловин. Результати діагностування без застосування та із застосуванням запропонованої методики для окремих свердловин приведені в табл. 1.

Таблиця 1. Результати діагностування ГНШУ на нафтопромислах НГВУ «Надвірнанафтогаз»

Свердловина	Критичне навантаження, Н	Сумарна величина сил тертя, Н	Результат діагностування стану ГНШУ з використанням:	
			традиційного динамометричного методу	вдосконаленого динамометричного методу
Б-708	87,4	5890	Відкачування рідини з газом	Заїдання п. лунжера при ході вниз
П-812	72,3	2305	Витік в приймальній частині	Витік в приймальній частині
Д-66	92,6	3710	Нормальна робота	Нормальна робота
Д-67	148,9	3415	Витік в приймальній частині	Нормальна робота

Таким чином, запропонований вдосконалений динамометричний метод діагностування є ефективним для випадку, коли ГНШУ експлуатуються у викривлених свердловинах, де мають місце значні величини сил тертя.

У *четвертому розділі* здійснена розробка системи діагностування ГНШУ, структурна схема якої наведена на рис.6. Для вимірювання навантаження використовується розроблений накладний давач, який монтується на полірований шток. Форма динамограми – кривої переміщення полірованого штока в функції діючого на нього навантаження, записується в пам'ять ЕОМ, а синхронізація постановки отриманих значень здійснюється в крайньому нижньому положенні полірованого штока за допомогою давача початку циклу (магнітокерованого електричного контакту).

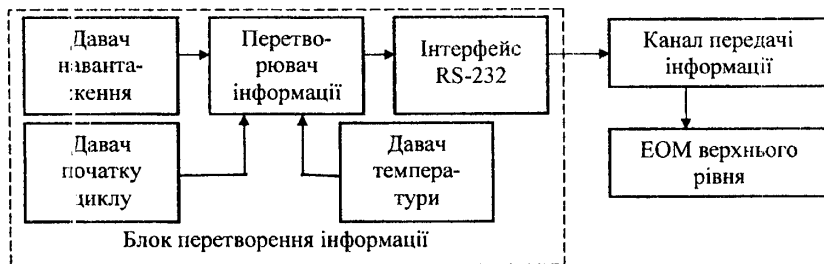


Рис. 6. Блок-схема системи діагностування ГНШУ

Динамограми, отримані в процесі вимірювань, зберігаються і обробляються безпосередньо в ЕОМ верхнього рівня. При цьому попередня обробка даних передбачає перетворення аналогових сигналів у цифрову форму, відстежування початку робочого циклу верстата-качалки і передачу необхідного об'єму даних протягом часу, кратного заданій кількості циклів верстата - качалки. Подальша обробка здійснюється ЕОМ верхнього рівня і включає в себе алгоритми розпізнавання образів і автоматичного діагностування.

Розроблено програмне забезпечення пристрою перетворення вимірювальної інформації, що забезпечує вимірювання навантаження на полірований шток верстата - качалки і сигналу початку циклу за запитом від керуючого пристрою, а також програмне забезпечення ЕОМ верхнього рівня, яке забезпечує зручність процесу вимірювання і обробки динамограм та реалізує розроблені алгоритми контролю технічного стану ГНШУ.

Програмне забезпечення розробленої системи діагностування реалізує достатньо простий процес управління збором і обробкою даних і зручний інтерфейс

користувача. Елементи управління згруповані за функціональним призначенням і розміщені в порядку їх використання.

Параметри свердловин заносяться в локальну базу програми. База даних містить інформацію про глибину спуску насоса, довжину НКТ різних діаметрів, які застосовуються. Крім того, туди заносять дані про діаметр насоса, кількість качань, довжину ходу плунжера і інші. Для проведення установки давача навантаження на полірований шток використовується форма установки і калібрування давача, яка викликається із основної програми.

Проведена оцінка точності вимірювань, яка показала, що сумарна зведена похибка вимірювання навантаження розробленої системи складає 1,0%.

У роботі була розроблена методика і проведено розрахунок показника готовності системи діагностування ГНШУ, який дозволяє визначити оптимальний період її діагностування. На основі отриманого графу станів системи діагностування отримано вираз для визначення показника готовності ГНШУ. Проведені розрахунки показали (рис. 7), що використання розробленого методу контролю стану ШК з врахуванням її спіралевидності, дозволяє підвищити коефіцієнт готовності з 0.93 до 0.973, тобто на 5.0%. Була запропонована також методика та проведено розрахунок показника ефективності системи діагностування ГНШУ – вірогідності діагностування, який становить $D=0.96$, що підтверджує її високу ефективність.

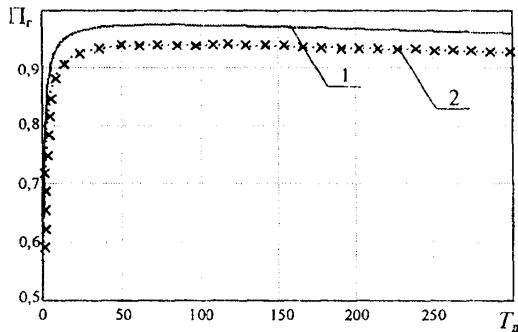


Рис. 7. Графіки залежності показника готовності P_r ГНШУ від періоду діагностування T_d : 1 – вдосконалений і 2 – традиційний методи діагностування стану ШК

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У роботі подано теоретичне узагальнення і нове рішення науково-технічного завдання, яке полягає у розробці методу контролю стану ШК, що знаходиться під дією комплексу силових чинників. Його вирішення має істотне значення з погляду

підвищення достовірності результатів діагностування ГНШУ і, як наслідок – підвищення їх надійності при експлуатації викривлених свердловин.

1. У результаті проведеного аналізу сучасного стану діагностування ГНШУ встановлено: динамометричні методи дають значну похибку, а іноді - невірний діагноз при оцінці стану ГНШУ, які експлуатуються у викривлених свердловинах, що обумовлено відсутністю діагностичних моделей ШК, яка знаходиться під дією комплексу силових чинників і, як наслідок – відсутністю ефективних методів контролю її технічного стану.

2. Створена загальна модель процесу деформації ШК у свердловині з криволінійною віссю, що базується на відновленні просторової конфігурації її осі з урахуванням спіралевидності і виведена формула для оцінки критичної сили, необхідної для придбання вказаної конфігурації, яка з достатньою для інженерних розрахунків точністю (10-15%) узгоджується з відомими залежностями, проте має простіший математичний вираз і враховує особливості ШК.

3. Досліджено НДС ШК у вертикальній свердловині при втраті стійкості і отримані математичні співвідношення для оцінки зміни довжини ШК внаслідок придбання нею спіралевидної конфігурації та оцінені критичні параметри геометрії колони, при яких можливий обрив ШК лише внаслідок зміни геометрії.

4. На підставі створених математичних моделей процесу деформації ШК, оцінки сил опору її руху, що враховують спіралевидність ШК і реальний профіль свердловини, вперше розроблений метод контролю стану ШК, який дозволяє підвищити достовірність діагностування стану ГНШУ і прогнозувати також дефект типу „обрив штанг”.

5. Встановлено, що внаслідок спіралевидної деформації ШК фактична довжина ходу плунжера змінюється на 10-15см, що може бути виявлено за динамограмою глибинного насоса і запропонований аналітичний вираз для еталонної динамограми нормальної роботи ГНШУ, яка враховує ефект спіралевидності, на підставі чого вдосконалено також алгоритм діагностування ГНШУ за динамограмою шляхом розрахунку міри подібності між експериментальною і еталонними динамограмами різних технічних станів, що дозволяє підвищити достовірність діагностування до 0,96.

6. Відповідно до поставлених вимог і умов експлуатації розроблені:

– функціональна схема системи діагностування ГНШУ, використання якої дозволяє підвищити оперативність і понизити трудомісткість процесу діагностування;

– давач навантаження накладного типу, конструкція якого дозволяє проводити

оперативний монтаж, а закладені схемо-технічні рішення забезпечують отримання абсолютних значень зусилля на полірований шток. Сумарна приведена похибка вимірювального перетворювача давача, складає 1.0%, що відповідає похибці кращих зразків зарубіжних давачів аналогічного типу;

– блок-схема і принципова електричні схеми пристрою обробки вимірювальної інформації, що дозволяє здійснювати із заданою точністю обробку створених алгоритмів діагностування в реальному режимі часу.

7. Запропонована методика і проведений розрахунок показника готовності розробленої системи діагностування ГНШУ, що дозволяє визначити оптимальний період діагностування ГНШУ. Показано, що використання розробленого методу контролю стану ШК з урахуванням її спіралевидності, дозволяє підвищити коефіцієнт готовності ГНШУ з 0.93 до 0.973.

8. Проведена апробація вдосконаленого алгоритму діагностування на експериментальних даних, отриманих з свердловин НГДУ «Надвірнанафтогаз». Результати апробації свідчать про підвищення достовірності діагностування до 0.96 внаслідок врахування спіралевидності ШК у викривлених свердловинах.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Хашханов И.Г., Замиховский Л.М. Математическое моделирование нестационарной деформации ГНШУ // 36.: Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. - Вип. 38 (т.8). – Івано - Франківськ, - 2001. - С. 25-27.
2. Хашханов И.Г. Моделирование процесса деформирования штанговой колонны в скважине с криволинейной осью // Измерительная и вычислительная техника в технологических процессах. – 2002. - №2. – С.193-196.
3. Хашханов И.Г. Моделирование процесса колебаний ШГНУ в процессе запуска и в установившемся режиме работы // Методи та прилади контролю якості. – 2003.- №10. - С.97-99.
4. Хашханов И.Г. Моделирование напряженного состояния колонны насосно-компрессорных штанг с учетом винтовой конфигурации оси в прямолинейной скважине // Методи та прилади контролю якості. – Івано-Франківськ. – 2005. - № 15. – С. 8-11.
5. Замиховский Л.М., Евчук О.В., Хашханов И.Г. Исследование влияния спиралевидности штанговой колонны ГНШУ на динамограмму // Восточ.-европ. журнал передовых технологий. – 2007.- №1/2(25). – с.129-130.
6. Замиховский Л.М., Хашханов И.Г. Система диагностирования глубинно-

насосных штанговых установок для добычи нефти.- Восточ.-европ. журнал передовых технологий. - 2007. - № 4/4(28). – С.31-33.

7. Хашханов И.Г., Иванишин В.П. Определение показателя готовности системы диагностирования глубинно-насосных установок для добычи нефти // Методи та прилади контролю та якості. – Івано-Франківськ. - 2007. - №18. – С. 32-35.

8. Замиховский Л.М, Хашханов И.Г. Моделирование процесса деформации штанговой колонны с использованием уравнений теории упругости в перемещениях с учетом криволинейностей // Наукові вісті інституту менеджменту та економіки „Галицька академія”. - Івано-Франківськ. – 2004. – Вип.2(6). - С.223-230.

9. Замиховский Л.М., Хашханов И.Г. Трехмерная модель деформированной колонны насосно-компрессорных штанг с учетом винтовой конфигурации при прямолинейной оси скважины // Сб. науч. статей междунар. межвуз. шк.-семинара “Методы и средства технической диагностики”. Вып. XIX. - Йошкар-Ола, 2002 – С. 120-122.

10. Хашханов И.Г. Математическое моделирование процесса трехмерной деформации штанговой колонны в скважине с криволинейной осью. – Матеріали III-ї наук.-техн. конфер. “Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового устаткування”, 3-6 грудня 2002р., Івано-Франківськ, - с. 123-125.

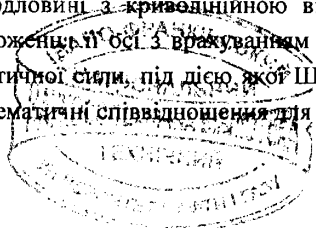
АНОТАЦІЯ

Хашханов І.Г. Контроль технічного стану штангової колони глибинно-насосних установок для видобутку нафти. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, 2007.

Робота присвячена питанням контролю технічного стану ГНШУ, які експлуатуються у викривлених свердловинах та знаходяться під дією комплексу силових чинників. При цьому основна увага приділена вдосконаленню динамометричних методів діагностування ГНШУ.

З цією метою створена узагальнена модель процесу деформування ШК у свердловині з криволінійною віссю, яка базується на відновленні просторового положення ШК осі з врахуванням спіралевидності, встановлена формула для оцінки критичної сили, під дією якої ШК набуває спіралевидну конфігурацію та отримані математичні співвідношення для оцінки зміни довжини колони. На основі створених



моделей вперше розроблено метод контролю ШК, який дозволяє підвищити вірогідність діагностування ГНШУ та прогнозувати дефект типу «обрив штанги».

Встановлено характер зміни форми динамограми внаслідок спіральної деформації ШК, запропоновано аналітичне представлення еталонної динамограми нормальної роботи ГНШУ та вдосконалений алгоритм її діагностування за динамограмою на основі розрахунку міри подібності між експериментальною і еталонними динамограмами різних технічних станів.

Розроблена система діагностування ГНШУ та її основний вузол – давач навантаження накладного типу. Проведено метрологічний аналіз та промислові випробування розробленої системи. Показано, що використання розробленого метода контролю ШК з врахуванням її спіральної деформованості дозволяє підвищити коефіцієнт готовності ГНШУ з 0.93 до 0.97. При цьому показник ефективності розробленої системи діагностування - вірогідність діагностування складає $D=0.96$.

Ключові слова: штангова колона, контроль стану, спіральної форма, модель, моделювання, динамограма, система діагностування, вірогідність.

АННОТАЦІЯ

Хашханов И.Г. Контроль технического состояния штанговой колонны глубинно-насосных установок для добычи нефти. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – приборы и методы контроля и определения состава веществ. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, 2007.

Диссертация посвящена вопросам контроля технического состояния ГНШУ, которые эксплуатируются в искривленных скважинах и находятся под действием комплекса силовых факторов. При этом основное внимание уделяется усовершенствованию динамометрических методов диагностирования.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и приложений.

Обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследований, поданы научная новизна и практическая ценность полученных результатов, отражены основные результаты работы.

Рассмотрено современное состояние вопроса диагностирования ГНШУ, определены причины и факторы, обуславливающие дефекты и отказы ШК, находящейся под действием комплекса силовых факторов, а также проанализированы ее математические модели. Проведен анализ известных методов и средств диагностирования ГНШУ.

Разработаны теоретические предпосылки создания метода контроля состояния ШК – обобщенная математическая модель процесса деформирования ШК в скважине с криволинейной осью, которая базируется на восстановлении пространственного положения ее оси с учетом спиралевидности; установлена формула для оценки критической силы, под действием которой ШК приобретает спиралевидную конфигурацию, которая с достаточной для применений точностью (10–15%) согласуется с известными зависимостями, но имеет более простое математическое выражение с учетом особенности ШК. Получены математические соотношения для оценки изменения длины ШК вследствие приобретения ею спиралевидной конфигурации, оценены характерные величины указанных параметров. Проведено моделирование колебаний ШК в процессе запуска ГНШУ и в установившемся режиме.

На основании созданных моделей впервые разработан метод контроля ШК, который позволяет повысить вероятность диагностирования ГНШУ и прогнозировать дефект типа «обрыв штанги». Установлено, что вследствие спиралевидной деформации ШК фактическая длина хода плунжера изменяется на 10-15 см, что может быть выявлено по динамограмме глубинного насоса.

Исследован характер изменения формы динамограммы вследствие спиралевидной деформации ШК, предложено аналитическое представление эталонной динамограммы нормальной работы ШГНУ и усовершенствован алгоритм ее диагностирования за динамограммой на основании расчета меры подобия между экспериментальной и эталонными динамограммами различных технических состояний, полученными из эталонной динамограммы нормальной работы, учитывающей эффект спиралевидности. Проведенная апробация разработанного метода контроля состояния ШК на нефтепромыслах НГДУ «Надворнаянефтегаз» ПО «Укрнефть» подтвердила его эффективность по сравнению с традиционным динамометрическим методом.

Разработана система диагностирования ГНШУ и ее основной узел – датчик нагрузки накладного типа. Разработаны блок- схема и принципиальная электрическая схема устройства обработки измерительной информации, позволяющего осуществлять с заданной точностью обработку созданных алгоритмов диагностирования в режиме реального времени. Проведен метрологический анализ и промышленные исследования разработанной системы. Показано, что использование разработанного метода контроля ШК с учетом ее спиралевидности позволяет повысить коэффициент готовности ГНШУ с 0.93 до 0.97. При этом показатель эффективности разработанной системы диагностирования

– достоверность диагностирования, достаточно высокий и составляет $D=0.96$.

Ключевые слова: штанговая колонна, спиралевидная форма, контроль состояния, модель, моделирование, динамограмма, система диагностирования, достоверность, готовность.

ABSTRACT

Khaskhanov I.G. The oil production beam pump units bar column technical state control. – Manuscript.

The thesis for the scientific degree of Candidate of Technical Sciences obtaining by the speciality 05.11.13 – “Methods and Devices of Testing and Defining of Matter Composition” – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2007.

The work is dedicated to the questions of beam-pump units technical state control, which are exploited in inclined and incline-directed oil wells and situated under the power factors complex action. The generalized model of beam-pump units deformation process in the oil well with the curvilinear axis is designed based on the reconstruction the spatial state of one’s axis taking to account its heliciformness, the formula for the critical force estimation is given, the action of this force leads to the receiving of heliciform configuration of the bar column, the mathematical ratio to estimate the changing of the column length is presented. The method of bar column control is made for the first time, it allows to increase the reliability of beam-pump units diagnostics.

The character of dynamometer card changing of shape as the sequent of heliciform deformation of bar column is defined, the analytical presentation of the standard dynamometer card of the normal state of bar column is suggested both with the improved algorithm of one’s diagnostics using dynamometer card based on the similarity measure between the experimental and standard dynamometer card of the different technical states calculation.

The system of diagnostics for the beam-pump units and one’s main component – the loading sensor of the plated type. The metrological analysis is made both with the industrial testing of presented system. The using of presented method of control of the bar column taking to account the heliciform of axis allows to increase the readiness coefficient from 0.93 to 0.97. The reliability of diagnostics is high enough and equal to $D=0.96$.

Key words: bar column, state control, heliciform, model, modelling, dynamometer card, the system of diagnostics, reliability.