

Висновки. Резюмуючи наведені вище викладення, необхідно наголосити, що адекватність математичної моделі нелінійної оброблювальної вібраційної системи з дебалансним приводом та пружинною підвіскою підтвердилась – її можна застосовувати для відображення динаміки нелінійної оброблювальної механічної системи впродовж усього часового інтервалу її функціонування. Модель подана у вигляді сукупності нелінійних диференціальних рівнянь, що зведені до стандартизованого вигляду. Виконана оцінка аналітичних розв'язків цієї системи підтвердила їхню стійкість на всьому часовому інтервалі, а відповідно і адекватність самої побудованої моделі. Цей підхід можна застосовувати під час дослідження широкого класу нелінійних оброблювальних механічних систем.

1. Stotsko Z.A., Sokil B.I., Topilnytskiy V.H. *Intensification of processes of strengtening machine parts by volumetric vibration treatment, III International Conference Transport Systems Telematics TST'03, 13-15 November 2003, Katowice – Ustron, Poland, s. 73, 493–504.* 2. Митропольский Ю.А. *Нелинейная механика. Одночастотные колебания.* – К.: Ин-т математики НАН Украины, 1997. – 385 с. 3. Каннингхэм В. *Введение в теорию нелинейных систем.* – Л.: ГОСЭНЕРГОИЗДАТ, 1962. – 456 с.

УДК 622.242:534-16

Є.В. ХАРЧЕНКО, А.В. ГУТИЙ, Я.В. ГРЕНЬ*

Національний університет “Львівська політехніка”,
79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12
кафедра опору матеріалів,
*кафедра автоматизації теплових та хімічних процесів

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ВИВІЛЬНЕННЯ ПРИХОПЛЕНОЇ КОЛОНИ ТРУБ

© Харченко Є.В., Гутий А.В., Грень Я.В., 2008

Досліджено динамічні процеси, що відбуваються під час вивільнення прихопленої колони труб, на експериментальній установці. Описано конструкцію і принцип роботи цієї установки. Наведені результати експериментальних досліджень динаміки вивільнення прихопленої колони труб.

Explored dynamic processes which take place during freeing of the grabbed column of pipes, on the experimental setting. A construction and principle of work of this setting is described. The results of experimental researches of dynamics of freeing of the grabbed column of pipes are resulted.

Постановка проблеми і аналіз останніх досліджень. Буріння свердловин є важливим процесом у нафтогазовій промисловості. Цей процес виконують за допомогою бурових комплексів. Їх проектують із забезпеченням високої уніфікації вузлів та агрегатів, створюючи сприятливі умови для добору раціональних параметрів бурових установок, їх транспортування, монтажу, обслуговування і ремонту. Обґрунтування технічних характеристик агрегатів і несівних конструкцій бурових установок необхідно здійснювати на основі детального вивчення не тільки експлуатаційних, а й аварійних режимів роботи машин.

Найпоширенішим і найскладнішим видом аварій в бурінні є прихоплення колони труб у свердловині. Для вивільнення прихопленої колони на практиці застосовують різноманітні методи [2, 4-6, 8, 9]. Одним із найпоширеніших з них можна вважати метод ударної дії на прихоплену частину колони за допомогою гідравлічного ударного механізму. Цей механізм встановлюють над зоною прихоплення між вільною і прихопленою частинами колони. Потім сумісною дією приводу бурової установки і ударного механізму, створюють ударні навантаження на нижню частину колони з прихопленою ділянкою і поступово вивільняють цю частину.

Оскільки ліквідація прихоплення супроводжується інтенсивними динамічними явищами, особливого значення набувають дослідження впливу коливальних процесів на навантаження деталей та вузлів нафтопромислових машин. Вивільнення прихопленої колони труб за допомогою ударних механізмів належать до найнесприятливіших (екстремальних) режимів роботи бурових установок. Динамічні явища, які виникають під час ліквідації таких аварій в бурових установках, здебільшого вивчають за допомогою математичного моделювання [1, 3, 7, 10-14].

Формулювання мети досліджень. Метою статті було експериментальне визначення часових залежностей внутрішньої поздовжньої сили у верхньому крайньому перерізі колони та у перерізі, що знаходиться безпосередньо біля зони прихоплення, під час вивільнення колони методом ударної дії. Дослідження виконують за допомогою фізичного моделювання механічної системи прихопленої колони труб з ударним механізмом.

Опис експериментальної установки. Експериментальна установка, елементи якої зображені на рис. 1, об'єднує модель колони у вигляді вертикально встановленої сталевий струни, нижню упорну частину (рис. 1, а) та верхню натягувальну частину (рис. 1, б).

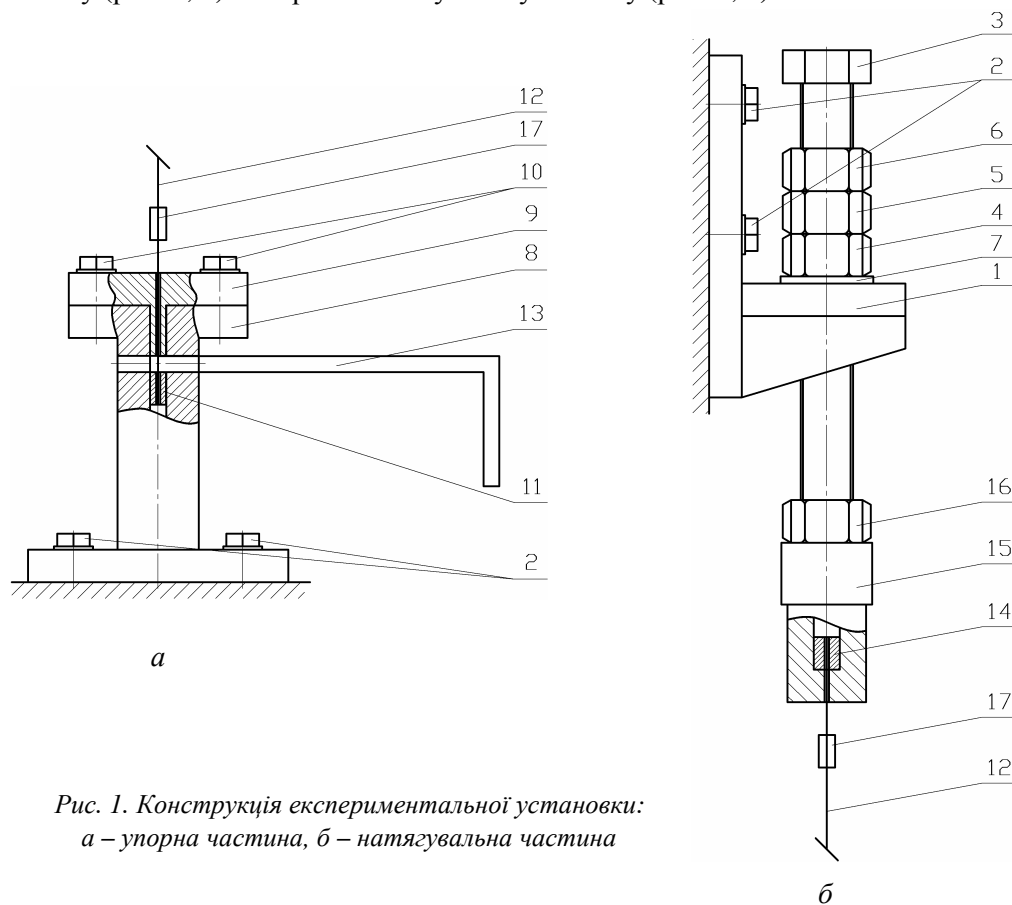


Рис. 1. Конструкція експериментальної установки:
а – упорна частина, б – натягувальна частина

Нижня упорна частина містить циліндричний корпус 8, який кріпиться до основи за допомогою гвинтів 2, кришку 9, що з'єднується з циліндричним корпусом 8 за допомогою гвинтів 10. У циліндричному корпусі 8 виконаний отвір з вертикальною віссю діаметром, що дорівнює діаметру бойка 11, а в кришці 9 – отвір діаметром, що дорівнює діаметру струни 12. Крім того, у циліндричному корпусі 8 виконані горизонтальні отвори для встановлення фіксатора 13, який має Г-подібну форму і виконаний зі стрижня круглого перерізу.

Верхня натягувальна частина складається з кронштейна 1, прикріпленого до основи за допомогою гвинтів 2, болта 3 з гайками 4, 5, 6 і шайбою 7. У кронштейні 1 виконаний отвір з вертикальною віссю для встановлення болта 3.

Упорна та натягувальна частини установки кріпляться вертикально так, щоб їхні осі збігалися, тобто, щоб струна 12 завдовжки 5 м, змонтована на установці, приймала вертикальне положення.

До нижнього кінця струни 12 перед її монтажем прикріплюємо бойок 11. Після цього пропускаємо струну 12 через центральний отвір у кришці 9 так, щоб нижня поверхня кришки 9 була обернена до бойка 11. Верхній кінець струни 12 пропускаємо через центральний отвір у переходнику 15 і прикріплюємо до нього циліндрик 14. На відстані 10 см від обох кінців струни 12 наклеюємо тензодавачі 17.

Підготувавши описаним способом модель колони, складаємо установку. Бойок 11 встановлюємо в центральний отвір циліндричного корпусу 8, після чого кришку 9 прикріплюємо до циліндричного корпусу 8 гвинтами 10. Встановлюємо фіксатор 13 в бічний отвір циліндричного корпусу 8, фіксуючи бойок 11 в порожнині циліндричного корпусу 8 на відстані 5 мм від нижнього торця кришки 9. Отже, вільний хід бойка 11 задаємо таким, що дорівнює 5 мм. Верхній кінець струни 12 за допомогою переходника 15 і контргайки 16 з'єднуємо з встановленим в отвір кронштейна 1 болтом 3. Вибираємо зазор між бойком 11 і нижнім торцем кришки 9 за допомогою гайки 4 і болта 3, після чого фіксуємо положення болта 3 за допомогою гайок 5 і 6. Натяг струни 12, якою моделюється бурильна колона, створюється прокручуванням гайки 4 щодо болта 3 і контролюється вимірюванням зазору між гайками 4 і 5.

Часові залежності внутрішніх поздовжніх сил у струні 12 визначаємо так. Спочатку за допомогою гайки 4 і болта 3 натягуємо струну 12 силою 285,012 Н, що відповідає абсолютному видовженню струни 12 6 мм. Після цього виймаємо фіксатор 13 з циліндричного корпусу 8, внаслідок чого бойок 11 вивільняється і за рахунок скорочення пружно натягнутої струни 12 приводиться в рух. Набуваючи певної швидкості, бойок 11 наносить удар по нижньому торцю кришки 9.

Часові залежності внутрішніх поздовжніх сил, що виникають у поперечних перерізах струни 12, записуємо на персональний комп'ютер. Для цього застосовуємо тензорезистори, зібрані у вигляді мостової схеми, диференційний вимірювальний перетворювач з підсилювачем сигналів. Схема одного з двох ідентичних каналів показана на рис. 2. Сигнал з підсилювача перетворюємо в цифрову форму за допомогою 16-розрядного аналого-цифрового перетворювача з частотою 60 кГц/канал. Значення напруги переводяться в переміщення програмними засобами відповідно до градуовальної характеристики, показаної на рис. 3.

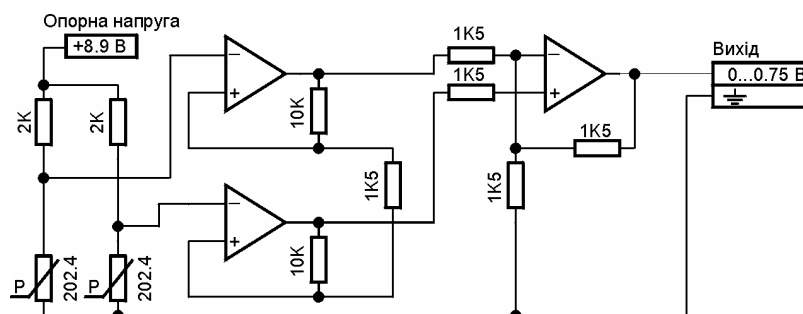


Рис. 2. Принципова схема вимірювального перетворювача

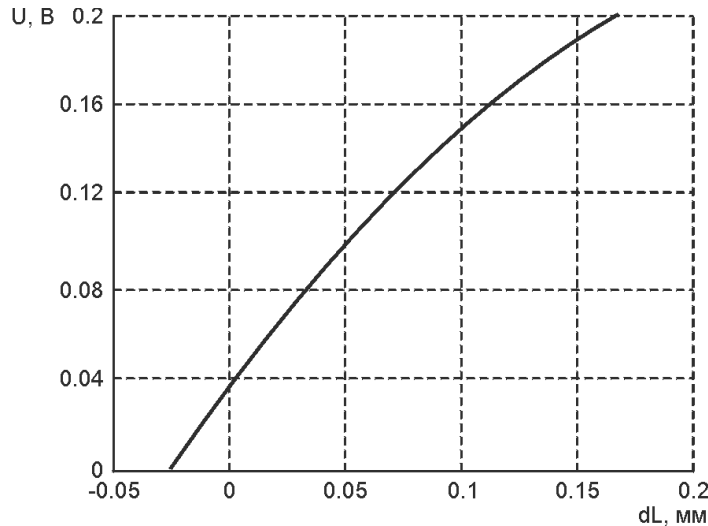


Рис. 3. Градувальна характеристика вимірювального перетворювача

Результати експериментальних досліджень динаміки вивільнення прихопленої колони труб. Розглянемо динамічні явища, що виникають під час вивільнення моделі прихопленої колони експериментальної установки. Параметри реальної системи та її моделі наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Параметри реальної системи та її моделі

Параметр	Позначення	Розмірність	Значення параметра для реальної системи	Масштаб		Значення параметра для моделі
				Формула	Значення	
Модуль пружності	E	Па	$2,1 \cdot 10^{11}$	$\mu_E = \mu_m / (\mu_l^2 \cdot \mu_t)$	1	$2,1 \cdot 10^{11}$
Густина матеріалу	ρ	кг/м ³	9066	$\mu_\rho = \mu_m / \mu_l^3$	1	9066
Площа поперечного перерізу колони	A	м ²	$590 \cdot 10^{-6}$	$\mu_A = A / A_{\text{мод}} = \mu_l^2$	521,675	$1,131 \cdot 10^{-6}$
Довжина колони	l	м	114,2	$\mu_l = \sqrt{\mu_A}$	22,84	5
Маса бойка	m	кг	20	$\mu_m = \mu_\rho \cdot \mu_l^3 = \mu_l^3$	$1,192 \cdot 10^4$	$1,678 \cdot 10^{-3}$
Хід бойка	Δ	м	$114,2 \cdot 10^{-3}$	$\mu_\Delta = \mu_l$	22,84	$5 \cdot 10^{-3}$

Натяг струни, якою моделюється колона, здійснювали силою 285,012 Н, що забезпечує абсолютне видовження 6 мм. Хід бойка приймали таким, що дорівнює 5 мм.

На рис. 4, 5 показані часові залежності внутрішніх поздовжніх сил у нижньому та верхньому поперечному перерізах струни (сили удару). Як видно з графіка, зображеного на рис. 4, у нижньому перерізі струни ділянка графіка на проміжку близько 0,004 с відповідає попередньому натягу струни. У момент вивільнення бойка, а саме після 0,004 с спостерігається різке падіння внутрішньої сили в струні до величини, що дорівнює залишковому натягу. Протягом невеликого проміжку часу бойок переміщується догори. У момент дотику бойка з кришкою циліндричного корпусу упорної

частини установки внутрішня поздовжня сила у нижньому поперечному перерізі струни починає стрімко зростати. Найбільших значень вона набуває протягом першого і другого періодів коливань.

На графіку, зображеному на рис. 5, видно деяке зміщення кривої внутрішньої поздовжньої сили в струні по часу порівняно з графіком, зображеним на рис. 4. У верхньому поперечному перерізі струни (рис. 5) момент вивільнення бойка настає на проміжку часу близько 0,005 с, тобто на приблизно 0,001 с пізніше, ніж у нижньому поперечному перерізі (рис. 4). Саме за цей проміжок часу відбувається поширення поздовжньої хвилі пружних деформацій у струні від нижнього кінця струни до верхнього. Хвиля доходить від нижнього кінця струни до верхнього приблизно за 0,001 с.

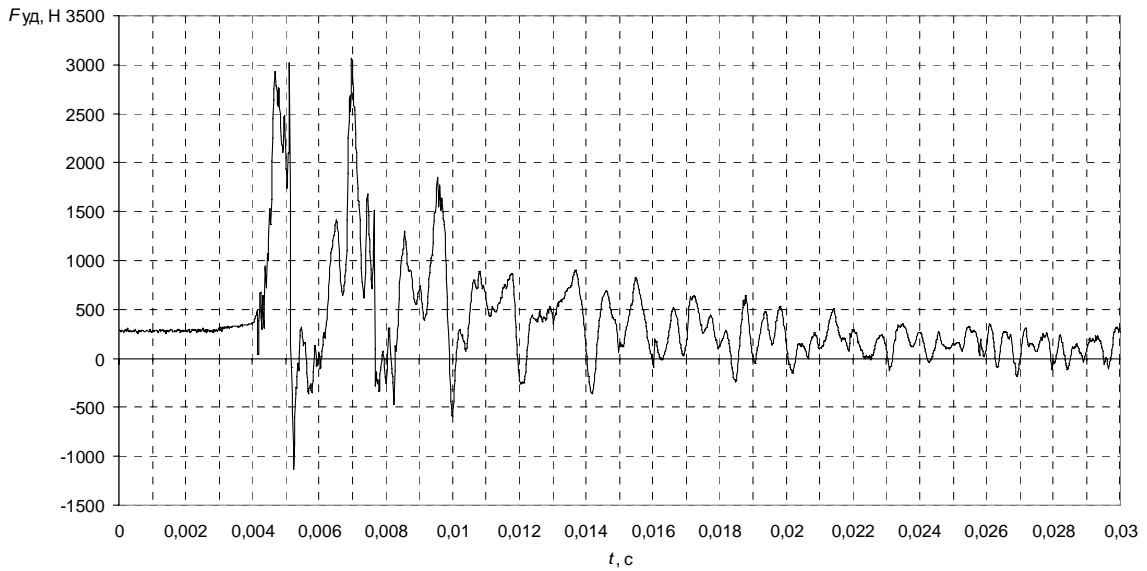


Рис. 4. Часова залежність внутрішньої сили у нижньому поперечному перерізі струни

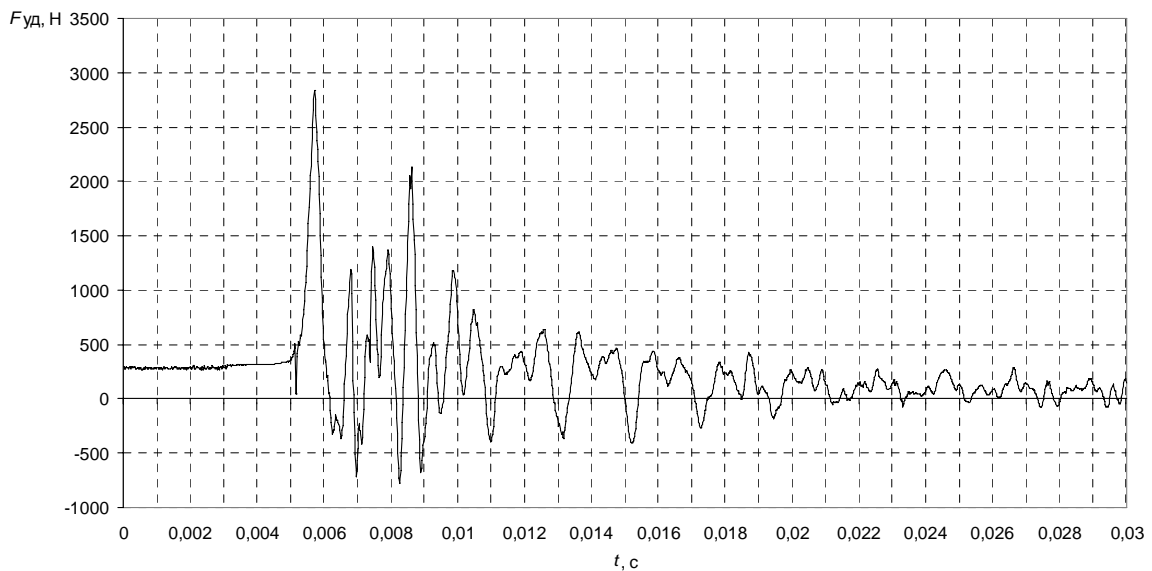


Рис. 5. Часова залежність внутрішньої сили у верхньому поперечному перерізі струни

Як показують отримані графічні залежності (рис. 4, 5), внутрішня сила у нижньому перерізі струни набуває більших значень, ніж у верхньому.

У табл. 2 наведені максимальні значення внутрішньої поздовжньої сили (сили удару) в струні (моделі колони труб) на основі експериментальних досліджень динаміки вивільнення прихопленої колони.

Таблиця 2

Максимальні значення внутрішньої поздовжньої сили в струні

Сила натягу, Н	Максимальні значення сили удару, Н (нижній давач)		
	протягом першого періоду коливань	протягом другого періоду коливань	протягом третього періоду коливань
285,012	3022,849148	3036,838487	1826,74788
	Максимальні значення сили удару, Н (верхній давач)		
	протягом першого періоду коливань	протягом другого періоду коливань	протягом третього періоду коливань
	2841,189624	2128,980263	1176,054516

Висновки. 1. Внутрішня сила в колоні під час ліквідації прихоплення за допомогою методу ударної дії набуває найбільших значень протягом першого і другого періодів коливань.

2. Ефективність вивільнення прихопленої колони покращується із зменшенням відстані між ударним механізмом і зоною прихоплення.

3. Рекомендується встановлювати ударні механізми якомога ближче до зони прихоплення колони.

1. Динамика несущих конструкций буровых установок/Калинин С. Г., Харченко Е. В. – Львов: Вища шк. Изд-во при Львов. ун-те, 1988. – 144 с. 2. Дудля Н. А. и др. Аварии при бурении скважин: Учебник/Н. А. Дудля, Тайнин Янь, А. Я. Третяк. – Днепропетровск: Нац. горный ун-т, 2005. – 287 с. 3. Калинин С. Г. Динамика подъемной системы буровых установок. – Львов: Вища школа. Изд-во при Львов. ун-те, 1975. – 160 с. 4. Коломоец А. В. Предупреждение и ликвидация прихватов в разведочном бурении. – М.: Недра, 1985. – 220 с. 5. Кулиев Р. И., Алиев Р. Т., Алескерев В. Ф. и др. Анализ причин и условий возникновения прихватов бурильного инструмента и обсадных колонн//Известия вузов. Нефть и газ, – 1991. – № 7. – С. 15–19. 6. Мислюк М. А. та ін. Буріння свердловин: Довідник: У 5-ти т. Т. 5: Ускладнення. Аварії. Екологія/М. А. Мислюк, І. Й. Рибчич, Р. С. Яремійчук. – К.: Інтерпрес ЛТД, 2004. – 373 с. 7. Огородников П. И., Світлицький В. М., Малярчук Б. М., Мельник М. П. Теоретичні передумови вивчення коливальних процесів під час ліквідації прихопленя у бурильній колоні // Нафтова і газова промисловість, – 2005. – № 4. – С. 9–11. 8. Пустовойтенко И. П. Предупреждение и методы ликвидации аварий и осложнений в бурении. – М.: Недра, 1987. – 237 с. 9. Самотой А. К. Прихваты при бурении скважин. – М.: Недра, 1984. – 205 с. 10. Харченко С. В., Гутий А. В. Дослідження динаміки вивільнення прихопленої колони труб // Технічні вісті. – 2007. – № 1(25), 2,(26). – С. 28-32. 11. Харченко С. В., Гутий А. В. Обґрунтування раціональних параметрів процесу вивільнення прихопленої колони труб за допомогою гідравлічного ударного механізму // Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2007. – № 583. – С. 81–89. 12. Харченко Е. В. Динамические процессы буровых установок. – Львов: Світ, 1991. – 176 с. 13. Харченко Е. В. Расчет динамических процессов при ликвидации прихватов в бурении//Известия вузов. Нефть и газ, – 1987. – №5. – С. 19–24. 14. Юртаев В. Г. Динамика буровых установок. – М.: Недра, 1987. – 155 с.