

ОПТИМАЛЬНА ЕНЕРГООЗБРОЄНІСТЬ УСТАНОВОК ДЛЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО ТА ГЛИБОКОГО РОЗВІДУВАЛЬНОГО БУРІННЯ

Ю.В. Міронов, О.Г. Микитенко

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42195,
e-mail: public@nimg.edu.ua

Створено вибірку паспортних технічних показників сучасних серійних комплектних установок для експлуатаційного і глибокого розвідувального буріння. Розраховано показники питомої енергоозброєності. Для визначення потужності головних приводів застосований метод статистичного аналізу. Одержано емпіричні залежності між показниками призначення та показниками енергоозброєності. Результати дослідження можуть бути застосовані в кваліметрії, проектуванні та стандартизації.

Ключові слова: бурові установки, головний привод, параметри

Создана выборка паспортных технических показателей современных серийных комплектных установок для эксплуатационного и глубокого разведочного бурения. Вычислены показатели удельной энергооборуженности. Для определения мощности главных приводов применен метод статистического анализа. Получены эмпирические зависимости мощности главного привода от показателей назначения. Результаты исследования могут найти применение в кваліметрии, проектировании и стандартизации.

Ключевые слова: буровые установки, главный привод, параметры

The sample of serial modern drilling rig's performances: main drive power, drilling depth and static hook capacity was created. The indexes of specific installed power are calculated. His statistic analysis is accomplished. The fitted equation describing power-depth and power-capacity relations are obtained. They are useful and applicable in quality metering, engineering and standardization.

Keywords: drilling rig, main power drive, performance

Вибір головного привода: його типу, компоновки і параметрів створює суттєвий вплив на технічний рівень, ефективність та конкурентоспроможність бурової установки загалом. Від нього залежать автономність, продуктивність праці, енергоспоживання та економічність, ціна та витрати на утримання, відтак і собівартість метра проходки, витрати на спорудження свердловин.

Приводи із надлишковою встановленою потужністю за інших рівних умов є дорожчими, збільшення їх ціни не окупується зростанням продуктивності бурової установки через численні технологічні, технічні та кінематичні обмеження. Дефіцит встановленої потужності привода сповільнює виконання технологічних операцій, тим самим знижує продуктивність бурової установки, унеможливує буріння у форсованих режимах. З цього випливає існування для бурової установки кожного класу і кожної моделі головного привода із оптимальними показниками. Критеріями оптимуму при виборі приводів можуть слугувати:

- мінімальні енерговитрати на спорудження свердловини;
- мінімум суми експлуатаційних витрат на утримання та коштів на придбання головного привода, віднесеної до його ресурсу;
- мінімальна вартість генерованої приводом енергії за одиницю або в обсязі її споживання на спорудження свердловини.

Проблема оптимізації головних приводів бурових установок є вельми актуальною, част-

кові її розв'язки містяться в багатьох дослідженнях [1-3].

В роботі [3] розглянуто проблему комплектації дизельних, дизельгідролічних та дизель-електричних головних приводів установок для експлуатаційного та глибокого розвідувального буріння на нафту і газ, опрацьовано методику визначення їх потужності та рекомендації стосовно вибору первинних двигунів із високими технічними показниками. Однак, залишилася поза розглядом аналогічна проблема для електричних приводів, якими нині в Україні оснащені майже половину наявного парку комплектних бурових установок та наборів бурових обладнання

Електричний привод в бурових установках має, як правило, індивідуальну компоновку, значно рідше – мішану (спільний привод бурової лебідки і ротора). Тому можливо і коректно застосувати для розв'язку задачі оптимізації параметрів нормативний метод, запозичивши числові значення потужностей зі стандарту [4], але проти застосування такого підходу існує декілька вагомих аргументів:

- стандарт [4] не переглядався від дня затвердження більше 20 років, тому створені за його вимогами установки не відповідатимуть сучасному технічному рівню;
- вже на день затвердження деякі положення стандарту [4] були дискусійними;
- потужності виконавчих органів бурових установок задані в стандарті [4] у невизначеній формі: для підйомного агрегату – в інтервалі можливих значень, для бурових насосів і рото-

ра – обмеженнями по мінімуму та по максимуму відповідно.

Із розгляду основних технологічних операцій спорудження свердловин (СПО, промивання, обертання бурильної колони) з позицій енергоспоживання випливає висновок про існування якщо не функціонального, то кореляційного зв'язку між глибиною свердловини (довжиною і вагою бурильної колони) та споживаною на виконанні операції потужністю, в іншій інтерпретації – між параметрами призначення та енергоозброєності.

Враховуючи недоліки нормативного методу та існування вказаних залежностей прийнято рішення використати для розв'язку поставленої задачі метод статистичного аналізу паспортних показників серійних бурових установок. Такий метод описано в [5], але там його застосовано до бурових установок застарілих моделей та в обмеженій номенклатурі.

Серійні бурові установки пройшли техніко-економічну експертизу на стадії проектування, піддавалися випробуванням і модернізації, витримали конкурентну боротьбу і довели своє роботоздатність досвідом експлуатації, тому їх паспортні дані є адекватною та достовірною інформаційною базою.

На попередньому етапі дослідження вивчено номенклатуру сучасного світового виробництва та зібрано дані про комплектні бурові установки 105 моделей та модифікацій різного конструктивного виконання, виготовлених в Російській Федерації, Румунії та Китайській Народній Республіці. Одним з критеріїв відбору була наявність на ринку та/або перебування в експлуатації. З розгляду виключено бурові установки, виготовлені в США, оскільки вони комплектуються за принципово іншими засадами, а також установки на постійній транспортній базі, для яких критерій енергоозброєності не є визначальним. Узагальнена характеристика створеної вибірки та перелік досліджених установок, які за нормами стандарту [4] належать до 1÷11 класів, наведено в таблиці 1. Для установок кожної моделі і модифікації вписано паспортні значення допустимого навантаження на підйомний гак $P_{дон}$, (кН), сумарної потужності двигунів головного привода $N_{ен}$, (кВт) та умовної глибини буріння $L_{ум}$, (м). Утворена у такий спосіб вибірка не охоплює повної номенклатури виробництва бурових установок в цілому світі, але є достатньо репрезентативною для того, щоб висновки, отримані за результатами її аналізу, можна було б коректно поширити на усю генеральну сукупність.

Попри цілком достатню для досягнення мети дослідження потужність початкової вибірки після її поділу за ознаками типу привода та за класами бурових установок утворені в результаті часткової вибірки є недостатньо репрезентативними. Виходом із ситуації є перехід від абсолютних показників $N_{ен}$, $P_{дон}$, $L_{ум}$ до питомих $N_{ен}/P_{дон}$ та $N_{ен}/L_{ум}$, разом із відмовою від

поділу за виробниками він дав змогу за ознакою типу привода остаточно створити чотири двовимірні вибірки: $N_{ен}/P_{дон}$, $P_{дон}$ та $N_{ен}/L_{ум}$, $L_{ум}$, піддані математичні обробці, в якій $P_{дон}$ та $L_{ум}$ розглядалися як аргументи, а $N_{ен}/P_{дон}$ та $N_{ен}/L_{ум}$ – як їх функції.

Статистичним та регресійним аналізом вибірок вихідної інформації віднайдено параметри їх розподілів та апроксимуючі рівняння емпіричних залежностей $N_{ен}/L_{ум} = f_1(L_{ум})$, $N_{ен}/P_{дон} = f_2(P_{дон})$ (табл. 2, 3).

Графічне представлення вихідних даних та апроксимуючих функцій $N_{ен}/L_{ум} = f_1(L_{ум})$, $N_{ен}/P_{дон} = f_2(P_{дон})$ для приводів різних типів подано на рисунках 1 та 2. Абсциси графіків $N_{ен}/L_{ум} = f_1(L_{ум})$, $N_{ен}/P_{дон} = f_2(P_{дон})$ градуировано за стандартом [4], на рисунку 1 абсцису обрізано через відсутність серійних установок 12-го класу.

При детальному розгляді апроксимуючих рівнянь (1-8) стає очевидним, що більшість з них є двочленом, який складається з константи та функції аргументів, причому множники при останніх (до 10^{-13}) вказують на несуттєвість його впливу на загальні величини. Описані особливості вказують на можливість застосування теорій випадкових величин, як математичного апарату дослідження.

Дані в таблицях 2 і 3 є підставою для важливого висновку. З очевидних логічних міркувань є очевидним, що найбільші значення $N_{ен}$ та $N_{ен}/P_{дон}$, $N_{ен}/L_{ум}$ повинні би бути властивими для установок з електроприводом через його індивідуальну компоновку, дещо менші – для установок з дизельгидравлічним приводом в груповій компоновці через малий ККД трансмісії, найменші – для установок з дизельмеханічним приводом. Однак одержані результати (числа в стовпчиках 2-4 таблиць 2, 3) не підтверджують наведених співвідношень, чому є два пояснення:

- відсутність чітких наукових засад призначення параметрів головних приводів бурових установок та потреба в проведенні глибоких досліджень відповідного спрямування;

- недостатня номенклатура первинних двигунів для комплектації ними головних приводів бурових установок та потреба в розширенні номенклатури їх виробництва та відповідного параметричного ряду.

Результати проведеного дослідження можуть бути корисними в проектуванні головних приводів бурових установок, їх кваліметрії та розробленні нового стандарту на їх основні параметри на заміну стандарту [4].

Таблиця 1 – Вихідна інформація: склад і характеристики вибірки розглянутих моделей бурових установок

Виробник, країна	Тип привода	Число моделей	Технічні показники			Розглянуті моделі бурових установок
			1)	2)	3)	
1	2	3	4	5	6	7
1 УЗТМ, ПГ «Генерація» РФ	Е	6	3200... 8000	2000... 5000	2100... 5600	БУ 5000/320 ЭР; БУ 5000/450 ЭР-Т; БУ 6500/400 ЭР; БУ 8000/500 ЭР; БУ 3200/200 ЭУК-2М2; БУ 5000/320 ЭУК-Я
	ДГ	4	3200... 6500	2000... 4500	1395... 2790	БУ 3200/200 ДГУ-1; 4000/250 ДГУ-Т; БУ 5000/320 ДГУ-1; БУ 6500/450 ДГ
	ДЕ	6	5000... 8000	3200... 6000	3000... 5000	БУ 5000/320 ДЭР; БУ 5000/450 ДЭР-Т; БУ 6500/400 ДЭР; БУ 6500/400 ЭР; БУ 8000/500 ДЭР; БУ 8000/600 ДЭР
2 ВЗБТ, РФ	Е	9	1600... 3900	1000... 2250	1315... 3150	БУ 1600/100 ЭУ; БУ 2000/125 ЭП; БУ 2500/160 ЭП; БУ 2900/175 ЭПБМ; БУ 2900/175 ЭП; БУ 2500/160 ЭПК; БУ 2900/175 ЭПК; БУ 2900/200 ЭПКБМ; БУ 3900/225 ЭПКБМ
	ДГ	3	1600... 4000	1000... 2500	494... 1850	БУ 1600/100 ДГУ; БУ 2500/160 ДГУ-М; БУ 4000/250 ДГУ-Т
	ДЕ	11	2000... 5000	1250... 3200	1260... 3000	БУ 2000/125 ДЭП; БУ 2500/160 ДЭП-1; БУ 2900/175 ДЭП-2; БУ 2900/175 ДЭП-3; БУ 2900/175 ДЭП-5; БУ 2900/175 ДЭП-9; БУ 2900/175 ДЭП-12; БУ 2900/200 ДЭП-БМ; БУ 3900/225 ДЭП-БМ; БУ 4000/250 ДЭП-БМ; БУ 5000/320 ДЭП-БМ
3 Уретром, Румунія	Е	24	2900... 12000	1800... 9000	1700... 5700	TD 200 DE; TD 225 DE; TD 250 DE; TD 270 DE; TD 320 DE; TD 400 DE; TD 450 DE; TD 500 DE; F650EC; F500EC; F400EC; F320EC; F200EC; TD650-EC; TD450-EC; TD350-EC; TD250-EC; TD200-EC; TD 180 DEC; TD 200 DEC; TD 225 DEC; TD 270 DEC; TD 320 DEC
	ДМ	6	3200... 7200	2000... 4500	2390... 4500	TD 200 DE; TD 250 DE; TD 270 DE; TD 320 DE; TD 400 DE; TD 450 DE
	ДГ	7	2800- 9000	1225... 4890	1310... 2620	TD250-2DH; F200-2DH; F500DH; F400DH; F320DH; F200DH; F125DH
	ДЕ	12	2800... 12000	1225... 9000	1100... 3400	TD650-DEC; TD450-DEC; TD350-DEC; TD250-DEC; F200-DEC; F650 DEC; F500 DEC; F400 DEC; F320 DEC; F200 DEC; F125 DEC
4 Hong Hua, КНР	Е	10	2000... 7000	1350... 4500	1330... 5085	ZJ50D; ZJ70D; ZJ20DBS; ZJ30DBS; ZJ40DBS; ZJ50DBS; ZJ50DBS-L; J70DBS; ZJ20DF; ZJ40DF
	ДМ	1	1500	900	958	ZJ15L
	ДГ	6	2000... 7000	1350... 4500	1474... 3685	ZJ20L; ZJ30L; ZJ50L; ZJ70L; ZJ50L-ZPD; ZJ70L-ZPD

Примітки:

1) тип привода в стовпці 2: ДМ – дизельний із механічними трансмісіями; ДГ – дизельний із гідродинамічними передачами; ДЕ – дизельний із електромашинними передачами постійного і змінного струму;

2) числові значення паспортних показників (стовпці 4, 5, 6): ¹⁾ – умовна глибина буріння $L_{ум}$, м; ²⁾ – допустиме навантаження на: підйомний гак $P_{дон}$, кН; ³⁾ – сумарна потужність двигунів головного привода N_{en} , кВт.

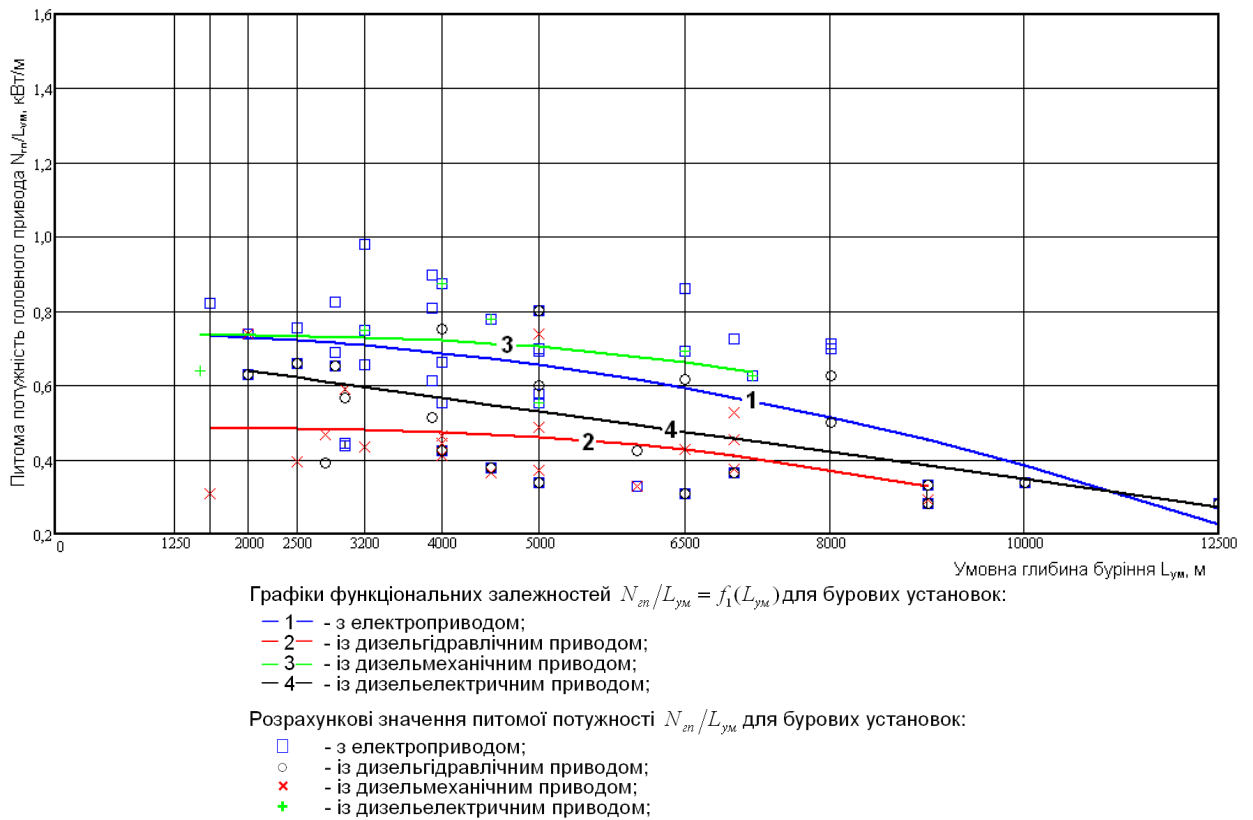


Рисунок 1 – Залежність питомої потужності $N_{en}/L_{ум}$ головного привода бурових установок від умовної глибини буріння $L_{ум}$

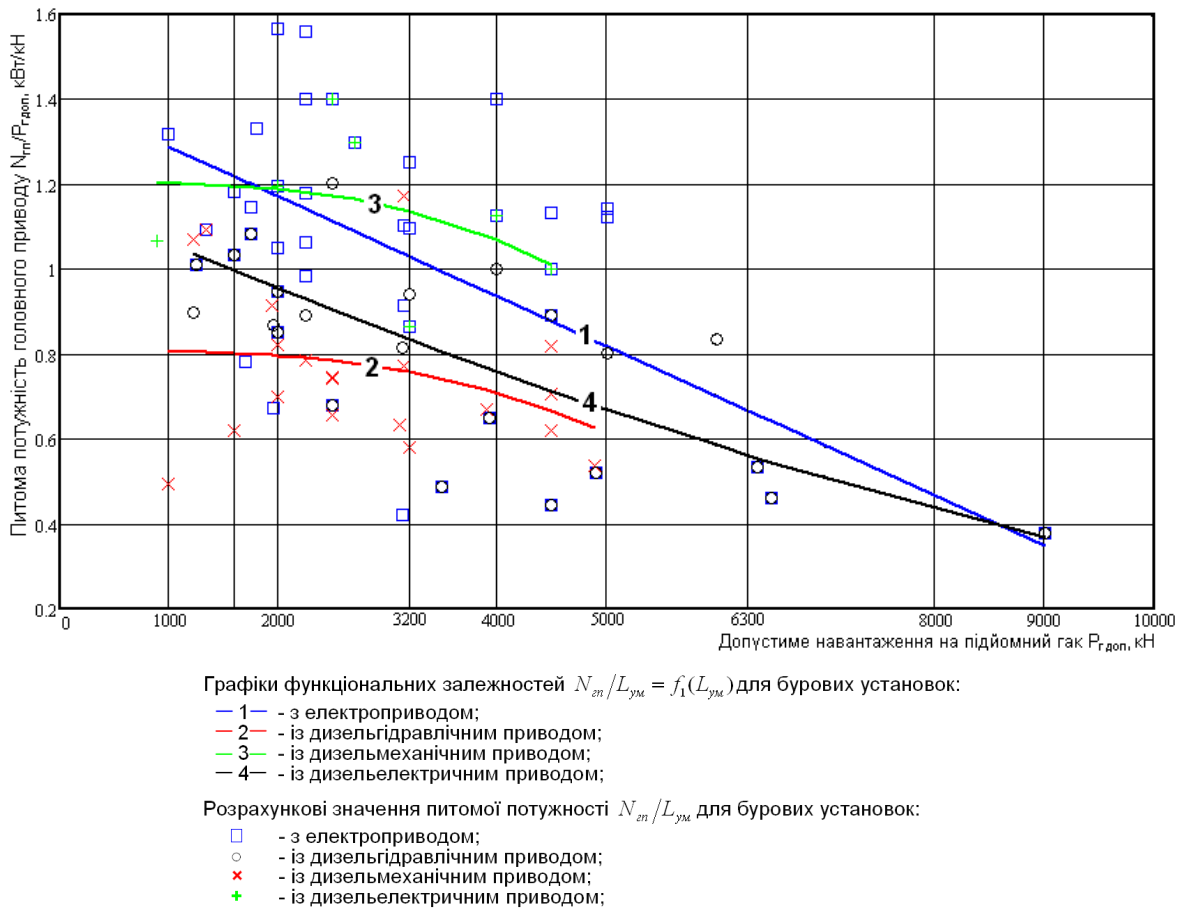


Рисунок 2 – Залежність питомої потужності $N_{en}/P_{2\ доп}$ головного привода бурових установок від допустимого навантаження на підйомний гак $P_{2\ доп}$

Таблиця 2 – Результати дослідження питомої потужності головного привода N_{zn}/L_{ym} від умовної глибини буріння (кВт/м)

Тип головного привода	Екстремуми N_{zn}/L_{ym}		Оцінка $M[N_{zn}/L_{ym}]$	Апроксимуючі рівняння $N_{zn}/L_{ym} = f_1(L_{ym})$
	min	max		
1 Електричний	0,238	0,987	0,644	$N_{zn}/L_{ym} = 0,74 - 3,59 \cdot 10^{-9} \cdot L_{ym}^2$ (1)
2 Дизель-механічний	0,552	1,875	0,701	$N_{zn}/L_{ym} = 0,74 - 2,72 \cdot 10^{-13} \cdot L_{ym}^3$ (2)
3 Дизель-гідролічний	0,291	0,737	0,454	$N_{zn}/L_{ym} = 0,487 - 2,19 \cdot 10^{-13} \cdot L_{ym}^3$ (3)
4 Дизель-електричний	0,238	0,8	0,523	$N_{zn}/L_{ym} = 0,713 - 3,66 \cdot 10^{-5} \cdot L_{ym}$ (4)

Таблиця 3 – Результати дослідження питомої потужності головного привода N_{zn}/P_{zdon} за допустимим навантаженням на гак (кВт/кН)

Тип привода	Екстремуми N_{zn}/P_{zdon}		Оцінка $M[N_{zn}/P_{zdon}]$	Апроксимуючі рівняння $N_{zn}/P_{zdon} = f_2(P_{zdon})$
	min	max		
1 Електричний	0,378	1,565	1,05	$N_{zn}/P_{zdon} = 1,4 - 1,17 \cdot 10^{-4} \cdot P_{zdon}$ (5)
2 Дизель-механічний	0,863	1,4	1,13	$N_{zn}/P_{zdon} = 1,21 - 2,17 \cdot 10^{-12} \cdot P_{zdon}^3$ (6)
3 Дизель-гідролічний	0,494	1,17	0,757	$N_{zn}/P_{zdon} = 0,81 - 1,55 \cdot 10^{-12} \cdot P_{zdon}^3$ (7)
4 Дизель-електричний	0,378	1,2	0,838	$N_{zn}/P_{zdon} = (1,083 - 5,3 \cdot 10^{-5} \cdot P_{zdon})^2$ (8)

Примітка: в таблицях 2, 3 символами $M[N_{zn}/L_{ym}]$ та $M[N_{zn}/P_{zdon}]$ умовно позначено емпіричні оцінки математичних сподівань питомої потужності N_{zn}/L_{ym} та N_{zn}/P_{zdon} відповідно для приводів кожного типу.

Література

1 Клеванский Ф.В. Параметры силовых приводов буровых насосов / Ф.В. Клеванский // Буровые установки Уралмашзавода. – 1975. – Вып. 2. – С. 86-103.
 2 Моцохейн Б.И. Электропривод буровых лебедок / Б.И. Моцохейн, Б.М. Парфенов. – М.: Недра, 1978.
 3 Міронов Ю.В. Оптимальний вибір дизельних двигунів для головного привода бурових установок / Ю.В. Міронов, Saal P. // Нафтогазова енергетика. – 2008. – № 4(9). – С. 57-62.

4 ГОСТ 16293-89 Установки буровые комплекные для эксплуатационного и глубокого разведочного бурения. Основные параметры.
 5 Міронов Ю.В. Дослідження параметрів головного привода установок для експлуатаційного і глибокого розвідувального буріння. – Рук., деп. в ДНТБ України, № 588. – Ук-97, 01.12.97.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
 05.07.11
 Рекомендована до друку професором
 Ю. Д. Петриною*