

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ПІД ЧАС БУРІННЯ СВЕРДЛОВИНИ

I. I. Чудик

ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727137,
e-mail: chudoman@ukr.net

Розглядаються важливі питання промислового дослідження енергетичних витрат процесу буріння свердловини і апробації науково-методичних основ проектування і вибору оптимальної енергоефективної продуктивності бурового насоса. Охарактеризовано вплив основних техніко-технологічних чинників на енергетичні затрати процесу буріння свердловин роторним способом. Проведено оцінку вартості енергоносіїв при бурінні свердловин роторним способом і визначено їх частку в загальних витратах процесу спорудження гірничої нафтогазової виробки. Визначено коефіцієнти корисної дії по окремих технологічних процесах в порівнянні із загальними енергетичними витратами. Отримано функції енергозатрат процесу буріння свердловини в часі. За величиною витраченої на процес буріння свердловини енергії визначено необхідні і фактичні масові витрати дизпалива, потрібні для забезпечення процесу поглиблення вибою свердловини і виконання спуско-підіймальних операцій. Встановлено ефективність використання режиму промивання свердловини із зменшеною продуктивністю бурового насоса, яка максимально наближена до реальних умов буріння і відображається в зменшенні енергетичних витрат процесу та отриманні кількісно і якісно вищих показників буріння. Теоретичним шляхом отримано величини, які характеризують загальні енергетичні витрати процесу буріння свердловини, в тому числі буріння і спуско-підіймальні операції. На основі їх порівняння визначено загальний коефіцієнт корисної дії процесу поглиблення вибою свердловини і встановлено основні причини надмірних затрат енергії.

Ключові слова: бурильна колона, проектування, сила, вісь, опір, свердловина

Рассматриваются важные вопросы промышленного исследования энергетических затрат бурения скважины и апробации научно-методических основ проектирования и выбора оптимальной энергоэффективной производительности бурового насоса. Охарактеризованы влияние основных технико-технологических факторов на энергетические затраты процесса бурения скважин роторным способом. Проведена оценка стоимости энергоносителей при бурении скважин роторным способом и определено их долю в общих затратах процесса сооружения горной нефтегазовой выработки. Определены коэффициенты полезного действия по отдельным технологическим процессам по сравнению с общими энергетическими затратами. Получены функции энергозатрат процесса бурения скважины во времени. По величине затраченного на процесс бурения скважины энергии определены массовые расходы дизтоплива, необходимые для обеспечения процесса углубления забоя и выполнения спускоподъемных операций. Установлена эффективность использования режима промывки скважины с уменьшенной производительностью бурового насоса, которая максимально приближена к реальным условиям бурения и отражается в уменьшении энергетических затрат процесса и получении количественно и качественно более высоких показателей бурения. Теоретическим путем получены величины, характеризующие общие энергетические затраты процесса бурения скважины, в том числе бурение и спускоподъемные операции. На основе их сравнения определен общий коэффициент полезного действия процесса углубления забоя скважины и установлены основные причины чрезмерных затрат энергии при этом.

Ключевые слова: бурильная колонна, проектирование, сила, ось, сопротивление, скважина

This article deals with important issues of industrial study of well drilling process energy consumption and testing of scientific and methodological fundamentals of design and selection of optimal energy-efficient performance of a mud pump. The influence of the basic technical and technological factors onto the energy consumption of the well rotary drilling process has been characterized. The evaluation of the energy sources cost for rotary drilling method has been done and their share in the total costs of oil and gas borehole drilling has been calculated. The efficiency coefficients of individual production processes in comparison with the overall energy consumption have been determined. The functions of energy consumption of well drilling in time have been obtained. The required and real diesel fuel consumption needed for the processes of bottom-hole deepening and tripping have been calculated in accordance with the value of consumed energy for well drilling. The efficiency of regime for well washing by a reduced mud pump productivity, which is as close as possible to real drilling conditions and which is shown in the energy consumption reduction for the process and obtaining of quantitatively and qualitatively higher drilling indices, has been determined. The values characterizing the overall energy consumption for well drilling process, including drilling and tripping operations, have been obtained by theoretical methods. Based on their comparison the overall efficiency coefficient of the bottom-hole deepening process has been calculated and the main causes of excessive energy consumption have been determined.

Keywords: drill string, designing, force, axis, resistance, well

Вступ. Особливості технології буріння свердловини характеризується певним набором параметрів процесу, якісні та кількісні значення яких підбирають відповідно до гірничо-геологічних умов, технічних характеристик бурової

установки та інших чинників. При цьому, пріоритетними показниками є техніко-економічні показники буріння та енергетичні витрати.

Аналіз передового світового досвіду буріння вказує саме на комплексний характер те-

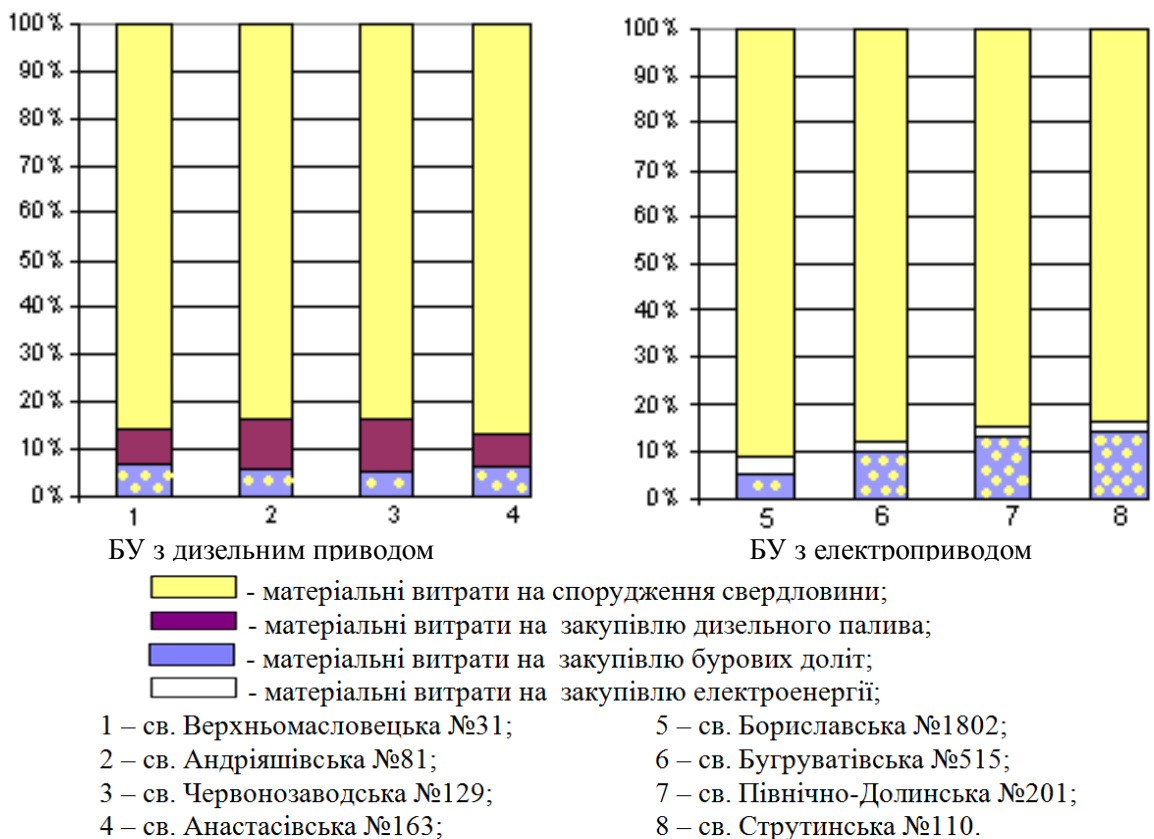


Рисунок 1 – Нормовані діаграми співвідношень витрат на спорудження свердловини, закупівлю енергоносіїв і бурових доліт

нденцій щодо розвитку підходів до енергоефективного спорудження свердловин. Це стосується використання сучасних інноваційних технологій і високопродуктивного бурового інструменту, якісних бурових розчинів, систем контролю і керування процесом буріння.

Високі темпи економічного, науково-технічного та соціального розвитку людства зумовили різке підвищення попиту на нафту та газ і збільшили об'єми їх споживання. Першочергово освоювалися перспективні родовища з великими запасами вуглеводневої сировини, що дозволяло в найкоротші терміни отримати великі дебіти нафти і газу із продуктивних пластів. Економічний розвиток держав, високий рівень споживання нафти і газу поступово призвели до зростання кількості освоєних і вичерпаних нафтогазових родовищ і послабили основу енергетичної безпеки багатьох держав, в тому числі і України. Це призвело до необхідності пошуку джерел поповнення основних енергоресурсів – нафти і газу [1-3].

За таких умов основний нафтогазовидобуток було зосереджено на родовищах суходолу із складними гірничо-геологічними умовами буріння, а також на родовищах в зоні морських акваторій. Останнім часом почали набувати широкого розвитку роботи з вилучення вуглеводнів із дрібних, законсервованих і законсервованих покладів вуглеводнів, а також розпочалася розробка родовищ сланцевого газу і вугільного метану з використанням великої кількості свердловин різних типів профілю.

Актуальність проблеми. У перспективних зонах видобутку нафти і газу, із зовнішнім рельєфом в зоні континентального шельфу, глибоководних морських акваторій і гірської місцевості, в якості енергоносіїв для буріння свердловин використовується переважно дизельне паливо, оскільки подавання електроенергії за таких умов є практично неможливим. На інших територіях суходолу у процесі буріння свердловин використовують бурові установки (БУ) з дизельним, електричним та змішаним видами енергоносіїв.

За годину роботи на БУ споживається в середньому від 80 до 150 літрів дизельного пального або 750-1000 кВт електроенергії [4, 5]. В порівнянні із 70-80 роками минулого століття вартість дизельного палива зростає в 150 раз, а електроенергії – в 15. Така ситуація значною мірою вплинула на механізм формування собівартості метра проходки і, в порівнянні із затратами на обладнання, поставило вартість паливо-мастильних матеріалів і електроенергії (рис. 1) в одну нішу з грошовими витратами на придбання бурових доліт.

Як показано на рис. 1, а) і б), вартість енергоносіїв (на прикладі свердловин пробурених на різних родовищах на території України) складає від 8 до 13,5% від загальної кількості грошових витрат, необхідних для будівництва свердловини з використанням БУ, оснащеної дизельним приводом, і від 2,3 до 8% – для електропривода. При цьому, у першому випадку

Таблиця 1 – Бурове обладнання та інструмент, що використовуються в процесі буріння свердловини

Технологічний процес	Основні елементи технічного оснащення для реалізації процесу буріння
Робота бурового інструменту в свердловині з передачі крутного моменту від ротора до долота	Долото
	Обважені бурильні труби з опорно-центрувальними елементами
	Стиснена і розтягнута частини бурильної колони
	Вертлюг (верхній привод)
Промивання свердловини	Долото
	Буровий насос і його обв'язка
	Звичайні і обважені бурильні труби, кільцевий простір за ними
Руйнування гірської породи	Долото
	Опорно-центрувальні елементи

Таблиця 2 – Чинники енерговитрат процесу буріння свердловини

Технологічний процес	Чинники енергетичних витрат
Обертання БК	Подолання сил тертя БК до стінки свердловини, БР в циркуляційній системі і опорі вертлюга
	Фрезування стінок свердловини опорно-центрувальними елементами
	Коливання БК
Промивання свердловини	Очищення вибою свердловини від шламу та його переміщення на устя потоком БР
	Подолання гідравлічних опорів в елементах циркуляційної системи під час промивання свердловини
	Забезпечення необхідної гідравлічної потужності на долоті
Руйнування гірської породи	Руйнування гірської породи вибою свердловини
	Поздовжні коливання долота
	Фрезування боковою поверхнею долота стінки свердловини
Спуско-підймальні операції	Вилучення бурильної колони із свердловини

вартість дизельного палива перевищує навіть затрати на придбання бурових доліт [4, 5].

Ціль дослідження. Враховуючи вищенаведене, підвищення енергоефективності спорудження нафтогазових свердловин вимагає створення підходу для прогнозування і оцінки енергетичних затрат процесу буріння для подальшого проектування і вибору енергетичних ресурсів, обладнання і режимів його експлуатації за критерієм мінімального енергоспоживання.

Виклад основного матеріалу

Процес буріння свердловини забезпечується одночасним виконанням кількох технологічних операцій, основними з яких є: руйнування гірської породи (ГП) і поглиблення вибою свердловини, його промивання з винесенням шламу на устя [4-6] (табл. 1).

У процесі буріння свердловини роторним способом (верхнім приводом) вибійна потужність генерується у верхній частині бурильної колони (БК) за певного крутного моменту та

кутової швидкості і бурового насоса (БН) у вигляді гідравлічної потужності потоку бурового розчину (БР), який циркулює в свердловині за відповідного тиску і продуктивності. Сучасне бурове і енергетичне обладнання повною мірою забезпечують виконання процесу буріння свердловини, але основна її частина витрачається на подолання тертя БК до стінки свердловини і гідравлічні втрати в елементах циркуляційної системи тощо (табл. 2).

Для визначення фактичних енерговитрат процесу буріння проводився промисловий експеримент на свердловині Славецька-7 в інтервалі буріння 174,6÷301,8 м. Реалізація мети дослідження проводилася в два етапи. На першому етапі, в інтервалі буріння свердловини 174,6÷292,8 м під час промивання свердловини була встановлена подача насоса на вибій величиною 0,03 м³/с (табл. 3). У відповідності до конструкції свердловини і гірничо-геологічних умов в процесі буріння свердловини використовувалися такі долота:

– для буріння під кондуктор діаметром 295,3 мм: III – 295,3 М – ЦВ;

Таблиця 3 – Параметри буріння свердловини під кондуктор під час проведення першого етапу промислового експерименту

Інтервал, м	Параметри режимів буріння					Техніко-економічні показники буріння				
	Осьове навантаження на долото, кН	Частота обертання ротора, с ⁻¹	Продуктивність насоса, м ³ /с	Тиск насоса, МПа	Діаметр втулок, мм	Проходка на долото, м	Тривалість механічного буріння, год	Тривалість проведення СПО, год	Тривалість технологічних простояв, год	Механічна швидкість, м/год
174.6-210.4	7	60	0.03	20-25	140	35.8	15 ⁰⁰	5 ⁰⁰	-	2.38
210.4-292.8						82.4	21 ³⁰	2 ³⁰		3.83

Таблиця 4 – Показники буріння свердловини за результатами проведення другого етапу промислового експерименту

Інтервал, м	Параметри режимів буріння					Техніко-економічні показники буріння				
	Осьове навантаження на долото, кН	Частота обертання ротора, с ⁻¹	Продуктивність насоса, м ³ /с	Тиск насоса, МПа	Діаметр втулок, мм	Проходка на долото, м	Тривалість механічного буріння, год	Тривалість проведення СПО, год	Тривалість технологічних простояв, год	Механічна швидкість, м/год
292.8-301.8	7	60	0.026	20-25	140	9.0	0 ³⁰	8 ¹⁰	-	4.51

– для буріння під експлуатаційну колону діаметром 146 мм: III – 215,9 МС – АУ (діаметр насадок 14; 16; 19 мм).

Дана величина продуктивності бурового насоса ($Q = 0,03 \text{ м}^3/\text{с}$) при встановлених техніко-технологічних і гірничо-геологічних умовах буріння (табл. 1) для встановлення ефективності малолітражного режиму промивання свердловини була примусово завищеною, оскільки:

а) для промивання вибою свердловини достатньою є величина продуктивності бурового насоса $0,026 \text{ м}^3/\text{с}$;

б) для винесення шламу кільцевим простором свердловини із умови недопущення налипання шламу на стінках свердловини достатньою є величина продуктивності бурового насоса $0,025 \text{ м}^3/\text{с}$;

в) для дотримання граничнодопустимієї концентрації частинок шламу у висхідному потоці БР достатньою є величина $0,026 \text{ м}^3/\text{с}$.

На основі встановленого було прийняте рішення про доцільність використання під час наступного добування в інтервалі 292.8-301.8 м продуктивності бурового насоса величиною $0.026 \text{ м}^3/\text{с}$, при якій і було проведено другий етап експериментального дослідження в промислових умовах в інтервалі 292.8-301.8 м. В

результаті було встановлено такі показники буріння (табл. 4).

Під час буріння другого інтервалу довжиною 9 м за тих же геологічних і техніко-технологічних умов механічна швидкість складала 4.51 м/год , що на $39,6\%$ вище швидкості буріння попереднього інтервалу. При цьому тільки під час промивання свердловини було отримано економію 4600 МДж енергії, які визначалися з використанням наступної залежності:

$$A_{оп} = \int_{t_1}^{t_2} N(t) dt, \quad (1)$$

де t_1 і t_2 – час виконання роботи;

$N(t)$ – виробнича потужність БУ в процесі буріння свердловини.

В результаті розрахунку за отриманими даними було визначено величину максимально необхідної потужності для буріння кожного з інтервалів свердловини Славецька-7 для окремих ланок бурового верстата, які беруть участь в процесі буріння (табл. 5) та відсоткове співвідношення кожного із складових величин окремого технологічного процесу в порівнянні із загальним.

Таблиця 5 – Максимально необхідна потужність для буріння свердловини

Глибина свердловини, м	Корисна потужність при роботі різних агрегатів БУ під час поглиблення вибою свердловини, кВт					
	Робота			Тертя в опорі вертлюга	Забезпечення промивання свердловини	Сумарно
	долото	КНБК	БК			
22.7	3.11	0.16	0.03	4.58	18.53	26.41
52.7	3.2	0.16	0.1	4.83	17.07	25.36
105.2	3.8	0.15	0.22	5.17	22.02	31.36
174.6	4.6	0.13	0.56	5.47	27.0	37.76
210.4	4.7	0.13	0.66	5.68	44.92	56.09
292.8	4.8	0.12	0.95	5.89	53.93	65.69
302.0	0.9	0.12	0.10	5.71	55.9	62.73
320.0	4.14	0	0.12	6.06	22.69	33.01
340.0	4.4	0	0.14	6.51	8.53	19.58

Таблиця 6 – Відсоткове співвідношення потужності при роботі різних агрегатів БУ до загальних енерговитрат

Глибина свердловини, м	Робота			Тертя в опорі вертлюга	Забезпечення промивання свердловини
	долото	КНБК	БК		
22.7	11.7	0.6	0.1	17.4	70.2
52.7	12.6	0.6	0.4	19.0	67.4
105.2	12.2	0.4	0.7	16.5	70.2
174.6	12.2	0.3	1.4	14.5	71.6
210.4	8.3	0.2	1.1	10.2	80.2
292.8	7.3	0.2	1.4	9.0	82.1
302.0	1.4	0.2	0.2	9.1	89.1
320.0	12.5	0	0.4	18.4	68.7
340.0	22.5	0	0.7	33.2	43.6

Згідно з даними табл. 3 побудовано графічні залежності зміни в часі максимально необхідної загальної потужності під час буріння свердловини в загальному (рис. 2) та потужностей кожної із супутніх операцій технологічного процесу.

Шляхом апроксимації даних за допомогою редактора електронних таблиць Excel за даними рис. 2 було встановлено математичні залежності з достовірністю $R^2 = 0.948$:

$$N(t_{мб}) = 2 \cdot 10^{-5} t_{мб}^2 \left[10^{-17} t_{мб}^3 - 10^{-11} t_{мб}^2 + 4.510^{-6} t_{мб} - 1 \right] + 1,1709 t_{мб} + 511,58, \quad (2)$$

де H – глибина свердловини.

Згідно із залежністю (2) шляхом інтегрування отримано функцію енергетичних затрат процесу буріння свердловини $E_{ЗАТ}^{БVP}$:

$$E_{ЗАТ}^{БVP}(t_{мб}) = 3.3 \cdot 10^{-23} t_{мб}^6 - 4 \cdot 10^{-17} t_{мб}^5 + 2.25 \cdot 10^{-11} t_{мб}^4 - 6.67 \cdot 10^{-6} t_{мб}^3 + 0,589 t_{мб}^2 + 511,58 t_{мб}. \quad (3)$$

Аналогічно, шляхом математичних розрахунків згідно з [4, 5] було отримано значення енергії, необхідної для поглиблення проектною свердловини (табл. 7).

Енергія, спожита під час проведення СПО, обумовлюється загальною потужністю бурової установки та часом виконання бурових і допоміжних робіт. Основні енергозатрати процесу СПО пов'язані із підніманням бурильного інструменту для заміни долота і визначається за формулами:

$$E_{СПО} = E_{П} + E_{К}, \quad (4)$$

де $E_{П}$ і $E_{К}$ – відповідно потенціальна і кінетична енергії, витрачені на піднімання бурильного інструменту із свердловини.

$$E_{П} = G_{БК} l_{СВ}, \quad (5)$$

де $l_{СВ}$ – довжина однієї свічки БК або висота, на яку піднімається кронблок бурової установки.

$$E_{К} = G_{БК} \left[\frac{g_{П}^2}{2g} \right], \quad (6)$$

де $g_{П}$ – швидкість піднімання бурового інструменту із свердловини;

$G_{БК}$ – сила, яка діє на гак талевої системи під час піднімання бурового інструменту із свердловини і визначається:

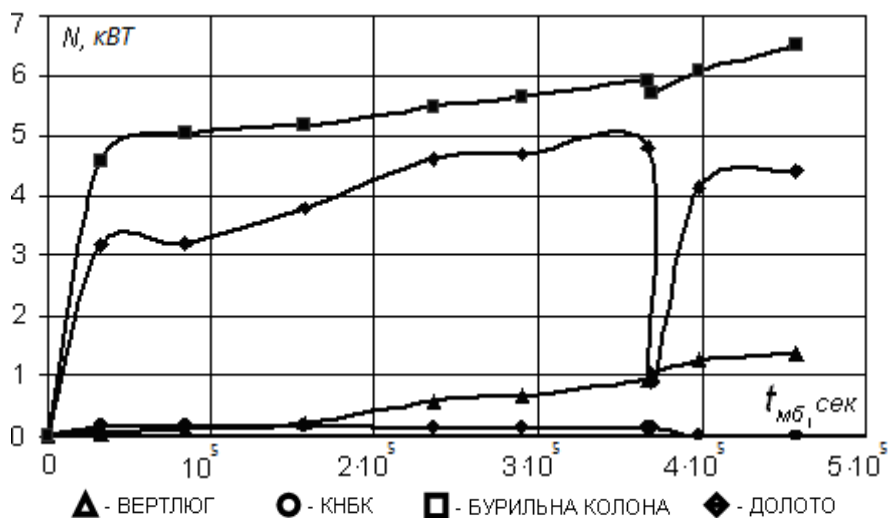


Рисунок 2 – Зміна у часі втрат потужності привода БУ в окремих ланках бурового обладнання

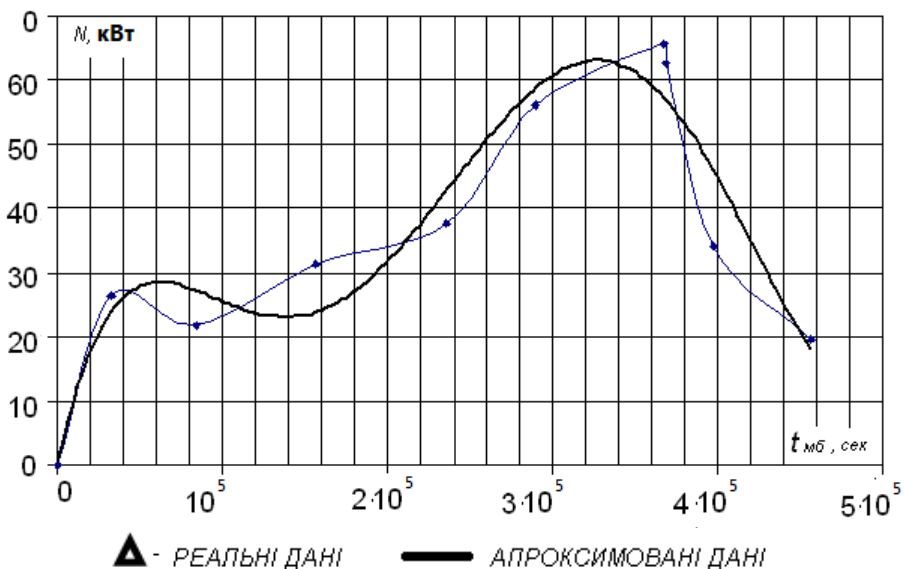


Рисунок 3 – Зміна втрат потужності привода БУ від часу механічного буріння свердловини

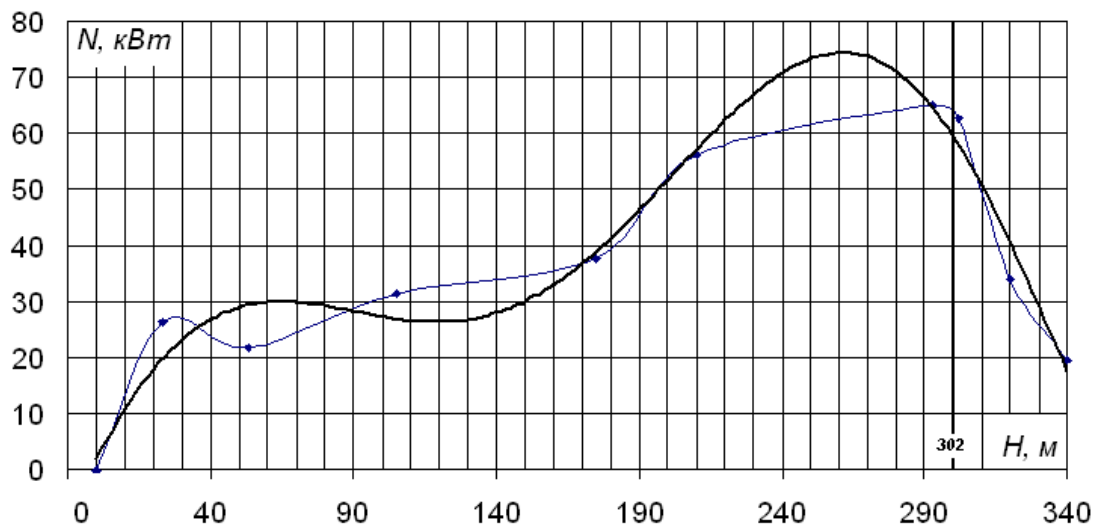


Рисунок 4 – Зміна втрат потужності привода БУ від глибини свердловини

Таблиця 7 – Витрати енергії у процесі буріння свердловини

$H_{CB}, \text{ м}$	t_{MB}		$E_{ЗАТ}^{БУР}, \text{ МДж}$
	год	сек	
22.7	9 ⁰⁰	32400	432
52.7	14 ¹⁵	52300	783
105.2	20 ¹⁵	72900	2024
174.6	22 ⁰⁰	79200	7568
210.4	15 ⁰⁰	54000	7569
292.8	21 ³⁰	77400	10716
301.8	0 ³⁰	1800	192
320.0	8 ⁰⁰	14400	2259
340.0	16 ³⁰	59400	3934
СУМАРНО			35486

$$G_{БК} = \frac{q_{БК}}{2} \left[l_{ВИК} (n_{ВИК} + 1) (\cos \alpha + \mu \sin \alpha) + l_B (n_B + 1) + l_{ПП} (n_{ПП} + 1) \left(\cos \frac{\Delta \alpha}{2} + \mu \sin \frac{\Delta \alpha}{2} \right) \right], \quad (7)$$

де $l_B, l_{ВИК}, l_{ПП}$ – відповідно довжини вертикальної, викривленої і похило-прямолинійної інтервалів буріння свердловини;

$\Delta \alpha$ – зміна зенітного кута в інтервалі викривлення стовбура свердловини;

$n_{ПП}, n_{ВИК}, n_B$ – кількість свічок БК у вертикальній, викривленій і похило-прямолинійній ділянках свердловини.

Кількість теплоти $K_{ДП}$, яка виділяється під час згорання 1 кг дизельного палива становить 40–43.5 МДж. Коефіцієнт корисної дії дизельного двигуна становить $\eta_{ДИЗ} = 38-40\%$, коробки передач зі всіма передавальними ланками від привода до ведучої труби бурильної колони коливається в межах $\eta_{КПП} = 83-90\%$. При цьому кількість енергії, яка передається від двигуна на ведучу трубу при згорянні одного кілограма дизельного палива, становить:

$$E_{ВТ} = K_{ДП} \eta_{ДИЗ} \eta_{КПП} = \quad (8)$$

$$= 41 \cdot 0.38 \cdot 0.85 = 13.2 \text{ МДж}.$$

Сумарні витрати **корисної** енергії у процесі буріння свердловини включаючи СПО становлять.

$$E_{КОР}^{БУР} = E_{КОР}^{СПО} + E_{КОР}^{БУР} = 0.05 \cdot 10^{10} + 3.5486 \cdot 10^{10} \approx 35.5 \text{ НДж}. \quad (9)$$

За величиною витраченої енергії на буріння свердловини встановлено теоретичні масові витрати дизпалива, необхідного для забезпечення процесу поглиблення вибою, СПО і їх сумарну величину:

$$M_{КОР}^{БУР} = \frac{E_{КОР}^{БУР}}{E_{ВТ}} = \frac{3.5486 \cdot 10^{10}}{13.2 \cdot 10^6} = 2687 \text{ кг}; \quad (10)$$

$$M_{КОР}^{СПО} = \frac{E_{КОР}^{СПО}}{E_{ВТ}} = \frac{492.2 \cdot 10^6}{13.2 \cdot 10^6} = 37 \text{ кг}; \quad (11)$$

$$M_{КОР}^{СУМ} = M_{КОР}^{БУР} + M_{КОР}^{СПО} = 2687 + 37 = 2724 \text{ кг}. \quad (12)$$

Проте величина **витраченої** енергії становила:

$$E_{ЗАТ}^{СПО} = K_{ДП} t_{СПО} w_{СПО} \rho_{ДП} = \quad (13)$$

$$= 41 \cdot 10^6 \cdot 0.022 \cdot 850 \cdot 44.91 = 3.44 \cdot 10^{10} \text{ Дж},$$

де $t_{СПО} = 44.91 \text{ год}$ – час підймання бурильної колони;

$w_{СПО} = 0.022 \text{ л/год}$ – середня витрата дизпалива палива при СПО;

$\rho_{ДП} = 850 \text{ кг/м}^3$ – густина дизельного палива.

$$E_{ЗАТ}^{БУР} = K_{ДП} t_{MB} w_{MB} \rho_{ДП} = 41 \cdot 10^6 \cdot 0.038 \cdot 850 \cdot 127 = 1.68 \cdot 10^{11} \text{ Дж}; \quad (14)$$

$$E_{ЗАТ}^{СУУ} = E_{ЗАТ}^{СПО} + E_{ЗАТ}^{БУР} = 3.44 \cdot 10^{10} + 1.68 \cdot 10^{11} = 2.024 \cdot 10^{11} \text{ Дж}. \quad (15)$$

Таблиця 8 – Витрати енергії під час проведення СПО

$H_{CB}, \text{ м}$	$t_{СПО}$		Вага погонного метра БК, Н/м	Довжина свічки, м	Швидкість підймання БК, м/с	$E_{КОР}^{СПО}, \text{ МДж}$		
	год	с						
22.7	1 ⁰⁰	3600	1296	24	1.2	1.388		
52.8	3 ³⁰	12600	1420			6.896		
105.2	3 ¹⁵	11700	724			12.9		
174.6	2 ⁰⁰	7200	591			28.43		
210.4	5 ⁰⁰	18000	529			36.38		
292.8	2 ³⁰	9000	448			59.35		
301.8	8 ¹⁰	29520	442			62.15		
320.0	6 ⁰⁰	21600	431			67.95		
323.6	6 ³⁰	23400	429			69.31		
334.8	2 ⁰⁰	7200	422			72.83		
340.0	5 ⁰⁰	18000	420			74.84		
СУМАРНО						492.2		

За часом механічного буріння свердловини та годинній масовій витраті дизельного пально-го теоретичні витрати енергоносія становлять:

$$M_{ЗАТ}^{БВР} = w_{БВР} t_{МБ} \rho_{ДП} = 0.038 \cdot 127 \cdot 850 = 4102 \text{ кг}; \quad (16)$$

$$M_{ЗАТ}^{СПО} = w_{СПО} t_{СПО} \rho_{ДП} = 0.022 \cdot 44.91 \cdot 850 = 840 \text{ кг}; \quad (17)$$

$$M_{ЗАТ}^{СУУ} = M_{ЗАТ}^{БВР} + M_{ЗАТ}^{СПО} = 4102 + 840 = 4942 \text{ кг}; \quad (18)$$

$$\frac{M_{КОР}^{СУУ}}{M_{ЗАТ}^{СУУ}} \cdot 100\% = \frac{2719}{4942} \cdot 100\% = 55\%. \quad (19)$$

За сумарними величинами спожитої $E_{ЗАТ}^{СУУ}$ і корисної $E_{КОР}^{СУУ}$ енергій в процесі буріння свердловини встановлено ККД по кожному із технологічних процесів:

СПО:

$$\eta_{СПО} = \frac{E_{КОР}^{СПО}}{E_{ЗАТ}^{СПО}} \cdot 100\% = \frac{0.04922 \cdot 10^{10}}{3.44 \cdot 10^{10}} \cdot 100\% = 1.43\%. \quad (20)$$

Буріння:

$$\eta_{БВР} = \frac{E_{КОР}^{БВР}}{E_{ЗАТ}^{БВР}} \cdot 100\% = \frac{0.355 \cdot 10^{11}}{1.68 \cdot 10^{11}} \cdot 100\% = 21.1\%. \quad (21)$$

Сумарно:

$$\eta = \frac{E_{КОР}^{СУУ}}{E_{ЗАТ}^{СУУ}} \cdot 100\% = \frac{3.583 \cdot 10^{10}}{2.024 \cdot 10^{11}} \cdot 100\% = 17.7\%. \quad (22)$$

Процентні відношення витрат енергії двох технологічних процесів (СПО і механічного буріння) становлять:

корисна:

$$\frac{E_{КОР}^{СПО}}{E_{КОР}^{БВР}} \cdot 100\% = \frac{0.04922 \cdot 10^{10}}{0.355 \cdot 10^{11}} \cdot 100\% = 1.38\%; \quad (23)$$

витрачена:

$$\frac{E_{ЗАТ}^{СПО}}{E_{ЗАТ}^{БВР}} \cdot 100\% = \frac{3.44 \cdot 10^{10}}{1.68 \cdot 10^{11}} \cdot 100\% = 20.4\%. \quad (24)$$

Висновки

1. Встановлено ефективність використання режиму промивання свердловини із зменшеною продуктивністю бурового насоса (максимально наближеною до реальних умов буріння), яка відображається в зменшенні енергетичних витрат процесу і отриманні кількісно і якісно вищих показників буріння.

2. Теоретичним шляхом отримано величини, які характеризують загальні енергетичні витрати процесу буріння свердловини, в тому числі буріння і СПО. На основі їх порівняння визначено, що загальний ККД процесу поглиблення вибою свердловини становив 17,7%, в тому числі при СПО – 1,43%, а при механічному бурінні свердловини – 21,1%.

3. Визначено співвідношення енергетичних витрат двох процесів: СПО і механічного буріння свердловини, які по параметру «корисної енергії» становлять 1,38%, а по показнику «витраченої енергії» – 20,4%.

4. Встановлено причини надмірних затрат енергії при бурінні свердловини, до яких відносяться: постійне використання під час буріння нерегульованої подачі бурового насоса із суттєво завищеними значеннями, зниження швидкості проходки бурових доліт через зношування, відсутність методики прогнозування енергії і енергоносіїв для виконання тих чи інших технологічних процесів.

Література

1 Енергетична безпека держави: високо-ефективні технології видобування, постачання і використання природного газу / Є.І. Крижанівський, М.І. Гончарук, В.Я. Грудз [та ін.]. – К.: Інтерпрес ЛТД. – 2006. – 286 с.

2 Європейська Енергетична хартія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uazakon.com/document/tpart15/isx15243.htm>.

3 Горяча Ю. П. Нові ініціативи ЄС у сфері правового регулювання енергетичних відносин: актуальні питання для України / Ю. П. Горяча // Стратегічні пріоритети. – 2010. – № 1. – С. 147-152.

4 Энергоемність буріння свердловин і шляхи її зменшення [Текст]: матеріали другої міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених "Проблеми енергоефективності в нафтогазовому комплексі" (Гурзуф, АР Крим, 2007). – 2007. – С. 339-342.

5 Чудик І. І. Енергетичні витрати в процесі буріння свердловини [Текст] / І. І. Чудик // Нафтогазова енергетика. – 2007. – №2(3). – С. 5-8.

6 Чудик І. І. Дослідження величини подачі насоса для промивання скерованих свердловин [Текст] / І. І. Чудик // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2010. – № 4(37). – С. 39-46.

Стаття надійшла до редакційної колегії 20.11.13

Рекомендована до друку професором **Івасівим В.М.** (ФНТУНГ, м. Івано-Франківськ) д-ром техн. наук **Бондаренком М.О.** (Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М.Бакуля НАН України, м. Київ)