

Енергетика, контроль та діагностика об'єктів нафтогазового комплексу

УДК 622.323

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ЕЛЕКТРОБУРІННЯ

М.Й. Федорів, І.В. Гладь, А.І. Поточний

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 48003,
e-mail: potocnyu_a@ukr.net

Провівши аналіз експлуатаційної надійності електротехнічного комплексу для електробуріння в умовах Прикарпаття, було зроблено висновок, що ефективний видобуток нафти і газу можливий тільки у випадку застосування електробуріння. Це зумовлено тим, що поклади знаходяться на великій глибині (3-5 км) у твердих і міцних породах, які доцільно розробляти бурінням горизонтально-розгалужених і похило-спрямованих свердловин [1].

Метою дослідження є розроблення в середовищі програмування LABVIEW математичної моделі системи електропостачання електробура для проведення досліджень режимів роботи на різній глибині буріння свердловини. Програмна реалізація математичної моделі дозволяє визначати такі параметри електротехнічного комплексу для електробуріння: опори схеми заміщення електродвигуна електробура в залежності від ковзання; опори схеми заміщення бурового трансформатора; опори схеми заміщення струмопідводу в залежності від глибини буріння свердловини, типу кабелів та труби; лінійні напруги на початку струмопідводу в залежності від ковзання; фазні струми та напруги на затискачах електродвигуна електробура; коефіцієнт несиметрії струмів електродвигуна електробура, його механічні характеристики.

Проведено дослідження з використанням програмного забезпечення фірми National Instruments Corporation LABVIEW і розроблених авторами програм на буровій Прикарпатського УБР у с. Ясеновець, Рожнятівський район, Івано-Франківська область. Під час проведення експерименту зібрано дані: гармоніки струмів та напруг, пуск електробура, споживання активної, реактивної та повної потужностей, коефіцієнт потужності, фазний струм та напруга на глибині забою свердловини 362 м.

Ключові слова: електробур, електробуріння, середовище програмування LABVIEW, математична модель системи електропостачання електробура.

В результате анализа эксплуатационной надежности электротехнического комплекса для электробурения в условиях Прикарпаття, сделан вывод, что эффективная добыча нефти и газа возможна только при применении электробурения. Это обусловлено тем, что залежи находятся на большой глубине (3-5 км) в твердых и крепких породах, которые целесообразно разрабатывать бурением горизонтально-разветвленных и наклонно-направленных скважин [1].

Целью исследования является разработка в среде программирования LABVIEW математической модели системы электроснабжения электробура для проведения исследований режимов работы на разной глубине бурения скважины. Программа позволяет определять следующие параметры электротехнического комплекса для электробурения: сопротивления схемы замещения электродвигателя электробура в зависимости от скольжения; сопротивления схемы замещения бурового трансформатора; сопротивления схемы замещения токоподвода в зависимости от глубины бурения скважины; линейные напряжения в начале токоподвода в зависимости от скольжения; фазные токи и напряжения на зажимах электродвигателя электробура; коэффициент несимметрии токов электродвигателя электробура, его механические характеристики.

Проведено исследование с использованием программного обеспечения фирмы National Instruments Corporation LABVIEW и разработанных авторами программ на буровой Прикарпатського УБР в с. Ясеновець, Рожнятівський район, Івано-Франківська область. Во время проведения эксперимента получены данные: гармоники токов, пуск электробура, потребление активной, реактивной и полной мощностей, коэффициент мощности, фазный ток и напряжение на глубине забоя скважины 362 м.

Ключевые слова: электробур, электробурение, среда программирования LABVIEW, математическая модель системы электроснабжения электробура.

After the analysis of operating reliability of electric and technical complex for electric bottomhole drilling under the conditions of the Prykarpatya Region had been conducted, it was inferred that the efficient oil and gas extraction was possible only with the electric bottomhole drilling utilization. It is caused by the fact that the deposits lie very deep (3-5 km) in solid and hard formations which are reasonable to be developed by means of horizontally branched and directional wells drilling [1].

The aim of the research is to develop the mathematical model of the electricity supply for electric bottomhole drill system under the LABVIEW programming environment for conducting research of work regimes at different well drilling depths. The mathematical model program realization makes it possible to define the following electric and technical complex for electric bottomhole drilling characteristics: supports of the displacement scheme of the electric engine of electric bottomhole drill depending on sliding; supports of the displacement scheme of drilling transformer; supports of the displacement scheme of electricity supply depending on depth of well drilling, cable and pipe types; linear voltages in the beginning of electricity supply depending on sliding; phase electrical currents and voltages on the clutches of the electric engine of electric bottomhole drill; coefficient of asymmetry of electric currents of the electric engine of electric bottomhole drill, its technical characteristics.

The research of National Instruments Corporation LABVIEW software utilization and the research of the developed by the program authors on the drilling site of the Prykarpatya UBR in the village of Yasenovets, Rozhnyativskyy district, Ivano-Frankivsk region have been conducted. While conducting the experiment the following data have been obtained: harmony of electric currents and voltages; electric bottomhole drill start-up; active, reactive, and full power utilization; electric power coefficient; phase electric current and voltage at the well bottom depth of 362 m.

Keywords: electric bottomhole drill, electric bottomhole drilling, LABVIEW programming environment, electricity-supply-for-electric-bottomhole-drill system mathematical model.

Вступ

Нафтова промисловість України характеризується низькими показниками, хоча потенційні можливості її видобутку можуть бути більшими. Наразі об'єми видобутку нафти невеликі через вичерпаність запасів і недостатні пошукові роботи. Слід зазначити, що на собівартість нафти дуже впливають способи її видобутку. Видобута в Україні нафта має відносно високу собівартість, оскільки видобуток її найпрогресивнішим фонтанним способом майже припинився. Для підтримання високого пластового тиску практикують закачування у законтурні горизонти гарячої води, пари, хімічних реагентів, що дає можливість підвищити видобуток нафти до 60-70%. Для збільшення видобутку нафти в країні слід знайти шляхи виходу України з енергетичної кризи, а це – розвідка, принципова розробка нетрадиційних нафтогазоносних об'єктів та збільшення видобутку нафти з малопродуктивних пластів за допомогою буріння горизонтально відгалужених свердловин. Тому вирішити дану проблему можна застосуванням електробоура (ЕЛБ), який завдяки наявності телеметричної системи дозволяє бурити похило-спрямовані свердловини, легко забурювати горизонтальні відгалуження у діючих свердловинах [2].

Найперспективнішим вибійним двигуном є електробоур. За низкою ознак можна очікувати, що найближчими роками в США може розпочатися прискорене становлення та розвиток електробоуріння. Під егідою фонду International partnering program робляться спроби залучити до цієї роботи спеціалістів з Росії та України за участі відповідних конверсійних підприємств. Адже є всі передумови для створення в Україні визнаного у світі центру електробоуріння. Використання можливостей ЕЛБ, який не накладає практично жодних обмежень на буровий процес, сприятиме подальшому розвитку буріння в майбутньому [3].

Аналіз сучасних закордонних, вітчизняних досліджень і публікацій

Необхідність забезпечення надійності роботи електроенергетичних систем виникла в 1930 р., коли були створені перші такі системи. Поява у 1950 р. складних систем управління призвела до того, що надійність апаратури стала визначальним фактором забезпечення ефективного використання цих систем [13]. Подальший, достатньо інтенсивний розвиток методів дослідження і забезпечення надійності технічних систем спостерігався в 1960 р. У цей період почали розвиватися математичні основи теорії ймовірностей [14]. Питання теорії надійності інтенсивно використовувалися і за кордоном. Розвиток теорії надійності доцільно поділяти на три періоди [15].

У першому періоді (до 1958 р.) була розповсюджена, в основному, математична теорія надійності. При цьому відмови приймалися за внутрішню властивість об'єктів незалежно від причин, які викликали їх появу. Потік відмов розглядався як найпростіший, а розподіл нароби́тку до відмови – як експоненційний. Такий підхід справедливий по відношенню до виробів радіоелектроніки, для потреб якої і створювалася теорія надійності в цей період.

Другий етап (1958-1968 рр.) характеризувався широким розгортанням робіт зі збору статистичних даних про відмови об'єктів в усіх галузях. У цей період була з'ясовано недостатність використання тільки експоненційної теорії, встановлено зв'язки між відмовами і контрольно-технологічними дефектами. Для визначення надійності механічних систем почали застосовувати методи теорії зносу, теорії міцності, теорії втоми та ін.

Третій період (з 1968 р. по теперішній час) характеризується як подальшим розширенням робіт попередніх етапів, так і появою нових тенденцій. Тільки у цей період почала створюватися і розвиватися теорія надійності механічних та електричних систем. Наукові методи

таких технічних дисциплін, як матеріалознавство, технологія, теорія механізмів і машин, теорія міцності приймаються за основу при вирішенні задач надійності. В свою чергу, методи теорії надійності почали застосовуватися у вищеперелічених наукових дисциплінах.

Технологія буріння електробурами детально викладена у [16]. Автоматизація процесу буріння свердловин електробурами наведена у [17] і [18]. Засоби підвищення надійності систем електропостачання електробурів наведені у [19]. У роботі [6] висвітлені питання розрахунку та прогнозування надійності роботи системи електропостачання електробурів, описані засоби підвищення їх надійності.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Аналіз науково-технічної літератури та проведених патентних досліджень показав, що проблема підвищення надійності функціонування електротехнічних комплексів з електробуріння вимагає подальшого дослідження експлуатаційної надійності, визначення закономірностей формування відмов, побудови математичних моделей надійності елементів систем електропостачання, визначення кількісних показників надійності і на їх основі розробку технічних та організаційних заходів.

Формування цілей статті

- моделювання режимів роботи електробура;
- розроблення в середовищі віртуального програмування LABVIEW математичної моделі системи електропостачання електробура для проведення досліджень.

Висвітлення основного матеріалу дослідження

У процесі буріння режим роботи ЕЛБ практично не залежить від кількості промивальної рідини, що прокачується, з метою вимивання вибуреної породи на поверхню [6]. При збільшенні довжини струмопідводу зростають втрати активної потужності і напруги. Втрати активної потужності зменшувати недоцільно, оскільки для цього потрібно збільшувати площу поперечного перерізу струмоведучих жил кабельних секцій, а це, в свою чергу, призведе до збільшення зовнішнього діаметра кабелю, збільшиться гідравлічний опір КБТ, збільшиться споживання потужності, яка при бурінні глибоких свердловин виявиться значною [7]. Крім цього, збільшення площі поперечного перерізу струмоведучих жил кабельних секцій призведе до підвищення електричної несиметрії струмопідводу. Несиметричність струмопідводу призводить до нерівномірного розподілу струмів у фазах АД, а, отже, до перегрівання обмотки найбільш завантаженої фази і, як наслідок, до старіння її ізоляції та зменшення експлуатаційної надійності ЕЛБ [5].

В результаті роботи електродвигуна ЕЛБ в несиметричному режимі збільшуються струм споживання, вібрації, зменшується обертовий момент електродвигуна ЕЛБ, що негативно впливає на його надійність, зменшуючи ресурс.

Перший фактор спричинює перегрівання електродвигуна і збільшення споживаної потужності. Внаслідок перегрівання скорочується ресурс ізоляції обмотки статора електродвигуна ЕЛБ, а збільшення споживаної потужності призводить до додаткових втрат в елементах системи електропостачання ЕЛБ і, відповідно, до зменшення його ККД.

Другий фактор спричинює інтенсивніше зношування конструктивних елементів ЕЛБ, зокрема обертових ущільнень валу електродвигуна.

Третій фактор негативно впливає на процес буріння, зокрема зменшуючи його механічну швидкість і скорочуючи ресурс долота.

За результатами роботи [8] недопустима несиметрія струмів на затискачах електродвигуна ЕЛБ (>5%) виникає вже при бурінні на середній глибині (приблизно 2 км). Тому для підвищення надійності і ефективності електробуріння свердловин в умовах Прикарпаття актуальним є питання симетрування напруги живлення електродвигуна ЕЛБ.

У даний час Прикарпатський УБР здійснюється буріння свердловин за допомогою ЕЛБ типів Э240-8 і Э164-8. В якості джерела живлення ЕЛБ застосовується понижуючий триобмотковий оливний силовий трансформатор типу ТМТБ-560-6 з ПБЗ. Перемикач ПБЗ має дев'ять положень і регулює фазну напругу з середнім кроком 76 В. Це необхідно для підтримання напруги на затискачах електродвигуна ЕЛБ у допустимих межах при бурінні глибоких свердловин.

Як відомо, крутний момент на валу АД знаходиться у квадратичній залежності від прикладеної напруги. Тому незначне зменшення напруги живлення ЕЛБ призводить до суттєвого зменшення його крутного моменту. При роботі долота на вибої спостерігаються швидкі зміни його моменту опору. Це призводить до нерівномірного навантаження ЕЛБ, тобто відбуваються систематичні пікові перевантаження. При бурінні глибоких свердловин втрати напруги в струмопідводі досягають такого значення, що критичний крутний момент АД може бути меншим від піку перевантаження ЕЛБ. За певних умов це призводить до його зупинки і відключення максимальним струмовим захистом. Вплинути на свердловинні фактори при експлуатації ЕЛБ неможливо. Реальним шляхом підвищення експлуатаційної надійності і ефективності роботи ЕЛБ є регулювання його напруги живлення [7]. В результаті проведених теоретичних досліджень [9] втрат двигуна електробура під час буріння на різних глибинах виявлено закономірність збільшення втрат активної потужності в струмовідводі при збільшенні глибини, що, в свою чергу, може призвести до зупинки ЕЛБ і неможливості його запуску. Буріння на глибинах понад 3 км потребує

Параметри бурового трансформатора ТМТБ 560-6	
Номинальна вторинна напруга бурового трансформатора, В, Untr	1547
Номинальний вторинний струм бурового трансформатора, А, Intr	142,5
Напруга короткого замикання ВН-СН бурового трансформатора, %, Uk	10,5
Втрати потужності короткого замикання бурового трансформатора, Вт, DPK	10700
Параметри електродвигуна електробура E215-8	
Номинальна напруга електродвигуна, В, Un	1250
Номинальний струм фази статора електродвигуна, А, In	144
Активний опір фази статора електродвигуна, Ом, r1d	0,419
Індуктивний опір фази ротора електродвигуна, Ом, x1d	0,635
Приведений активний опір фази ротора електродвигуна, Ом, r2	0,691
Приведений індуктивний опір фази ротора електродвигуна, Ом, x2	0,635
Активний опір фази намагнічувального контура електродвигуна, Ом, gm	0,671
Індуктивний опір фази намагнічувального контура електродвигуна, Ом, xm	7,715
Синхронна частота обертання ротора електродвигуна, об/хв, n1	750
Номинальна частота обертання ротора електродвигуна, об/хв, n2	655

Рисунок 1 – Введення даних для розрахунку

пофазного регулювання напруги на початку струмовідводу, що підвищить навантажувальну здатність електробура.

В даний час напруга встановлюється згідно [10], що передбачає перемикання відгалужень вторинної обмотки БТ вручну залежно від глибини буріння і типу ЕЛБ. Але при цьому не враховується зміна параметрів схеми заміщення системи електропостачання електробура (СЕЕ) внаслідок обриву окремих провідників жил кабелю та капітального ремонту (заміни) обмотки статора занурювального електродвигуна, що призводить до роботи ЕЛБ у несиметричному режимі та при заниженій напрузі живлення. При цьому зменшується напрацювання на відмову ЕЛБ та ефективність буріння загалом.

Для забезпечення надійності та ефективності електробуріння свердловин потрібно точніше визначати напругу на затискачах ЕЛБ при заданих технологічних параметрах буріння. Для того, щоб ЕЛБ працював у симетричному режимі, треба створити на поверхні таку несиметричну систему напруг, при якій отримаємо симетричну систему струмів і, відповідно, напруг на затискачах занурювального двигуна. Несиметрична система напруг на початку струмопідводу визначається уточненим розрахунком напруги живлення ЕЛБ [11, 12].

В основі математичної моделі лежить Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна ЕЛБ, представленого комплексними опорами $Z1$, Zm і $Z2(s)$ відповідно. В коло статора введено комплексні опори бурового трансформатора ZTP, жил кабелю ZG і бурильної труби ZT. Останні залежать від глибини буріння та від величини струму електродвигуна. Задаючись числовими значеннями опорів схеми заміщення СЕЕ, глибиною буріння L, номінальними струмом ІН і ковзанням s, знаходимо бажані фазні напруги UA, UB, UC на початку струмопідводу в номінальному режимі. Залишаючи бажані фазні напруги на початку струмопідводу та глибину буріння незмінними, розраховуємо механічну характеристику асинхронного двигуна ЕЛБ M(s) та значення його фазних струмів IA, IB, IC при зміні ковзання s від 0 до 1 [11, 12].

Для проведення досліджень електротехнічного комплексу для електробуріння (ЕТКЕ) в середовищі віртуального програмування LABVIEW створено модель системи ЕЛБ. Дана математична модель дозволяє моделювати режими роботи електробура. Вихідними даними для розрахунку є: параметри бурового трансформатора (БТ) та електродвигуна електробура, які вводяться на початку моделі. На рис. 1 зображено вікно для введення параметрів БТ та ЕЛБ. Дана програма дозволяє визначати: опо-

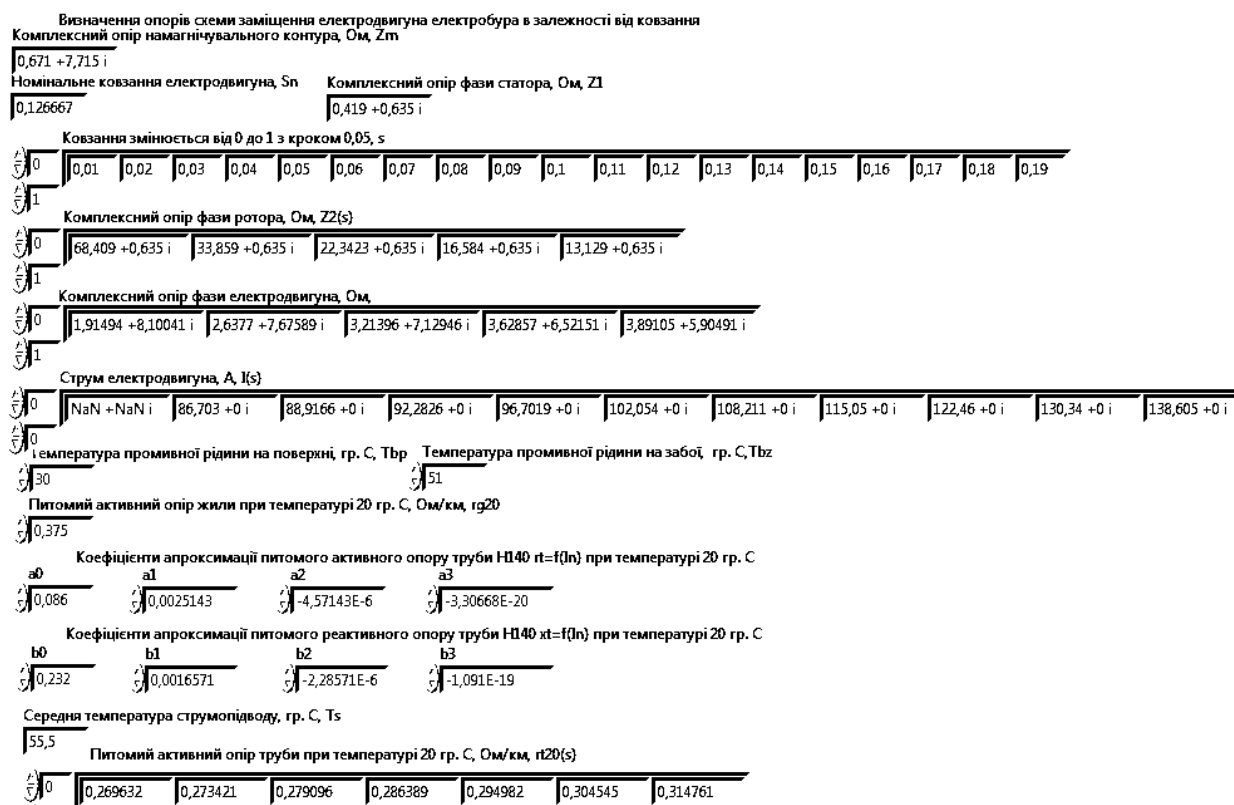


Рисунок 2 – Розрахунок опорів схеми заміщення електродвигуна електробура залежно від ковзання

ри схеми заміщення електродвигуна електробура в залежності від ковзання (рис. 2); опори схеми заміщення БТ (рис. 4); опори схеми заміщення струмопідводу залежно від глибини буріння (рис. 3); лінійні напруги на початку струмопідводу залежно від ковзання (рис. 6); фазні струми та напруги на затискачах електродвигуна електробура (зображенні в графічних залежностях рис. 7 та 8); коефіцієнт несиметрії струмів електродвигуна електробура (рис. 5), механічні характеристики електродвигуна електробура.

Програма розраховує значення (рис.1 – 6) та будує графіки залежно від глибини буріння свердловини: фазних струмів (рис. 7) та напруг (рис. 8) на затискачах електродвигуна електробура, момент електродвигуна та несиметрію струмів ЕЛБ (рис. 9 та 10).

Для того, щоб переконатися, що розроблена авторами математична модель працює адекватно, було проведено дослідження з використанням програмного забезпечення фірми National Instruments Corporation LABVIEW і розроблених авторами програм на буровій Прикарпатського УБР у с. Ясеновець, Рожнятівський район, Івано-Франківська область. На рисунку 12 зображено шафу електробура і прилад для збору даних.

На рисунку 12 та 13 зображено персональний комп'ютер (ПК), який забезпечує запис даних і виводить результати експерименту на дисплей, та систему контролю енергетичних параметрів ЕЛБ, яка зображена безпосередньо на території бурової установки.

У ході проведення експерименту зібрано дані: гармоніки струмів та напруг, запуск електробура, споживання активної, реактивної та повної потужностей, коефіцієнт потужності, фазний струм та напруга на глибині вибою свердловини 362 м (рис. 14). Як бачимо з результатів дослідження та даних, які дає математична модель, похибка є досить малою (до 5%).

Висновки

З результатів роботи видно, що розроблена математична модель ЕЛБ працює адекватно на глибині буріння 362 м, проте було б доцільно провести дослідження та зібрати матеріали у процесі буріння свердловини і на інших глибинах, що дасть змогу отримати покращену результуючу картину процесу буріння.

Використання створеної авторами в середовищі програмування LABVIEW математичної моделі в системі електропостачання електробура дасть змогу досліджувати роботу ЕЛБ залежно від глибини вибою свердловини. Проведені дослідження режимів роботи ЕЛБ під час буріння на початку свердловини показали адекватність моделі реального об'єкта. Для підвищення енергоефективності роботи необхідно розробити оптимальний алгоритм пофазного регулювання його напруги живлення.

Визначення опорів схеми заміщення струмопідводу в залежності від глибини буріння

Активний опір бурильної труби, Ом, $Rt(s)$

0	0,13011	0,131938	0,134676	0,138196	0,142343	0,146957	0,151887	0,156994
---	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Індуктивний опір бурильної труби, Ом, $Xt(s)$

0	0,129774	0,130781	0,132295	0,134255	0,136585	0,139205	0,142047	0,145035	0,148114
---	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Активний опір жили кабелю, Ом, $Rg(s)$ Індуктивний опір жили кабелю, Ом, Xg

0,165886	0,03258
----------	---------

Комплексний опір бурильної труби, Ом, $Zt(s)$

0	0,13011 + 0,129774i	0,131938 + 0,130781i	0,134676 + 0,132295i	0,138196 + 0,134255i	0,142343 + 0,136585i
---	---------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

Комплексний опір жили кабелю, Ом, $Zg(s)$

0,165886 + 0,032i

Комплексний опір фази А, Ом, $Za(s)$

0	2,22069 + 8,86443i	2,94529 + 8,44092i	3,52428 + 7,896i	3,94241 + 7,29001i	4,20903 + 6,67574i
---	--------------------	--------------------	------------------	--------------------	--------------------

Комплексний опір фази В, Ом, $Zb(s)$

0	2,25647 + 8,76724i	2,97923 + 8,34272i	3,55549 + 7,79629i	3,9701 + 7,18834i	4,23258 + 6,57173i
---	--------------------	--------------------	--------------------	-------------------	--------------------

Комплексний опір фази С, Ом, $Zc(s)$

0	2,25647 + 8,76724i	2,97923 + 8,34272i	3,55549 + 7,79629i	3,9701 + 7,18834i	4,23258 + 6,57173i
---	--------------------	--------------------	--------------------	-------------------	--------------------

Параметри струмопідводу

Питомий активний опір труби, Ом/км, $rt(s)$

0	0,35942	0,36447	0,372034	0,381756	0,393212	0,405958	0,419576	0,433685
---	---------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Питомий реактивний опір труби, Ом/км, $xt(s)$

0	0,358493	0,361273	0,365456	0,37087	0,377308	0,384551	0,392395	0,40065
---	----------	----------	----------	---------	----------	----------	----------	---------

Питомий активний опір жили, Ом/км, rg

0,45825

Питомий реактивний опір жили, Ом/км, xg

0,09

Рисунок 3 – Розрахунок опорів схеми заміщення струмопідводу

Визначення опорів схеми заміщення бурового трансформатора

Повний опір бурового трансформатора в номінальному режимі, Ом, $Zntr$

0,658119

Активний опір бурового трансформатора в номінальному режимі, Ом, $Rntr$

0,175644

Індуктивний опір бурового трансформатора в номінальному режимі, Ом, $Xntr$

0,634247

Активний опір бурового трансформатора, Ом, Rtr

0,175644

Індуктивний опір бурового трансформатора, Ом, Xtr

0,634247

Комплексний опір бурового трансформатора, Ом, $Ztr1$

0,658119

Комплексний опір бурового трансформатора, Ом, $Ztr2$

0,175644 + 0,634247i

Рисунок 4 – Розрахунок опорів схеми заміщення БТ

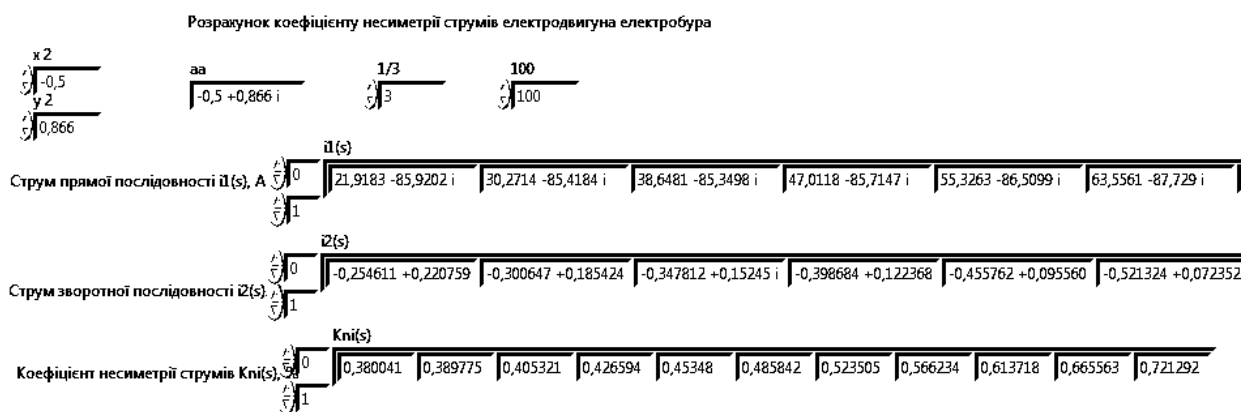


Рисунок 5 – Коефіцієнт несиметрії струмів електродвигуна електробура

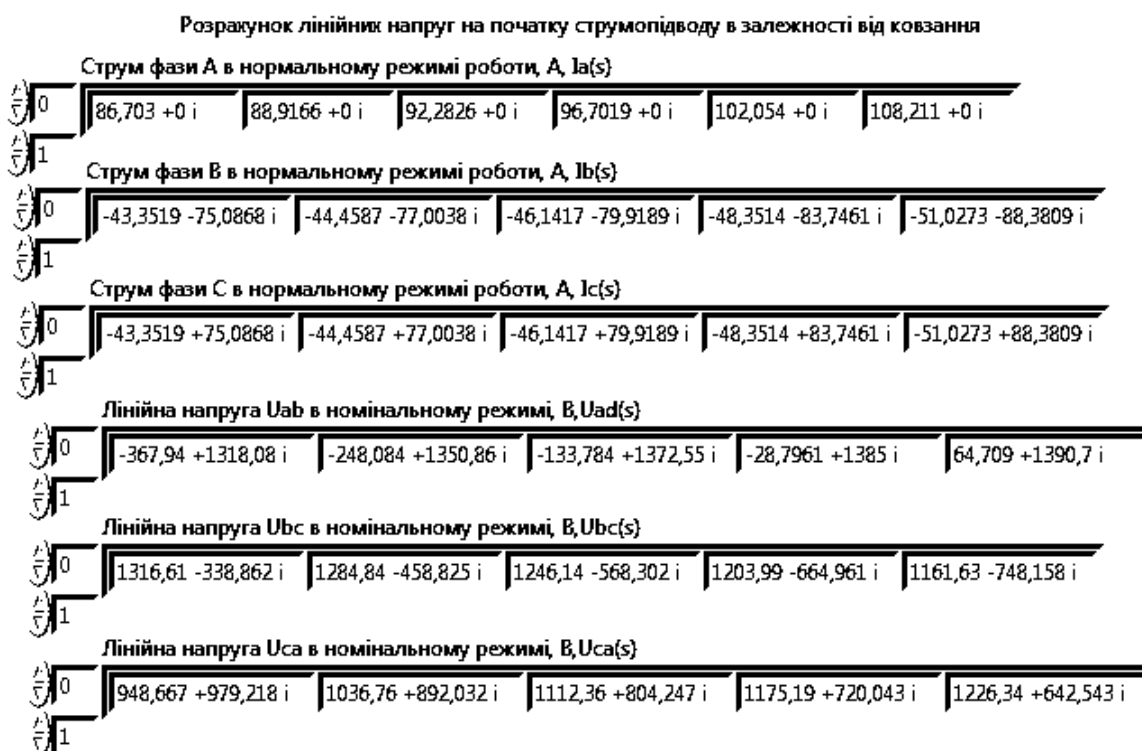


Рисунок 6 – Розрахунок лінійних напруг на початку струмопідводу залежно від ковзання

Література

- 1 Фоменко Ф.Н. Бурение скважин электробуром / Ф. Н. Фоменко. – М.: Недра, 1974. – 272 с.
- 2 Напрямки створення української технології буріння свердловин, конкурентоспроможної на світовому рівні / Р.С. Яремійчук, Б.В. Байдук. // Нафтова і газова промисловість. – 1997. – № 4. – С.17-18.
- 3 Федорів М.І. Розрахунок напруги живлення електробура / М. І. Федорів, І.В. Гладь // Нафтова і газова промисловість. – 2001. – № 5. – С. 23-24.
- 4 Електрифікація технологічних комплексів нафтогазової промисловості: навчальний посібник / [В.С.Костишин, М.І.Федорів, В.А.Ожоган, І.В.Гладь]. – Івано-Франківськ: Факел, 2008. – 262 с.

- 5 Меньшов Б.Г. Исследование эксплуатационной надежности токоподвода электробура / Б.Г. Меньшов, М.И. Федорив // Промышленная энергетика. – 1989. – № 8. – С. 41-42.
- 6 Федорив М.И. Разработка методов расчета и прогнозирования надежности электроснабжения электробуров: авт. канд. техн. наук. – М., 1989. – С. 32-35.
- 7 Гладь І.В. Підвищення надійності та ефективності електробура / І.В.Гладь, М.І.Федорів // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2003. – № 6 (64). – С. 69-75.
- 8 Электробурение // Труды ВНИИБТ. – 1964. – Вып. 11. – С. 114.
- 9 Поточний А.І. Аналіз енергетичних втрат двигуна електробура під час буріння / А.І. Поточний, Б.І. Петровський // Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та спеціалістів “Електромеханічні

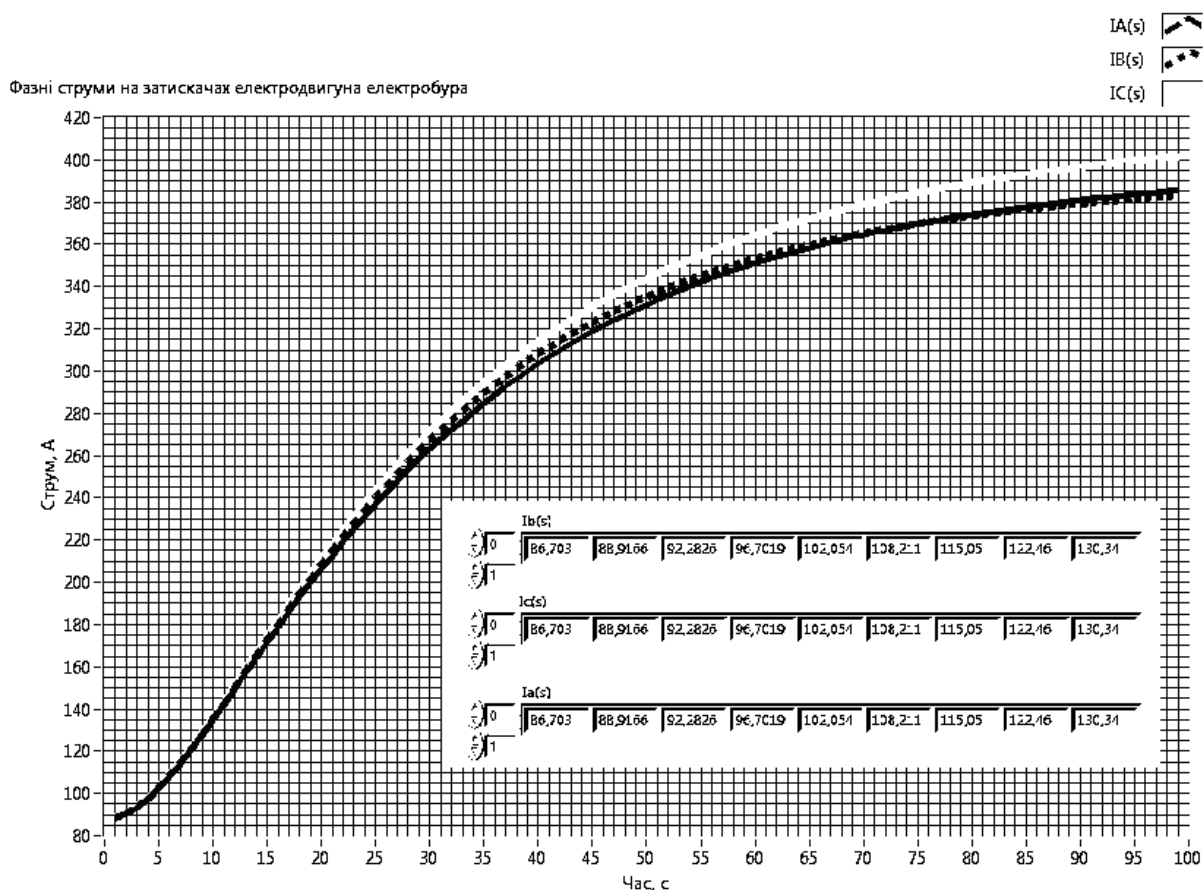


Рисунок 7 – Розрахунок фазних струмів на затискачах ЕЛБ Е215-8 (глибина буріння 362 м)

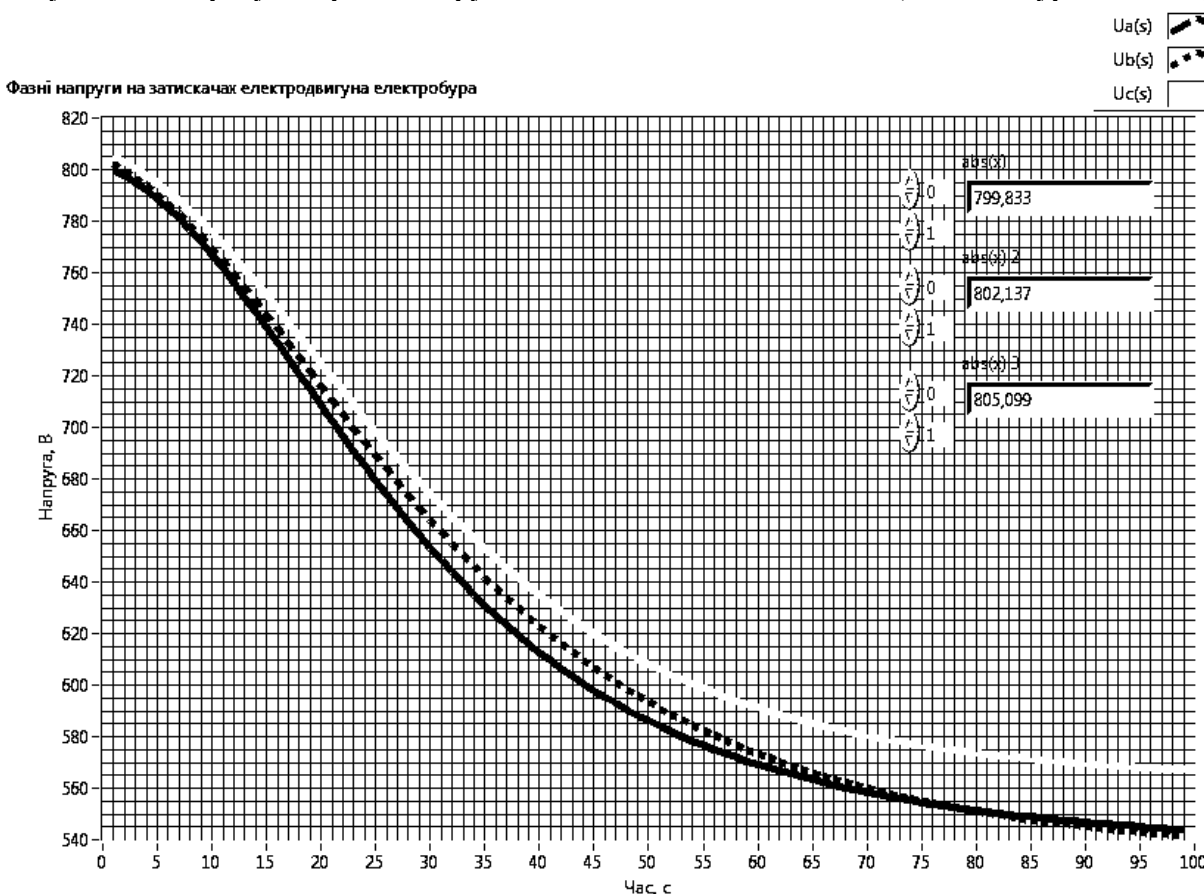


Рисунок 8 – Розрахунок фазних напруг на затискачах ЕЛБ Е215-8 (глибина буріння 362 м)

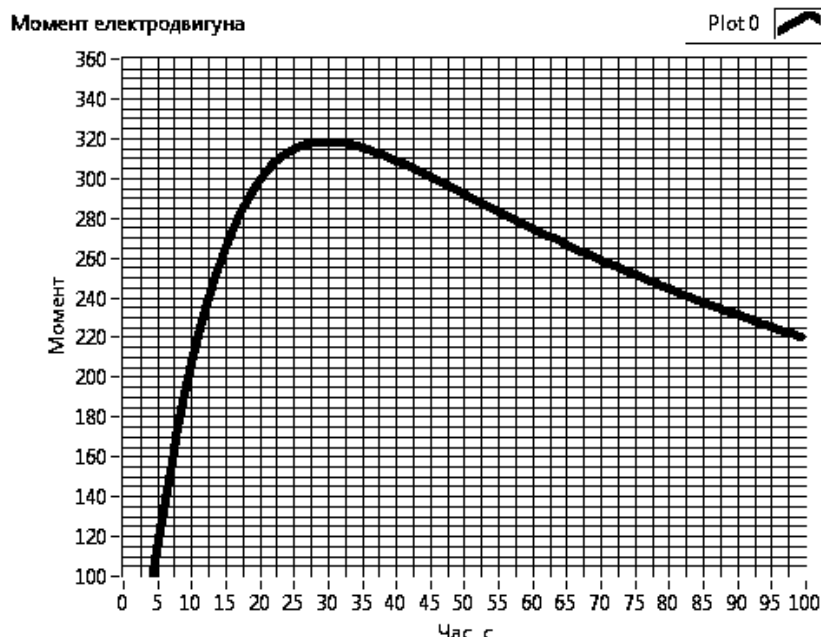


Рисунок 9 – Момент електродвигуна ЕЛБ

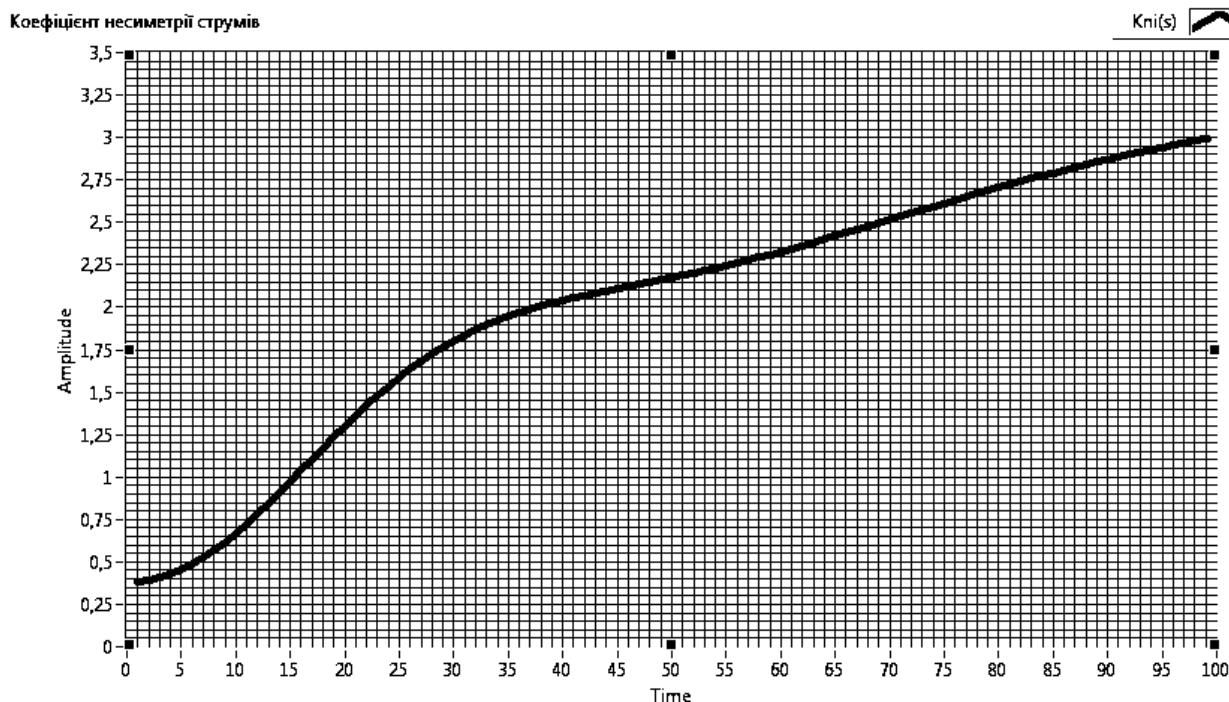


Рисунок 10 – Несиметрія струмів ЕЛБ

системи, методи моделювання та оптимізації”, секція “електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації”. – 2011. – Вип. №1. – С.133-134.

10 Инструкция по технологии бурения электробурами нефтяных и газовых скважин / А.Я.Гельфгат, Ф.Н.Фоменко, А.К.Дубаев [и др.]. – М., 1974. – 72 с.

11 Модернізація системи електропостачання електробура на основі її математичної моделі / І.В. Гладь, М. Й.Федорів, І. Д. Галушак // Тези ІІІ Міжнародна науково-практична конференція “Проблеми економії енергії”. – Львів, 2001. – С. 164-165.

12 Застосування середовища програмування labview для моделювання режиму роботи електробура / М.Й.Федорів, А.І.Поточний, О.І. Кіянюк // Матеріали ХІІІ міжнародної конференції “Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика” PEES 2011 секція “Моделювання та методи оптимізації”. – 2011. – Вип. 1 (1). – С. 340-341.

13 Ястребенецкий М.А. Надежность технических средств в АСУ технологическими процессами / М. А. Ястребенецкий. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 232 с.



Рисунок 11 – Шафа електробура і прилад для збору енергетичних параметрів ЕЛБ

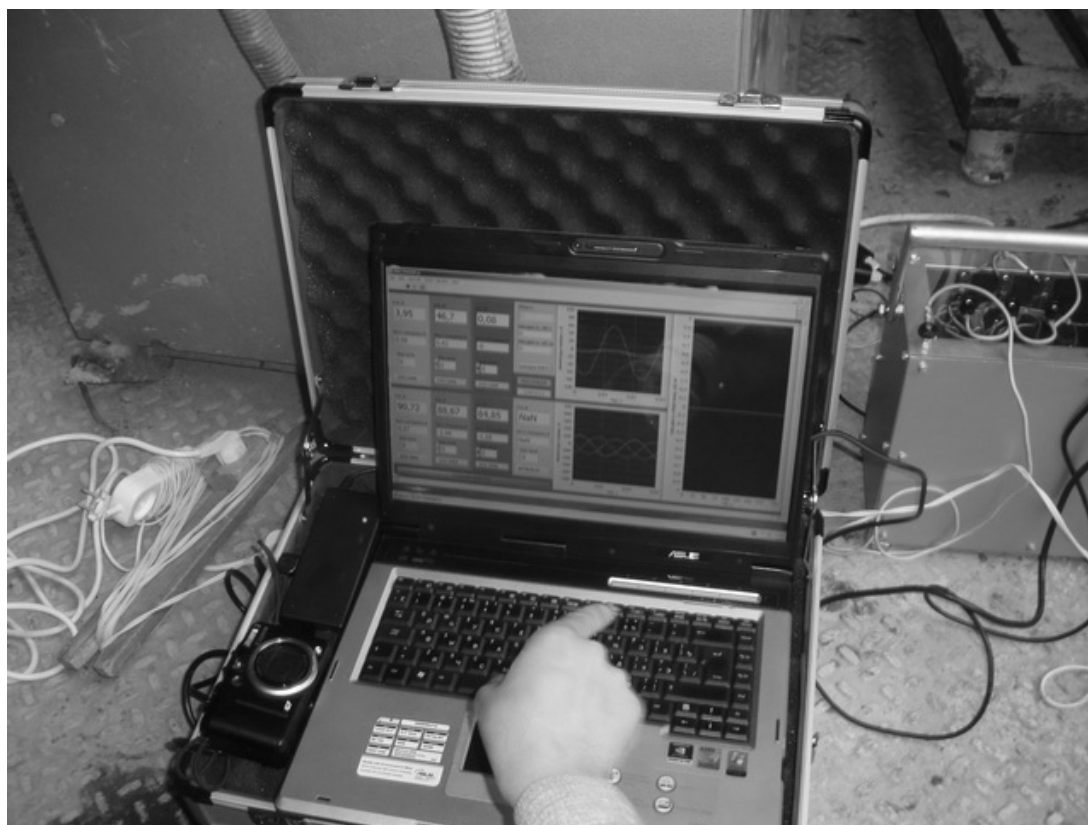


Рисунок 12 – ПК для збору даних

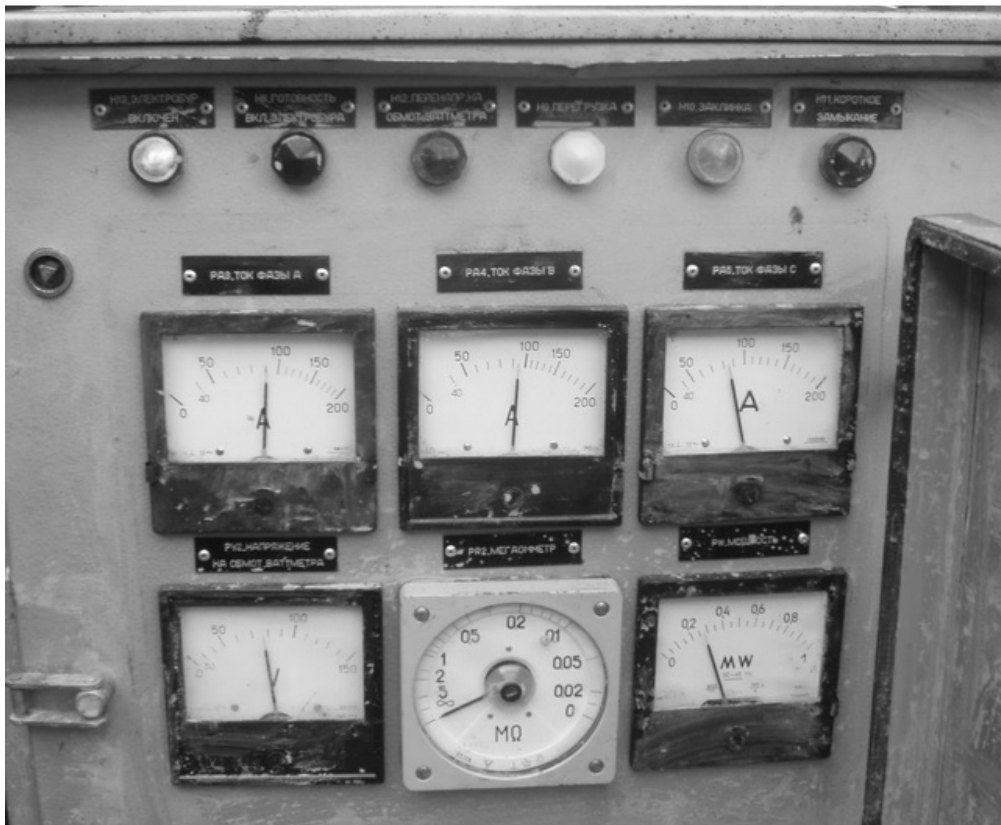


Рисунок 13 – Покази енергетичних параметрів ЕЛБ

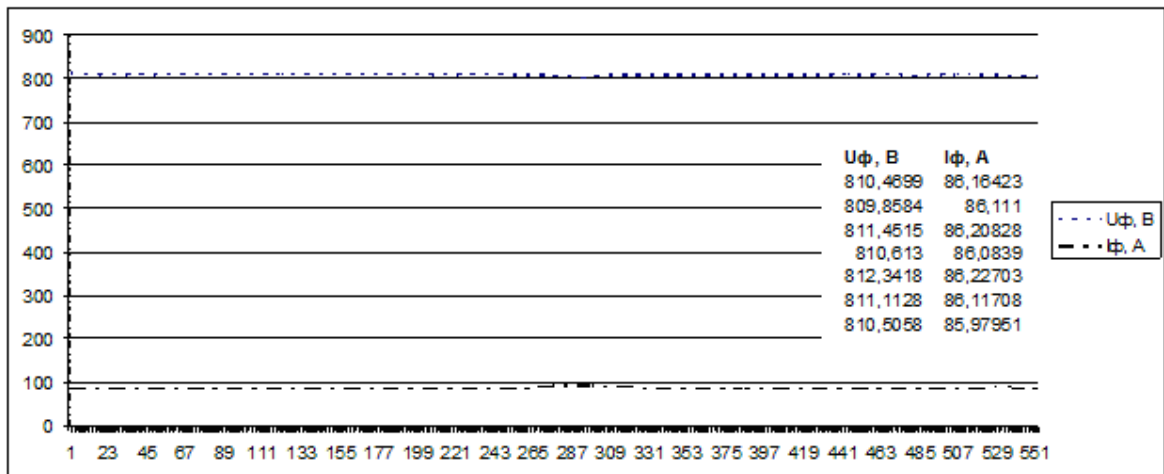


Рисунок 14 – Фазний струм та напруга на глибині вибою свердловини 362 м

14 Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

15 Методы оценки надежности технических систем / [Б.Н.Волков, А.И.Кубарев, И.З. Аронов и др.]. – М.: ВИННИКИ, 1977. – 57 с.

16 Ирмяков Р. З. Исследование и разработка методов обеспечения надежности оборудования нефтеперекачивающих магистральных нефтепроводов: авт. канд. техн. наук. – М.: 1980. – 17 с.

17 Семенцов Г. Н. Анализ сучасного стану автоматизації процесу буріння свердловин електробурами / Г. Н.Семенцов, О. Т.Припхан //: Тези науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу. Частина 2 – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 1999. – С. 64–68

18 Семенцова А.О. Удосконалення системи стабілізації потужності двигуна електробура / А.О.Семенцова // Тези науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу. Частина 2. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 1999. – С. 54–56

Стаття надійшла до редакційної колегії 18.10.11
Рекомендована до друку професором Я. М. Николайчуком