

**П.М. Андренко, д-р техн. наук**  
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна,  
**О.Б. Панамарьова, канд. техн. наук**  
Комп'ютернотехнологічний коледж при Національному технічному університеті  
«Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна,  
**М.С. Свиначенко, канд. техн. наук**  
Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків, Україна,

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГАЗОВІСТУ РОБОЧОЇ РІДИНИ ТА НАВАНТАЖЕННЯ НА ВАЛУ ГІДРОМОТОРА НА ЙОГО ЧАСТОТУ ОБЕРТАННЯ

### EXPERIMENTAL STUDY HOW TO INFLUENCE GAS CONCENTRATION OF HYDRAULIC FLUID AND THE HYDRAULIC MOTOR SHAFT LOAD TO ITS FREQUENCY ROTATION

*Описано експериментальний стенд для дослідження частоти обертання гідромотора встановленого в об'ємний гідроагрегат. Проведено обґрунтування вибору вимірювальних приладів та методики вимірів, розраховані похибки вимірюваних величин. Розроблено план другого порядку трифакторного активного експерименту. Наведено результати експериментальних досліджень впливу газовістості робочої рідини та навантаження на валу гідромотора на його частоту обертання. Отримано лінійну модель частоти обертання вала гідромотора залежно від вказаних факторів. З використанням критерію Фішера доведено її адекватність. Встановлено граничне значення газовістості в робочій рідині, при якому забезпечується стабільна частота обертання гідромотора.*

*Ключові слова:* гідромотор, газовіст, робоча рідина, планування експерименту, частота обертання, лінійна модель, похибка вимірювань.

#### Вступ

Сучасний рівень і подальший розвиток техніки нерозривно пов'язані з інтенсифікацією роботи гідравлічних систем та агрегатів, енергозбереженням, поліпшенням показників їх технічного рівня. До робочих і експлуатаційних характеристик таких систем та агрегатів висуваються досить жорсткі вимоги із забезпечення їх стабільних характеристик при роботі на робочих рідинах із значним газовістом. Відомо, що в робочих рідинах об'ємних гідроагрегатів), які найбільш повно задовольняють вимогам ощадливої витрати матеріалів і енергоресурсів та забезпечують високі показники ККД і надійності, при роботі останніх завжди є повітря у двох фазах, розчиненою та нерозчиненою. Причому час переходу розчиненого у робочу рідину повітря у нерозчинене у першому наближенні можна прийняти таким, що змінюється за експонентою з постійною часу, яка при переході розчиненого у робочій рідині повітря до нерозчиненого на порядок менша, ніж при зворотному [1].

Особливість робочих процесів, що відбуваються у гідравлічних системах та агрегатах, обумовлена взаємодією робочих рідин з їх рухомими елементами, її течією в каналах з місцевими опорами та щільнах, а також наявністю витоків та перетікань. Крім того, внаслідок стисливості робочих рідин, на окремих ділянках в них має місце коливання витрати та тиску. Сполучення всіх

цих явищ призводить до появи складних нестационарних гідродинамічних процесів, які впливають на вихідні характеристики ГА. Врахування змінних параметрів робочих рідин та навантаження на виході виконавчого механізму дозволяє підвищити точність математичних моделей реального процесу. Особливо гостро повстає ця проблема при використанні у якості виконавчого механізму об'ємного гідромотора.

#### Аналіз літературних джерел

У більшості робіт, присвячених експериментальним дослідженням гідроагрегатів та їх елементів, розглядаються насоси, як один з головних елементів [2—4]. В цих та інших роботах не приділяється достатньої уваги дослідженню впливу параметрів робочих рідин, які змінюються в часі протягом функціонування гідроагрегатів, на його вихідні характеристики. У роботі [5] експериментальним шляхом встановлено, що розчинене у робочій рідині повітря практично не впливає на пружні властивості та густину робочої рідини, а отже і на вихідні характеристики гідроагрегатів. Урахування розчиненого у робочій рідині повітря на її властивості натрапляє на великі труднощі, та не призводить до суттєвого їх уточнення. Тому більшість дослідників вмістом розчиненого у робочій рідині повітря нехтують, а параметри робочої рідини

приймаються постійними і такими, що дорівнюють їх середнім значенням за цикл роботи гідроагрегатів. У роботі [6] наведено аналітичні залежності для розрахунку параметрів робочої рідини з урахуванням нерозчиненого у ній повітря. У низці робіт розглядається вплив нерозчиненого у робочій рідині повітря на робочі характеристики гідроагрегатів [5, 7—11]. Однак в них не розглядається вплив на частоту обертання гідромотора сумісно навантаження на його валу та нерозчиненого у робочій рідині повітря.

Слід зазначити, що стабілізація робочих параметрів робочої рідини гідроагрегатів необхідна для запобігання передумов виникнення подій, пов'язаних із миттєвим (або швидкоплинним) процесом зміни структури гідросистеми або гідроагрегата, непередбаченим алгоритмом його роботи. До таких дестабілізуючих факторів можна віднести газовиділення з робочої рідини при кавітаційних режимах її течії в елементах гідроагрегатів. Газ, який виділяється, негативно впливає на його робочі параметри: порушує плавність руху виконавчих органів гідросистем технологічних машин, зменшує точність позиціонування, зниження запасів стійкості слідкуючих систем, подачі та ККД насосів тощо. Збільшенню газовмісту в робочій рідині сприяє підсмоктування повітря, що відбувається під час експлуатації гідроагрегатів. Найбільш інтенсивно підсмоктування повітря може відбуватися на лінії всмоктування, внаслідок недостатнього занурення всмоктувального патрубку насоса, значного зниження рівня робочої рідини в баці. Упродовж всмоктування, коли в камерах насоса створюється максимальне розрідження, повітря може надходити через зазори плунжерних пар та ущільнюючі пояски торцевого розподільника насоса. А також через зливний трубопровід при малому рівні робочої рідини в баку та ущільнення рухомих і нерухомих елементів гідроагрегатів. Середнє значення газовмісту робочої рідини у них складає від 0,1% до 15% [3], таку суттєву різницю можна пояснити тим, що цей параметр залежить від конструкції гідроагрегата, якості його зборки, зносу ущільнюючих елементів, режимів експлуатації тощо.

### Задачі дослідження

Встановлення впливу газовмісту робочої рідини та навантаження на валу гідромотора на його частоту обертання, отримання лінійної моделі залежності частоти обертання гідромотора від вказаних факторів.

Експериментальний стенд було спеціально створено на кафедрі «Гідроприводи та автоматизація» НТУ «ХП» (рисунки 1, 2). У якості робочої рідини використовувалося масло ІПІ30, характеристики якого наведено у роботі [3]. При монтажі гідравлічної частини стенда, для виключення підсмоктування повітря, особливу увагу приділяли ущільненням. Тиск зливу з гідроагрегата був постійним та дорівнював атмосферному.

Прилади, датчики та апаратуру, що реєструє, ви-

бирали таким чином, щоб вони задовольняли вимогам точності. Для виміру статичного тиску, витрати, температури використовувались стандартні прилади і методи. Використовували зразкові манометри (діапазон вимірювань 0—4,0 МПа, з похибкою вимірювання за паспортом 0,05 %) для виміру статичного тиску. Вимірювання температури робочої рідини проводили термометром з похибкою вимірювання не гірше 1°C. Атмосферний тиск міряли за допомогою барометра-анероїда (тип М67, діапазон вимірів 610—790 мм рт. ст., границя допустимої похибки  $\pm 0,8$  мм рт. ст.). Витрату робочої рідини вимірювали за допомогою мірного баку з поділом шкали — 0,1 та секундоміром.

Для вимірювання зміни тиску використовувалися перетворювачі тиску ПД.20/2, похибка вимірювань яких складала 0,5%, а частота пропускання становила 1200 Гц. Реєстрацію сигналів здійснювали за допомогою багатоканального вимірювального комплексу, створеного на базі ноутбука. Використовували ноутбук ASUS K50IP (K50IPT330SCG-DWW) (TFT HD(1366x768) 15,6" LED/ Dual Core T3300 2.0GHz/2048Mb/320Gb/DVDSM/GeFroce GT205M 512Mb). Для реєстрації сигналів було розроблено спеціальну програму. Використовували два канали, частота опитування по кожному каналу складала 1024 Гц а розрядність АЦП — 10 біт. Тарування датчиків тиску проводили на спеціальному тарувальному пресі (клас точності 0,05) і безпосередньо на експериментальному стенді. При цьому використовували зразкові манометри.

При визначенні вмісту розчиненого повітря у робочій рідині використовували прямий метод, який полягає у вимірюванні об'єму рідини у мірній пробі газоріднинної суміші, яку взято до та після проведення експериментів. Для цього використовують вимірювальні трубки, в яких відбувається відстоювання проби робочої рідини. Після відстоювання проби по різниці об'ємів робочої рідини і проби визначають вміст розчиненого повітря. Зазначимо, що цей метод знайшов широке застосування, оскільки не потребує спеціальних вимірювальних пристроїв.

Вміст нерозчиненого повітря у робочій рідині визначали, порівнюючи об'ємну її витрату на виході з ГА, при заданому перепаді тиску на гідромоторі та відсутності нерозчиненого повітря в ній, і об'ємну витрату повітря, що надходить від компресору К до всмоктуючого патрубка насоса Н та вимірюється ротаметром РА.

Монтаж всієї вимірювальної апаратури здійснювали згідно відповідних інструкцій. Вся електронна апаратура підключалась згідно з інструкцією з експлуатації.

### Експериментальні дослідження

Перед їх проведенням, для зменшення кількості дослідів, виконували планування дослідів. Було проведено планування трифакторного активного експерименту з використанням планів другого порядку, які складали за методикою, наведеною у роботі [12]. При проведенні експерименту кожний фактор варіювався на трьох рівнях.

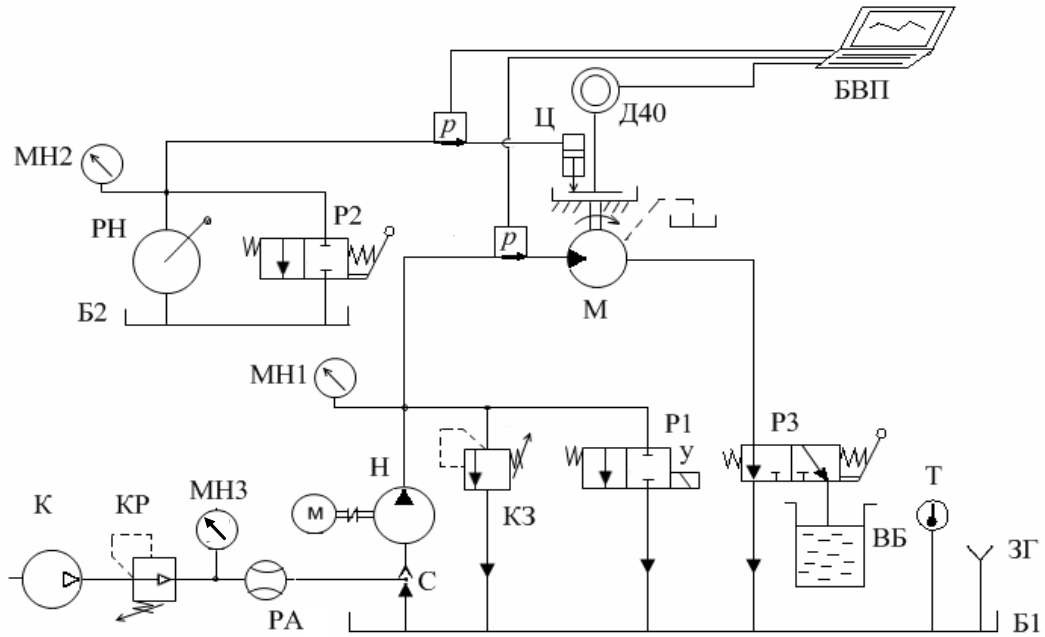


Рисунок 1 — Гідравлічна принципова схема експериментального стенда: Н — об'ємний насос; РН — ручний насос; МН1, МН2, МН3 — зразкові манометри; Д40 — датчик частоти обертання; Б1, Б2 — баки; КЗ — клапан запобіжний; р — перетворювачі тиску типу ПД.20/2; М — гідромотор; БВП — багатоканальний вимірювальний пристрій, створений на базі ноутбука; ВБ — вимірювальний бак; P1, P2, P3 — гідророзподільники; Т — термометр; ЗГ — залівна горловина; м — електродвигун; К — компресор; Ц — гальмівний гідроциліндр; КР — клапан редукційний пневматичний; РА — ротаметр; С — сопло

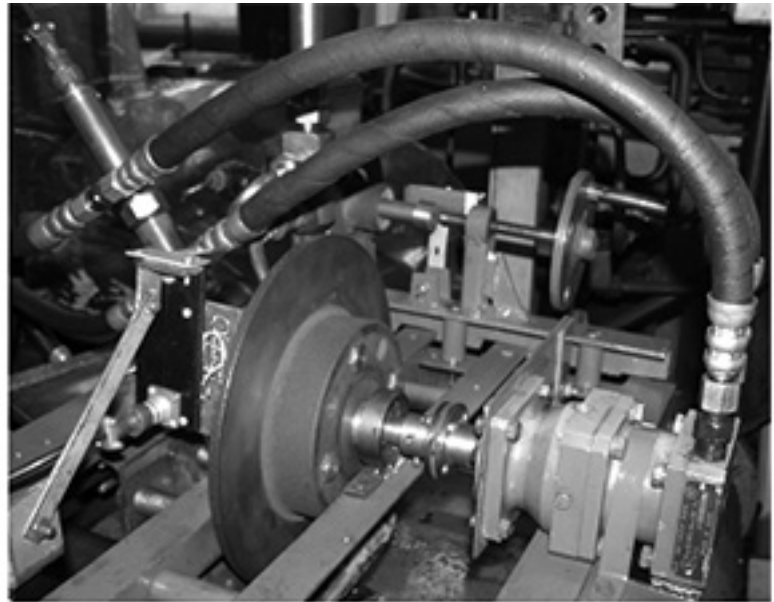


Рисунок 2 — Фотографії експериментального стенда

Таблиця 1 — Кодування факторів

Інтервал варіювання та рівень факторів	Рівень тиску на виході з насоса, МПа·10	Газовміст, %	Гальмівний момент на валу гідромотора, Н·м
Нульовий рівень, $x_i = 0$	6,25	20	0,15
Інтервал варіювання, $\delta_i$	0,75	20	0,05
Нижній рівень, $x_i = -1$	5,5	0	0,1
Верхній рівень, $x_i = +1$	7	40	0,2
Кодове позначення	$x_1$	$x_2$	$x_3$

Перший етап присвячено кодуванню факторів, яке необхідно було для переведення натуральних факторів в безрозмірні величини, на підставі яких будували стандартну планматрицю експерименту, яку наведено в таблиці 1.

Зв'язок між кодовим та натуральним виразом факторів здійснювали за формулою

$$x_i = (X_i - x_{i0})/\delta_i, \quad (1)$$

де  $X_i$  — натуральне значення фактора;  $x_{i0}$  — значення його фактора на нульовому рівні;  $\delta_i$  — інтервал варіювання його фактора.

Другий етап передбачав рандомізацію дослідів. Дослідження [13] використовували таблицю випадкових чисел з послідовністю проведення дослідів: 2, 3, 1, 2, 4, 1, 3, 4. Зауважимо, що паралельні досліді передбачалися для оцінки відтворення дослідів та визначення статистичних оцінок.

Третій етап присвячено серії експериментів, результати яких використовували для побудови лінійної моделі. При трьох змінних параметрах (рисунок 3) ставили експеримент (напіврепліку) в точках 2, 3, 5 і 8. Далі ставили експеримент у центрі та перевіряли гіпотезу

адекватності. При виявленні адекватності моделі далі проводили експеримент в декількох точках, розташованих на відстані  $d$  від центру (зіркові точки). Зазначимо, що при умові неадекватності моделі, необхідно було б проводити повний факторний експеримент і реалізувати його в усіх вершинах кубу.

З метою забезпечення ортогональності плану другого порядку перевіряли виконання умови

$$x'_i = x_i^2 - \bar{x}_i^2, \quad (2)$$

де  $\bar{x}_i^2 = (2^k + 2d^2)/(2^k + 2k + 1)$ ;  $k$  — кількість факторів.

У нашому випадку умова (2) виконувалась. При проведенні експерименту для кількості факторів  $k = 3$  загальна кількість дослідів була  $n = 15$  та відстань від центру до точки  $d = 1,2154$  [12]. На підставі цих даних отримали ортогональний план другого порядку для трифакторного експерименту (таблиця 2), де у позначено частоту обертання вала гідромотора.

Упродовж експерименту температуру робочої рідини підтримували у діапазоні 50–55°C і контролювали термометром Т. Доведення температури робочої рідини до 50–55°C досягалось шляхом її пропускання через запобіжний клапан, який працював у переливному режимі. При проведенні експериментів тиск у гідроагрегаті встановлювали за допомогою запобіжного клапана КЗ, який працював у переливному режимі, і контролювали за допомогою зразкового манометра МН1.

Включали асинхронний електродвигун М (рисунок 1) з постійною частотою обертання, який обертав вал об'ємного насоса Н. Змінювали тиск на вході гідроагрегата за допомогою гідравлічного клапана тиску КЗ та навантаження на гідромоторі М за допомогою механічного дискового гальма, який регулювався гальмівним гідроциліндром Ц. Регулювання положення гальмівного гідроциліндра Ц здійснювалося від ручного насоса РН. Реєстрували тиск перед гідромотором М та у гідросистемі його гальмування. Для цього на вході в гідромотор та у системі гальмування були вмонтовані перетворювачі тиску

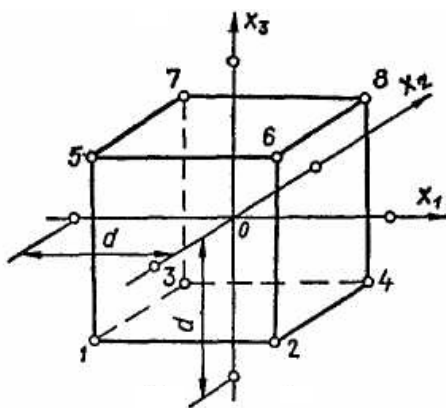


Рисунок 3 — Побудова плану експерименту

Таблиця 2 — Центральне композиційне ортогональне планування експерименту другого порядку

Дослід	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1^2 - 11/15$	$x_2^2 - 11/15$	$x_3^2 - 11/15$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$y$
Планування типу $2^3$	+1	-1	-1	-1	4/15	4/15	4/15	+1	+1	+1	6,13
	+1	+1	-1	-1	4/15	4/15	4/15	-1	-1	+1	7,2
	+1	-1	+1	-1	4/15	4/15	4/15	-1	+1	-1	6,4
	+1	+1	+1	-1	4/15	4/15	4/15	+1	-1	-1	9,07
	+1	-1	-1	+1	4/15	4/15	4/15	+1	-1	-1	5,87
	+1	+1	-1	+1	4/15	4/15	4/15	-1	+1	-1	8,8
	+1	-1	+1	+1	4/15	4/15	4/15	-1	-1	+1	5,07
	+1	+1	+1	+1	4/15	4/15	4/15	+1	+1	+1	8,8
Зіркові точки	+1	-1,215	0	0	23/30	-11/15	-11/15	0	0	0	4,27
	+1	+1,215	0	0	23/30	-11/15	-11/15	0	0	0	9,07
	+1	0	-1,215	0	-11/15	23/30	-11/15	0	0	0	6,13
	+1	0	+1,215	0	-11/15	23/30	-11/15	0	0	0	6,13
	+1	0	0	-1,215	-11/15	-11/15	23/30	0	0	0	5,33
	+1	0	0	+1,215	-11/15	-11/15	23/30	0	0	0	6,13
Нульова точка	+1	0	0	0	-11/15	-11/15	-11/15	0	0	0	6,4

ПД.20/2, сигнали від яких реєстрували за допомогою багатоканального вимірювального пристрою БВП на базі ноутбука. Частоту обертання вала гідромотора М фіксували за допомогою датчика частоти обертання Д40, сигнали від якого також реєструвалися багатоканальним вимірювальним пристроєм БВП.

Дослідження проводили при різному вмісту нерозчиненого повітря у робочій рідині. За допомогою редукційного клапана КР блока підготовки повітря змінювали об'ємну витрату повітря, що надходить від компресора К до всмоктуючого патрубку насоса Н. Ротаметром РА контролювали витрату повітря, яка надходила до робочої рідини. Після кожного досліді брали пробу робочої рідини з вимірювального баку ВБ. Шляхом порівняння після відстою відібраних проб протягом 3-х діб визначали вміст розчиненого повітря у робочій рідині. Реєстрували при цьому зміну тиску перед гідромотором, частоту обертання вала (за допомогою датчика частоти обертання Д40) та навантаження на його валу (тиск у гальмівній системі) при фіксованих значеннях газівмісту робочої рідини і тиску на вході до гідромотора. Одночасно вимірювали витрату газорідинної суміші у гідроагрегаті. Змінювали перепад тиску на гідромоторі та навантаження на його валу за допомогою дискового гальма, що приводиться до дії від гідроциліндра Ц. Деякі з осцилограм показано на рисунках 4–7.

### Результати досліджень

Розрахунок похибок вимірювання здійснювався з використанням статистичних методів. Виключали грубі виміри, використовуючи критерій Стьюдента, для яких його значення перевищує табличне. Випадкові похибки визначали з теорії малих вибірок. Приймали, що закон

розподілу похибок нормальний. Знаходили найбільш імовірне значення вимірюваної величини. Зауважимо, що для всіх вимірів довірчу імовірність приймали постійною і такою, що дорівнює 0,95. Виходячи з цього розраховували довірчій інтервал усіх вимірюваних величин. Використовували поправки Стьюдента, які враховують кінцеве число дослідів.

Розрахунками встановлено, що вимірювання проводили з відносною середньою квадратичною похибкою, яка при вимірюванні нестационарного тиску складає 3,2%, витрати — 1,9%, частоти обертання вала гідромотора — 2,3%, навантаження на гідромоторі — 1,6%, об'єму повітря — 3,8%, газівмісту робочої рідини — 4%. Причому з імовірністю, яка дорівнює 0,95, можна стверджувати, що значення вимірюваних величин знаходились у довірчому інтервалі, при якому максимальне відхилення від їх середнього вимірюваного значення не більше: для тиску та пульсацій тиску — 6%; витрати — 4,5% частоти обертання вала гідромотора — 4,7%, навантаження на гідромоторі — 5%, об'єму повітря — 5,4%, газівмісту робочої рідини — 5,5%.

За результатами експерименту заповнювали останній стовпець таблиці 2, де замість у підставляли його значення — частоту обертання вала гідромотора, встановлену за результатами обробки експериментально отриманих осцилограм. У загальному випадку функція лінійної моделі частоти обертання вала гідромотора (функція відгуку) визначається поліномом [12]

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i<j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (3)$$

де  $b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii}$  — коефіцієнти регресії, які визначаються за

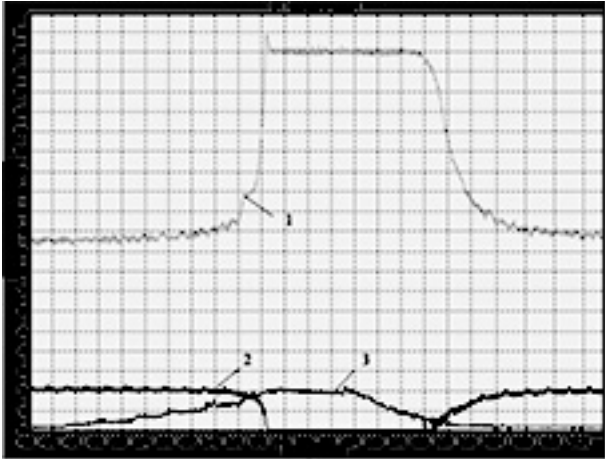


Рисунок 4 — Осцилограми зміни тиску 1 перед виконавчим механізмом, частоти обертання 2 та навантаження 3 на його валу: газовміст  $PP z = 0 \%$ ;  $p = 0,85$  МПа

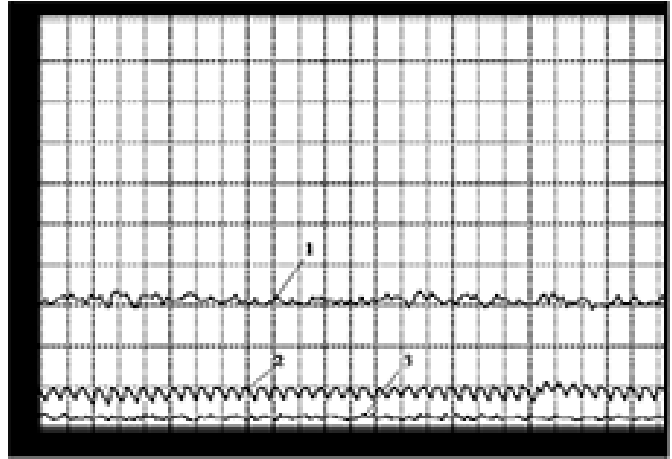


Рисунок 5 — Осцилограми зміни тиску 1 перед виконавчим механізмом, частоти обертання 2 та навантаження 3 на його валу: газовміст  $PP z = 20 \%$ ;  $p = 0,4$  МПа;  $M = 0,6$  Н·м

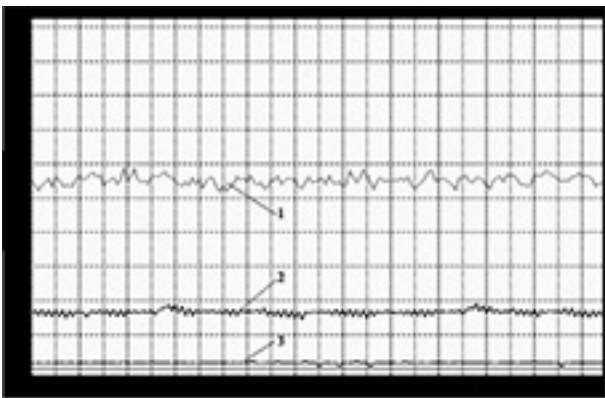


Рисунок 6 — Осцилограми зміни тиску 1 перед виконавчим механізмом, частоти обертання 2 та навантаження 3 на його валу: газовміст  $PP z = 20 \%$ ;  $p = 0,85$  МПа;  $M = 1,25$  Н·м

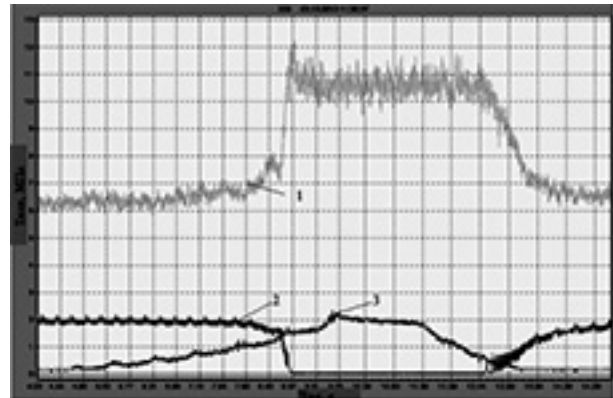


Рисунок 7 — Осцилограми зміни тиску 1 перед гідромотором, частоти обертання 2 та навантаження 3 на валу гідромотора: газовміст  $PP z = 20 \%$ ;  $p = 0,85$  МПа

результатами експериментів, за формулами

$$b_0 = \sum_{u=1}^n \bar{y}_u / n; \quad b_i = \sum_{u=1}^n x_{iu} \bar{y}_u / n;$$

$$b_j = \sum_{u=1}^n x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u / n,$$

$i$  — номер стовпця в матриці планування експерименту,  $\bar{y}_u$  — середнє значення вихідної величини (частоти обертання валу гідромотора) в одній серії дослідів,  $u$  — *ите* сполучення рівнів факторів.

Підставляючи в (3) коефіцієнти регресії для частоти обертання валу гідромотора, переходили до звичайної форми запису функції відгуку, приводили її до нормального вигляду та отримали її вид через натуральні значення факторів.

$$\begin{aligned} n_m = & -7,325 - 1,98 p_m - 0,002 z_p + 0,68 M \\ & + 0,004 p_m z_p + 0,26 p_m M - 0,003 z_p M + \\ & + 3 p_m^2 + 0,002 z_p^2 + 0,236 M^2 \end{aligned} \quad (4)$$

де  $p_m$  — тиск на гідромоторі,  $кгс/см^2$ ;  $z_p$  — газовміст у робочій рідині, %;  $M$  — момент на валу гідромотора,  $Н·м$ .

Аналітична залежність частоти обертання вала гідромотора від перепаду тиску на ньому, моменту на його валу та газовмісту в робочій рідині (4) є шуканою функцією відгуку.

Результати розрахунків дисперсії коефіцієнтів регресії показали, що вона знаходиться в межах 0,0032—0,5, що свідчить про достатньо високу точність розробленої математичної моделі. Перевіряли відтворення процесу за критерієм Кохрена  $G$ . За результатами розрахунку  $G$  становить 0,32, а його табличне значення  $G_{(0,05, f_u, f_v)} = 0,3346$ . Отже, умова відтворення процесу виконується.

Перевірку адекватності математичних моделей з експериментальними даними проводили за критерієм

Фішера для чого розраховували дисперсію адекватності та дисперсію відтворення. Розрахунок дисперсії адекватності із результатами експериментальних досліджень проводили для вибраних 25-ти точок порівняння при довірчій достовірності 0,95 та числа точок більше ніж 20.

Зазначимо, що математична модель є адекватною, якщо розраховане значення критерію Фішера менше табличного. У результаті розрахунків встановили, що дисперсія адекватності дорівнює 0,256, критерій Фішера — 3,175, а його табличне значення — 3,2874 [14]. Таким чином, розраховане значення критерію Фішера менше табличного і математична модель є адекватною. Порівняння експериментально отриманих характеристик гідроагрегата з розрахованими, за допомогою розроблених математичних моделей [15], показало, що максимальна похибка не перевищує 5 %, що також свідчить про їх адекватність.

Аналіз робочого процесу гідромотора у складі гідроагрегата за осцилограмами тиску на вході до гідромотора, тиску в гідравлічній гальмівній системі та частоти обертання вала гідромотора показав, що частота обертання вала гідромотора та гальмівний момент на ньому значною мірою залежить від газомісту робочої рідини. Установлено, що зі збільшенням газомісту в ній спостерігається коливання частоти обертання вала гідромотора з амплітудою 10 % від усталеного руху та частотою 33 Гц. Експериментально доведено, що для забезпечення стабільної частоти обертання гідромотора газоміст робочої рідини повинен не перевищувати 5 %.

### Висновки

Розроблено план другого порядку трифакторного активного експерименту, що дозволило зменшити кількість дослідів при визначенні впливу газомісту робочої рідини на характеристики гідромотора у складі гідроагрегата. Доведено, що відносні середні квадратичні похибки вимірюваних величин не перевищують 4 %, а значення вимірюваних величин, з імовірністю 0,95, знаходились у довірчому інтервалі у якому максимальне їх відхилення від середнього вимірюваного значення не перевищує 5,5 %.

Уперше за результатами експериментальних досліджень встановлено вплив газомісту робочої рідини та навантаження на валу гідромотора на його частоту обертання. Отримана лінійна модель частоти обертання вала гідромотора залежно від навантаження на його валу та газомісту в робочій рідині, яка дозволяє проводити раціональний вибір робочих параметрів ГА. З використанням критерію Фішера доведено її адекватність.

Установлено, що зі збільшенням газомісту в робочій рідині спостерігається коливання частоти обертання вала гідромотора з амплітудою 10 % від усталеного руху та частотою 33 Гц. Експериментально доведено, що для забезпечення стабільної частоти обертання гідромотора газоміст робочої рідини повинен не перевищувати 5 %.

### Література

1. Машиностроительный гидропривод / Л.А. Кондаков, Г.А. Никитин, В.Н. Прокофьев и др. — М.: Машиностроение, 1978. — 495 с.
2. Башта, Т.М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем / Т.М. Башта. — М.: Машиностроение, 1974. — 606 с.
3. Свешников, В.К. Станочные гидроприводы: справочник / В.К. Свешников — М.: Машиностроение. — 1995. — 448 с.
4. Скрицкий, В.Я. Эксплуатация промышленных гидроприводов / В.Я. Скрицкий, В.А. Рокшевский. — М.: Машиностроение. — 1984. — 170 с.
5. Прокофьев, В.Н. Экспериментальное исследование упругих свойств двухфазных рабочих жидкостей гидроприводов объемного типа / В.Н. Прокофьев, И.А. Лузанова, Ж.Б. Емченко, А.В. Осецкая // Транспортное и энергетическое машиностроение. — М.: Машиностроение. — 1968. — № 2. — С. 87—93.
6. Лурье, З.Я. Исследование рабочего процесса мехатронного гидроагрегата системы смазки металлургического оборудования с учетом характеристик двухфазной жидкости / З.Я. Лурье, И.М. Федоренко // MOTROL: Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. — Lublin. — 2010. — Vol. 12 С. 10—25.
7. Аврунин, Г.А. О выборе рабочей жидкости и средствах ее кондиционирования в объёмных гидроприводах мобильных машин. / Г.А. Аврунин // Промислова гідравліка і пневматика. — Вінниця: ВДАУ. — 2005. — №2(8). — С. 5—11.
8. Аврунин, Г.А. Повышение надежности, долговечности гидрооборудования и минеральных масел при применении в гидросистемах гидродинамических диспергаторов / Г.А. Аврунин — М.: НИИмаш. — 1982. — 28 с.
9. Объемный гидропривод и гидропневмоавтоматика: учеб. пособие / Г.А. Аврунин, И.В. Грицай, И.Г. Кириченко и др. — Х.: ХНАДУ. — 2008. — 412 с.
10. Прокофьев, В.Н. Определение критерия упругости гидропривода / В.Н. Прокофьев, И.А. Лузанова // Транспортное и энергетическое машиностроение. — М.: Машиностроение, 1966. — № 7. — С. 70—74.
11. Снижение содержания воздуха и воды в рабочих жидкостях гидравлических систем: Обзор / В.А. Рокшевский, В.В. Татков, Г.Ф. Ливада и др. — М.: НИИмаш. — 1981. — 58 с.
12. Винарский, М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье. — К.: Техника. — 1975. — 168 с.
13. Большев, Л.Н. Таблицы математической статистики / Л.Н. Большев, Н.В. Смирнов. — М.: Наука, 1965. — 465 с.

14. Планування та обробка результатів випробувань гідропневмосистем: навч. посіб. / А.О. Коваленко, Д.О. Сьомін, А.С. Роговий, М.В. Пілавов. — Луганськ: СХУ ім. В. Даля, 2011. — 216 с.

15. Панамарьова, О.Б. Поліпшення характеристик гідроагрегатів живлення малої потужності для гідросистем шляхом визначення їх раціональних параметрів: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.05.17 / Панамарьова Ольга Борисівна. — Х., 2014. — 20 с.

## References

1. Mashinostroitelny gidroprivod / L.A. Kondakov, G.A. Nikitin, V.N. Prokofyev i dr. — M.: Mashinostroyeniye, 1978. — 495 s.

2. Bashta, T.M. Obyemnye nasosy i gidravlicheskiye dvigateli gidrosistem / T.M. Bashta — M.: Mashinostroyeniye, 1974. — 606 s.

3. Sveshnikov, V.K. Stanochnye gidroprivody: spravochnik / V.K. Sveshnikov — M.: Mashinostroyeniye. — 1995. — 448 s.

4. Skritsky, V.Ya. Eksploatatsiya promyshlennykh gidroprivodov / V.Ya. Skritsky, V.A. Rokhshevsky. — M.: Mashinostroyeniye. — 1984. — 170 s.

5. Prokofyev, V.N. Eksperimentalnoye issledovaniye uprugikh svoystv dvukhfaznykh rabochikh zhidkostey gidroprivodov obyemnogo tipa / V.N. Prokofyev, I.A. Luzanova, Zh.B. Yemchenko, A.V. Osetskaya // Transportnoye i energeticheskoye mashinostroyeniye. — M.: Mashinostroyeniye. — 1968. — № 2. — S. 87—93.

6. Lurye, Z.Ya. Issledovaniye rabocheho protsessa mekhatronnogo gidroagregata sistemy smazki metalurgicheskogo oborudovaniya s uchetom kharakteristik dvukhfaznoy zhidkosti / Z.Ya. Lurye, I.M. Fedorenko // MOTROL: Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. — Lublin. — 2010. — Vol. 12 S. S. 10—25.

7. Avrunin, G.A. O vybere robochey zhidkosti i sredstvakh eye konditsionirovaniya v obyomnykh gidroprivodakh mobilnykh mashin. / G.A. Avrunin // Promislova gidravlika i pnevmatika. — Vinnitsya: VDAU. — 2005. — №2(8). — S. 5—11.

8. Avrunin, G.A. Povysheniye nadezhnosti, dolgovechnosti gidrooborudovaniya i mineralnykh masel pri primenenii v gidrosistemakh gidrodinamicheskikh dispergatorov / G.A. Avrunin — M.: NIImash. — 1982. — 28 s.

9. Obyemny gidroprivod i gidropnevmoavtomatika: ucheb. posobiye / G.A. Avrunin, I.V. Gritsay, I.G. Kirichenko i dr. — Kh.: KhNADU. — 2008. — 412 s.

10. Prokofyev, V.N. Opredeleniye kriteriya uprugosti gidroprivoda / V.N. Prokofyev, I.A. Luzanova // Transportnoye i energeticheskoye mashinostroyeniye. — M.: Mashinostroyeniye, 1966. — № 7. — S. 70—74.

11. Snizheniye soderzhaniya vozdukha i vody v rabochikh zhidkostyakh gidravlicheskikh sistem: Obzor / Rokhshevsky

V.A., Tatkov V.V., Livada G.F. i dr. — M.: NIImash. — 1981. — 58 s.

12. Vinarsky, M.S. Planirovaniye eksperimenta v tekhnologicheskikh issledovaniyakh / M.S. Vinarsky, M.V. Lurye. — K.: Tekhnika. — 1975. — 168 s.

13. Bolshev, L.N. Tablitsy matematicheskoy statistiki / L.N. Bolshev, N.V. Smirnov. — M.: Nauka, 1965. — 465 s.

14. Planuvannya ta obrobka rezultativ viprobuvan gidropnevmosistem: navch. posib. / Kovalenko A.O., Syomin D.O., Rogovy A.S., Pilavov M.V. — Lugansk: SNU im. V. Dalya, 2011. — 216 s.

15. Panamaryova, O.B. Polipshennya kharakteristik gidroagregativ zhivlennya maloї potuzhnosti dlya gidrosistem shlyakhom viznachennya ikh ratsionalnikh parametriv: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk : 05.05.17 / Panamaryova Olga Borisivna. — Kh., 2014. — 20 s.

Надійшла 28.01.2015

УДК 62 82 (075)

## Экспериментальное исследование влияния газосодержания рабочей жидкости и нагрузки на валу гидромотора на его частоту вращения

П.Н. Андренко,  
О.Б. Панамарьова,  
М.С. Свиноренко

Описан экспериментальный стенд для исследования частоты вращения гидромотора установленного в объемном гидроагрегате. Проведено обоснование выбора измерительных приборов, методики измерений и рассчитаны ошибки измеряемых величин. Разработан план второго порядка трифакторного активного эксперимента. Приведены результаты экспериментальных исследований влияния газосодержания рабочей жидкости и нагрузки на валу гидромотора на его частоту вращения. Получена линейная модель частоты вращения вала гидромотора в зависимости от указанных факторов. Используя критерия Фишера доказана ее адекватность. Установлено граничное значение газосодержания в рабочей жидкости при котором обеспечивается стабильная частота вращения гидромотора.

Ключевые слова: гидромотор, газосодержание, рабочая жидкость, планирование эксперимента, частота вращения, линейная модель, ошибка измерений.



UDC 62 — 82 (075)

**Experimental study how to influence gas concentration of hydraulic fluid and the hydraulic motor shaft load to its frequency rotation**

**P.M. Andrenko,  
O.B. Panamariova,  
M.S. Svinarenko**

Describing the experimental researching stand of hydraulic motor frequency rotation, which was installed into the solid hydraulic unit. It was confirmed the choice of measurement

methods and devices as well as errors of measurement figures calculation. The scheme of second order tri — factorial active experiment was developed. Provided results of experimental study how to influence gas concentration of hydraulic fluid and the hydraulic motor shaft load to its frequency rotation. The linear model of the hydraulic motor shaft frequency rotation against different factors was received. The linear model adequacy was proved using Fisher's test. Established limit value of gas concentration into hydraulic fluid that to secure the stable of hydraulic motor rotation.

*Keywords: hydraulic motor, gaz concentration, hydraulic fluid, planning of test, frequency rotation, linear model, error of measurement.*