

О. Б. ПАНАМАРЬОВА

НАДІЙНІСТЬ ГІДРОСИСТЕМИ ПІДЙОМНОГО МЕХАНІЗМУ СТРІЛОВОГО КРАНУ З АВТОМАТИЧНИМ РЕГУЛЯТОРОМ ШВИДКОСТІ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ЕКОНОМІЧНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ

Наведено результати розрахункових досліджень надійності гідросистеми підйомного механізму стрілового крану, що містить гідроагрегат живлення з запобіжним клапаном з осциляцією. Наведено порівняльний аналіз надійності та економічної ефективності гідроагрегата живлення в залежності від типів насосів та вібраційного контура.

Results of calculation researches of reliability of hydraulic systems of the elevating mechanism the crane pointer which includes the hydraulic unit with a safety valve with oscillation are resulted. The comparative analysis of reliability and economic efficiency of the hydraulic unit is resulted depending on types of pumps and a vibrating contour.

Вступ

Сучасний виробник гідроагрегатів і гідроапаратури, що входить до їхнього складу, намагається щоб його продукція відповідала сучасному рівню технічних вимог – відрізнялася високими питомими показниками і ККД. Однією з основних вимог, які пред'являються як до гідроагрегатів живлення (ГАЗ), так і до їх елементів є надійність. Зазвичай параметри надійності (імовірність безвідмовної роботи, середнє напрацювання до відмови та ін.) вказані в технічній документації на гідроагрегат і впливають на його конкурентоспроможність та ціну. Необхідно відмітити, що надійність сучасних гідроагрегатів та гідроапаратури, яка входить до їхнього складу, весь час зростає, позначаючись на їхній ціні та економічній ефективності.

1. Огляд літературних джерел

Проведений нами огляд літературних джерел дозволив встановити, що в них розглядається надійність окремих елементів гідравлічних систем (ГС). Наприклад, в [1, 2] розглядаються показники надійності насосів, гідроапаратів, інших елементів ГС. Розглянуті методи їхнього розрахунку та визначення. Однак в них не розглядаються питання впливу надійності на економічну ефективність ГС та гідроапаратів.

2. Мета і постановка задачі

Метою даної статті є оцінка надійності ГС підйомного механізму стрілового крану з використанням ГАЗ з ЗК з осциляцією та АРШ і визначення впливу надійності на економічну ефективність.

3. Гідравлічна система підйомного механізму стрілового крану з використанням АРШ

Дослідження показників надійності проведемо на прикладі ГАЗ з запобіжним клапаном (ЗК) з осциляцією, що входить до ГС підйомного механізму стрілового крану, гідравлічна схема якої наведено на рис. 1.

Ми пропонуємо замість делителя потоку [3] включити до складу ГС, що розглядається, автоматичний регулятор швидкості (АРШ) [4] для більш повного використання потужності ГАЖ з ЗК з осциляцією .

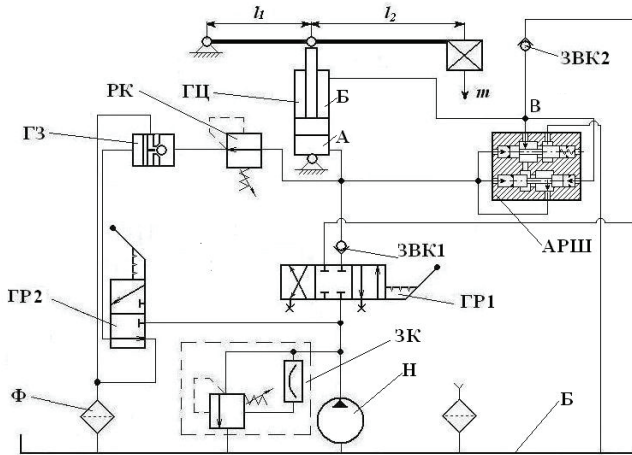


Рис. 1. Гідравлічна схема ГС підйомного механізму стрілового крану з АРШ: Н – насос, ЗК – запобіжний клапан з осциляцією, ГЦ – гідроциліндр, ГР1, ГР2 – гідророзподільники, ГЗ – гідрозамок, АРШ – автоматичний регулятор швидкості; РК – редуційний клапан, ЗВК1, ЗВК2 – зворотні клапани; Б – бак, Ф – фільтр.

Робота ГС підйомного механізму стрілового крану з АРШ відбувається наступним чином. Від насоса (Н) з постійною подачею $Q_n = const$ робоча рідина через трьохпозиційний гідророзподільник (ГР1) з ручним керуванням в середньому положенні надходить під тиском до ЗК з осциляцією, через котрий зливається в бак (Б). При перемиканні ГР1 і зміщенні його золотника в праве положення, робоча рідина проходить через ГР1 і зворотній клапан (ЗВК1) та потрапляє до поршневої порожнини гідроциліндра (ГЦ) (порожнина А) під тиском p_1 . ГЦ має два виводи з поршневої та підпоршневої порожнин, до котрих підведено автоматичний регулятор швидкості. Він може працювати в трьох режимах роботи, в залежності від навантаження виконавчого механізму.

Перший режим роботи АРШ характеризується вагою вантажу, на виконавчому механізмі

$$G \leq P_{доо} \eta_{ц}, \quad (1)$$

де G - вага вантажу; $P_{доо}$ – найбільше значення сили руху, що розвивається поршнем ГЦ; $\eta_{ц}$ – ККД ГЦ, що враховує сумарний ефект від дії сил тертя.

Пружина (рис. 2) фіксує золотник ЗЛ1 в золотниковому блоці АРШ в крайньому лівому положенні і наструюється на тиск $p_1 = p_0$ (p_0 – тиск на котрий налаштована пружина АРШ) в порожнині А.

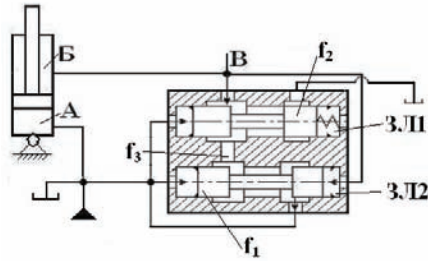


Рис. 2. Автоматичний регулятор швидкості: А – поршнева порожнина; Б – підпоршнева порожнина; ЗЛ1, ЗЛ2 – золотники АРШ; f_1, f_2, f_3 – площі каналів АРШ

Таким чином, при $P_{\text{дв}} \leq P_{\text{дв}_0}$ і відповідно $p_1 \leq p_{1_0}$, робоче вікно з площею f_2 закрито і злив з підпоршневої порожнини Б ГЦ до баку перекрито. Через те, що тиск p_2 в порожнині Б більше p_1 , то золотник ЗЛ2 знаходиться в крайньому лівому положенні і рідина з порожнини Б через канал площею f_3 між золотниками АРШ і робоче вікно з площею f_1 потрапляє до порожнини А. Робота ГЦ характеризується режимом диференційного включення.

Другий режим роботи АРШ характеризується навантаженням

$$P_{\text{дв}} = P_{\text{дв}_0} + \Delta P_{\text{дв}}. \quad (2)$$

При цьому $p_1 > p_{1_0}$, золотник ЗЛ1 стискаючи пружину, пересувається праворуч і відкриває через вікно площею f_2 , відбувається злив з порожнини Б до баку. Тиск p_2 в порожнині Б зменшується, але залишається більшим ніж p_1 , внаслідок чого зменшується швидкість руху поршня:

В третьому режимі роботи АРШ навантаження

$$P_{\text{дв}} > P_{\text{дв}_0} + \Delta P_{\text{дв}}. \quad (3)$$

В цьому випадку $p_2 < p_1$; золотник ЗЛ2 займає крайнє ліве положення і перекриває вікно площею f_1 . До порожнини А подається лише витрата від насоса. Зі збільшенням сили $P_{\text{дв}}$ під дією тиску p_1 , що збільшується доти, доки тиск робочої рідини не досягне налаштованого тиску пружини. Золотник ЗЛ1 збільшує площу f_2 робочого вікна, у зв'язку з чим тиск p_2 продовжує зменшуватися.

Для опускання поршня ГЦ перемикаємо ГР1 в крайнє положення ліворуч. В цьому випадку припиняється надходження робочої рідини до напірної магістралі. робоча рідина подається до магістралі В керування АРШ. Це необхідно для того, щоб в підпоршневій порожнині ГЦ не сталося

розриву робочої рідини при опусканні штока, що може привести до виникнення вагань ГЦ разом з навантаженням. З поршневої порожнини ГЦ1 і з АРШ робоча рідина зливається через редуційний клапан (РК), гідрозамок, який відкривається від керуючого сигналу гідророзподільника ГР2 і фільтр (відбувається опускання вантажу). Зауважимо, що відстань на яку підіймається або опускається вантаж залежить від моменту часу, в який відбувається перемикання ГР1 та ГР2.

4. Надійність ГАЖ з запобіжним клапаном з осциляцією

Для розрахунку надійності ГАЖ з ЗК з осциляцією, який входить до складу ГС підйомного механізму стрілового крану з АРШ скористаємося методом структурних схем. Він передбачає розглядання ГС як систему елементів, для яких можна визначити показники надійності та вплив відмови елементів на надійність всієї системи. Метод структурних схем застосовується для розрахунку надійності як імовірності безвідмовної роботи за умови, що всі елементи системи є одновідмовними (тобто у елементах неможливі різні відмови одночасно) і відмови елементів незалежні. При цьому основою структурної схеми є умовне зображення послідовних і паралельних з'єднань елементів, що виражають події безвідмовності їхньої роботи [1].

Відмітимо, що тип з'єднання елементів у структурній схемі залежить від впливу окремих елементів на працездатність всієї системи і не завжди збігається з монтажним з'єднанням. Структурні схеми для розрахунку надійності ГАЖ з ЗК з осциляцією, який входить до складу ГС, що розглядається наведено на рис 3. Розглянемо три структурні схеми роботи ГС, які обумовлені режимами роботи АРШ і типом робочого циклу стрілового крану (опускання стріли або підймання). На рис.3 (а, б) наведено структурні схеми ГС при нагнітанні робочої рідини (РР) для першого та другого режимів роботи АРШ, в залежності від типу навантаження крану. Оскільки третій режим роботи АРШ схематично не відрізняється від другого – він не розглядається. Для розрахунку надійності ГАЖ з ЗК з осциляцією інтерес представляє режим зливу РР, коли значно збільшується кількість елементів (див. рис. 3 (в)).

При розрахунку надійності ГС приймаємо, що всі елементи одновідмовні і відмови елементів незалежні. Вважаємо, що строк служби окремих елементів визначається експоненціальним законом розподілу. Розрахунки проводимо для 10000 годин роботи окремих елементів ГАЖ і всієї ГС, а значення інтенсивність їхніх відмов беремо з роботи [2].

Результати розрахунків надійності ГАЖ з ЗК з осциляцією (з гідравлічним вібраційним контуром (ГВК)), який входить до складу ГС підйомного механізму стрілового крану наведено в таблиці 1.

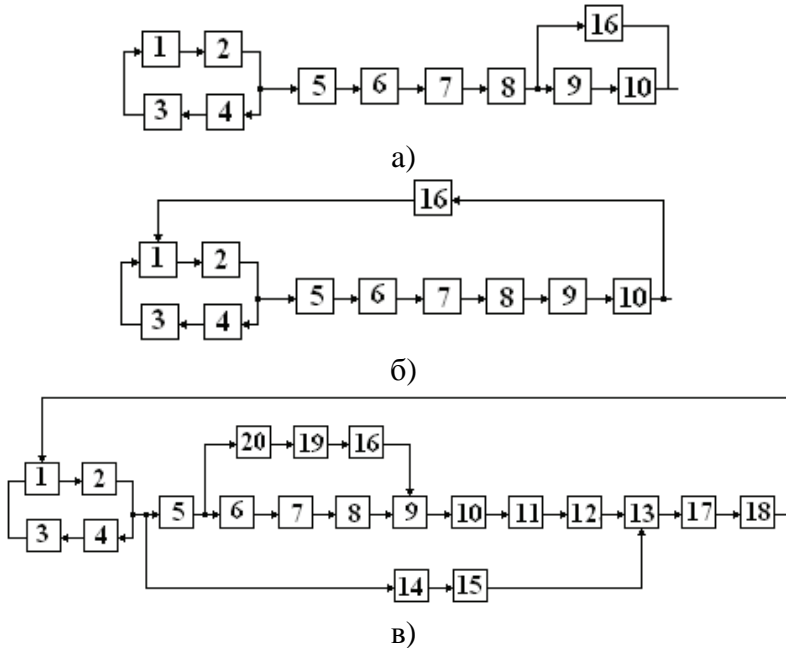


Рис. 3 – Структурна схема ГС підйомного механізму стрілового крану з використанням АРШ в трьох режимах роботи: а) перший режим нагнітання; б) другий режим нагнітання; в) режим зливу: 1 – бак; 2 – насос; 3, 6, 8, 10, 12, 15, 17, 20 – трубопровід; 4 – запобіжний клапан; 5, 14 – гідророзподільники ГР1 і ГР2; 7, 19 – зворотні клапани ЗВК1 і ЗВК2; 9 – гідроциліндр; 11 – редуційний клапан; 13 – гідрозамок; 16 – АРШ; 18 – фільтр.

Таблиця 1 – Імовірність безвідмовної роботи ГС підйомного механізму стрілового крану з різними видами вібраційного контуру

Гідроапарат	$\lambda \cdot 10^{-6}, 1/\text{год}$			P(t) в залежності від режиму роботи ГС		
	λ_{\min}	λ_{cp}	λ_{\max}	Перший	Другий	Злив
Насос шестерний	2,9	13,5	27,4			
Насос аксiально-поршневий		20				
Запобіжний клапан	7,9	10,3	14,8			
Зворотній клапан	3,27	5,7	14,1			
Редуційний клапан		7				
Гідророзподільник	1	3	7,41			
Гідрозамок	0,8	6,65	14,1			
АРШ	0,7	2,14	5,54			
Бак	0,48	1,5	2,52			
Гідроциліндр		0,01				

Трубопровід		0,7			
Фільтр		0,4			
Пружина осциляції		0,22			
Електромагніт		3,7			
Електромагніт		25			
ГС без котуру			0,726	0,731	0,63
ГС з осциляцією			0,629	0,634	0,549
ГС з ЕК			0,488	0,491	0,426

Результати досліджень надійності ГС, що розглядається виражені у графічному вигляді. На рис. 4 наведено закон розподілення імовірності безвідмовної роботи ГС. Значення імовірності безвідмовної роботи ГС в залежності від: режиму роботи АРШ наведено на рис. 5; типу вібраційного контура (гідравлічний, електричний) при нагнітанні та зливі наведено на рис. 6.

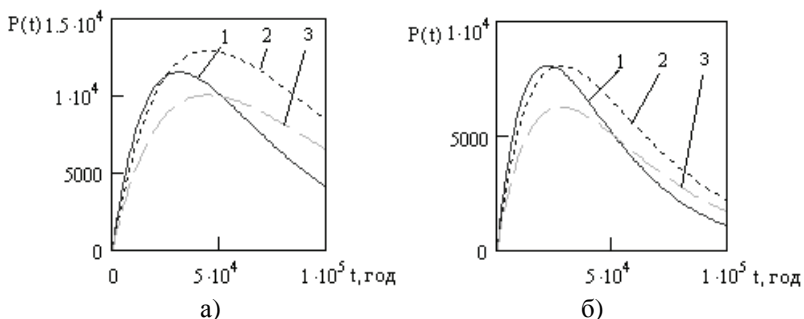


Рис. 4 – Закон розподілення імовірності безвідмовної роботи ГС: а) перший режим роботи АРШ; б) зливний режим роботи АРШ; 1 – ЗК без осциляції; 2 – ЗК з осциляцією; 3 – ЗК з ЕК.

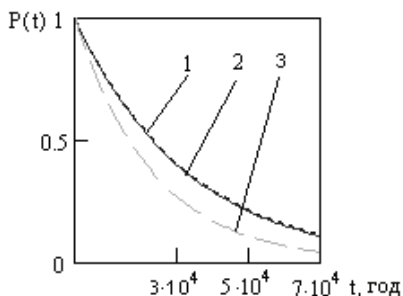


Рис. 5 – Імовірність безвідмовної роботи ГАЗ ГС підйомного механізму стрілового крану в залежності від режиму роботи АРШ: 1 – перший режим нагнітання; 2 – другий режим нагнітання; 3 – режим зливу

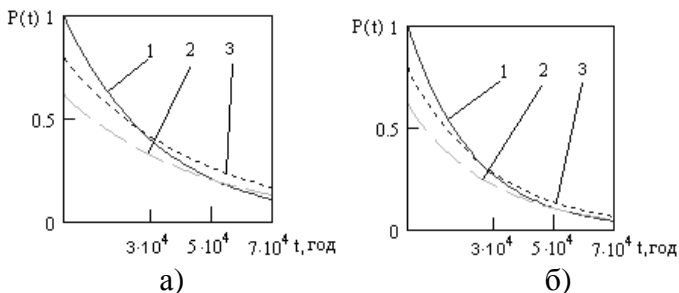


Рис. 6 – Імовірність безвідмовної роботи ГАЗ ГС підйомного механізму стрілового крану в залежності від типу вібраційного контура: а) перший режим роботи АРШ при нагнітанні; б) режим зливу; 1 – ЗК без осциляції; 2 – ЗК з ЕК; 3 – ЗК з осциляцією

Аналізуючи рис. 5 бачимо, що в значенні імовірності безвідмовної роботи ГАЗ ГС, яка розглядається в перших двох режимах роботи АРШ різниця не суттєва, хоча їх структурні схеми відрізняються. Це означає, що режим роботи АРШ має вплив на роботу ГС підйомного механізму стрілового крану, а його вплив на надійність не залежить від режиму роботи.

З рис. 6 (а, б) бачимо, що включення до ГАЗ вібраційних контурів (ЕК і ГВК) в різній мірі знижує надійність усієї ГС в початковий період роботи, як і будь-який елемент, що додається до схеми. Включення до ГАЗ клапана з осциляцією (гідравлічного вібраційного контура) забезпечує більший показник надійності ГС, як при нагнітанні РР, так і при зливі після 30000 годин напруження.

З урахуванням останнього, було проведено дослідження впливу на надійність ГАЗ з клапаном з осциляцією в залежності від типу нерегульованого насоса для трьох режимів АРШ, результати якого наведено на рис.7

З рис. 7 помітно, що використання в ГС шестерного насоса підвищує її надійність в усіх режимах роботи, на відміну від аксиально-поршневого насоса.

5. Економічна оцінка надійності

Економічна ефективність ГАЗ і ГС визначається на основі загального принципу порівняння значень технічних показників і витрат, пов'язаних з їх отриманням. Зазвичай збільшення надійності пов'язане зі збільшенням витрат на виробництво і, відповідно, ціни ГС. Але це підвищення компенсується перевагами в експлуатації за рахунок зменшення витрат на ремонт і матеріальних збитків при їх відмовах. Результати розрахунку цих витрат наведено нижче.

5.1 Вплив надійності гідрообладнання на величину капіталовкладень

Загальна сума матеріальних збитків при відмовах ГС підйомного механізму стрілового крану складається з таких витрат [5]

$$Z_6 = K + П + E, \quad (4)$$

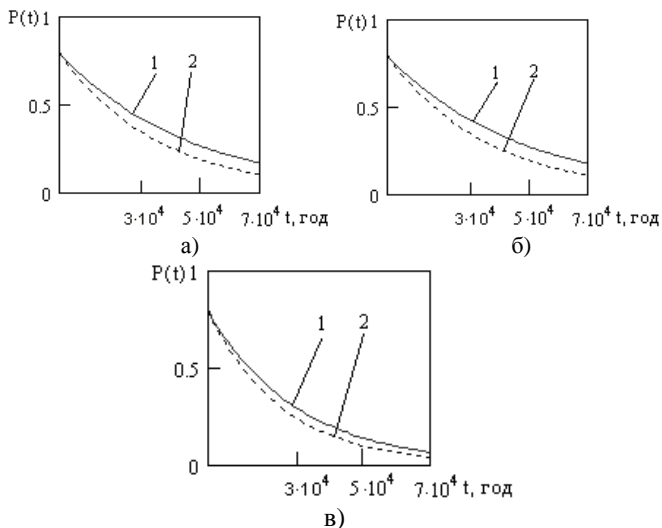


Рис. 7 – Імовірність безвідмовної роботи ГАЖ з клапаном з ослицяцією в залежності від типу насоса: а) перший режим АРШ; б) другий режим АРШ; в) режим зливу; 1 – з шестерним насосом; 2 – з аксиально-поршневим насосом

де K – витрати через недовикористання існуючого обладнання у зв'язку з відмовами, грн; Π – втрати прибутку, грн.; E – загальна величина експлуатаційних витрат, грн.

Окремо розглянемо кожен складову (4) та наведемо її визначення. Рівень надійності гідрообладнання (ГО) впливає на величину витрат на його ремонти та обслуговування. Відмова елементів ГС у багатьох випадках призводить до простою технологічних агрегатів, компонентами яких вони являються. Це, в свою чергу, викликає матеріальні збитки у зв'язку зі зниженням продуктивності роботи стрілового крану. Вихід з ладу ГС призводить до зростання загальних капіталовкладень K через недовикористання існуючого ГО у зв'язку з відмовами. Цю величину розраховуємо за формулою [5]

$$K = \frac{T_{np} \cdot C_{об}}{\Phi_o}, \quad (5)$$

де T_{np} – кількість годин простою ГО на рік у зв'язку з відмовами ГС; $C_{об}$ – ціна ГО, грн.; Φ_o – дійсний річний фонд роботи обладнання, год.

Величина T_{np} визначається за формулою

$$T_{np} = n \cdot t_p, \quad (6)$$

де t_p – середній час усунення однієї відмови, год/од.; n – середня кількість відмов, од./рік, яка визначається як

$$n = \frac{\Phi_{\partial}}{m}, \quad (7)$$

де m – фактична наробка ГС до відмови, год.

У свою чергу

$$m = P \cdot t, \quad (8)$$

де P – імовірність безвідмовної роботи ГС; t – проміжок часу, що розглядається, год.

5.2 Узагальнені показники ефективності та експлуатаційні витрати при різних рівнях надійності ГО

Кінцевий результат від втрат при відмовах ГО ГС підйомного механізму стрілового крану виявиться також у зниженні величини комерційного ефекту через зменшення прибутку. Втрати прибутку (Π) визначаються як величина коштів, що недоотримуються за час простою обладнання з урахуванням вартості години роботи обладнання та норми прибутку і визначаються за залежністю

$$\Pi = \Pi_{\text{год}} \cdot H_{np} \cdot T_{np}, \quad (9)$$

де $\Pi_{\text{год}}$ – ціна однієї години роботи крану, грн; H_{np} – норма прибутку.

Експлуатаційні збитки (E) при відмовах ГО ГС визначаються як

$$E = B_p + B_a + B_n + B_b, \quad (10)$$

де B_p – витрати на усунення раптових відмов, грн; B_a – недоамортизація основних фондів, грн; B_n – накладні витрати на одиницю продукції, грн; B_b – витрати на бензин для ремонтної служби, грн.

Розглянемо складові (10) в наведеному порядку з приведенням залежностей для визначення їх величин. Так річні витрати на непланові ремонти з усунення раптових відмов ГС розраховується за залежністю

$$B_p = n \cdot (C_m + 3_p \cdot t_p \cdot (1 + \frac{a_{zn}}{100}) + 3_p \cdot t_p \cdot \frac{e_{zn}}{100}), \quad (11)$$

де C_m – вартість матеріалів та комплектуючих на один ремонт, грн/од.; 3_p – годинна тарифна ставка ремонтників, грн/год; a_{zn} – нарахування на заробітну платню ремонтників, %; e_{zn} – накладні витрати по заробітній платні, %.

Недоамортизація ГО при відмовах визначаємо за формулою

$$A = \frac{\Pi_{\text{об}} \cdot H_a \cdot T_{np}}{\Phi_{\partial}}, \quad (12)$$

де H_a – норма амортизаційних відрахувань.

Простої ГС через відмови викликають зростання накладних витрат у вартості години роботи ГО. Ці витрати визначаємо за залежністю

$$B_n = C_{\text{сод}} \cdot (1 - H_{\text{нр}}) \cdot \gamma_n \cdot T_{\text{нр}}, \quad (13)$$

де γ_n – питома вага накладних витрат у вартості години роботи ГО.

До експлуатаційних збитків також відносяться витрати на бензин, що пов'язані з виїздами на місце аварії автомобіля ремонтної бригади з запасними частинами ГС. Ці витрати можна визначити як

$$B_{\text{б}} = 2 \cdot \frac{V}{100} \cdot C_{\text{б}} \cdot n, \quad (14)$$

де V – витрата бензину на 100 км поїздки, л; $C_{\text{б}}$ – ціна одного літра бензину, грн/л.

Визначення матеріальних збитків при відмовах елементів ГС підйомного механізму стрілового крану пороводимо за (4) – (14). Розрахунки проведені для ГС за варіантами, в залежності від типу насоса та вібраційного контура. Проведено аналіз впливу окремих статей збитків і, відповідно, вплив показників надійності ГС на економічні показники її роботи і отримані результати наведено в таблиці 2. При розрахунках взято величину середнього часа простою через відмову ГО з [6].

Отримані данні свідчать, що загальні збитки від відмом ГО складають значну величину – (43 – 67)% від вартості усієї ГС за рік, в залежності від типу насосу та вібраційного контуру. Зауважимо, що витрати на непланові ремонти ГО не мають значної величини в загальних збитках. Експлуатаційні витрати становлять (17 – 25)% від вартості ГС за рік. В них найбільша питома вага належить накладним витратам (57 – 65)%. Найбільші збитки визначають втрати прибутку, що складають (25 – 57)% від вартості ГС за рік. З точки зору економічного аналізу, з урахуванням показників надійності, найменший рівень витрат має ГС підйомного механізму стрілового крану, до складу якого входить шестерний насос та клапан з осциляцією.

Висновки

1. Результати проведених досліджень показників надійності та економічної ефективності ГС підйомного механізму стрілового крану свідчать, що більш доцільними у використанні є шестерні насоси. Найбільш позитивний вплив на ці показники має включення до ГС ЗК з осциляцією.

2. Проведено економічна оцінка надійності з урахуванням експлуатаційних витрат і збитків, пов'язаних з простоями стрілового крану через відмови ГС. Вона показала, що величина цих збитків за рік у співвідношенні до вартості ГС складають (47 - 102)%. Найменша величина збитків через відмови ГС досягається при включенні до ГАЖ ЗК з осциляцією.

3. Збільшення рівня надійності ГАЖ і ГС вцілому, зменшує простой агрегатів і машин, а також непродуктивні втрати матеріальних, трудових і фінансових ресурсів.

Таблиця 2 – Річні збитки при відмовах елементів ГС

Тип ГС	Величина витрат за типами, грн							
	Додаткові капіталовкладення, К	Витрати прибутку, П	Експлуатаційні витрати					Загальні витрати за всіма видами, З
			на непланові ремонти, B_p	на недоамортизацію, B_a	на зростання накладних витрат, B_n	на бензин, B_b	Загальні експлуатаційні витрати, E	
ГС за типами контурів для шестерного насоса								
Без контуру	4.8	1475	301	1.2	590	108	1000	2481
З ГВК	3.8	1160	237	1	463	85	787	1950
З ЕК	4.9	1496	306	1.3	598	110	1015	2515
ГС за типами контурів для аксиально-поршневого насоса								
Без контуру	6.6	2017	412	1.9	807	148	1258	3281
З ГВК	5.4	1654	338	1.6	661	121	1086	2890
З ЕК	7	2133	436	2.1	853	156	1313	3407

Список літератури: 1. Сырицин Т. А. Надежность гидро- и пневмопривода. – М.: Машиностроение, 1981. – 216 с. 2. Методичні вказівки до практичних занять з курсу “Надійність та експлуатація гідромашин та гідроприводів” / Уклад. П. М. Андренко, І. П. Гречка, В. В. Клітний, Г. В. Крикун. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2003 – 56 с. 3. В. Ф. Щербаков, В. В. Пономарев Оценка эффективности гидроприводов строительных и дорожных машин // Строительные и дорожные машины. – М.: СДМ-Пресс, 2004. – №6. – С. 26-31. 4. В. А. Дусанюк, Н. И. Иванов Автоматическое управление режимом работы гидропривода грузоподъемных устройств // Гидропривод и гидропневмоавтоматика. – К.: Техника, 1976. – №12. – С. 58 – 64. 5. Надійність занурюваних асинхронних електродвигунів та їхня економічна оцінка: Науково-виробничі видання/ Яковлев А. І., Стеценко Ю. М., Стеценко Ю. Ю. – Харків: Бурун Книга, 2007 – 96 с. 6. Бродский Г. С., Слесарев Б. В. Повышение надежности гидропривода и усовершенствование управления эксплуатацией мощных экскаваторов с использованием измерительно-информационных комплексов // Гидравлика и пневматика. №18. С. 24 –27.

Поступила в редколлегию 10.03.08