

**Обґрунтування порядку заміни тягових генераторів
ГПА-600 на основі їх надійності**

2020 рік

Зміст

Вступ	2
1. Тяговий електропривод постійного струму.....	5
2. Аналіз роботи тягових генераторів ГПА-600 та вибір раціонального порядку замін на основі їх надійності	10
2.1. Обґрунтування необхідності проведення аналізу роботи складових тягового електроприводу	10
2.2 Початкові дані.....	11
2.3. Загальна методика проведення аналізу напрацювань тягових генераторів ГПА-600.....	13
2.4. Визначення основних параметрів роботи тягового генератора ГПА-600	14
2.5. Систематизація та аналіз причин відмов тягових генераторів ГПА-600	15
3. Вибір раціонального порядку замін генераторів ГПА-600 на основі надійності їх роботи.....	20
3.1. Методика проведення розрахунків.....	20
3.2. Аналіз закономірностей зміни річного пробігу протягом терміну експлуатації кар'єрних самоскидів	23
3.3. Розробка рекомендацій щодо порядку замін тягових генераторів ГПА-600	25
4. Загальні висновки.....	28
Література.....	29

Вступ

Кар'єрні електромобілі з'явилися у зв'язку зі значним збільшенням об'ємів видобутку корисних копалин відкритим способом, що вимагало різкого підвищення продуктивності транспортних операцій перевезення гірничої маси. Їх використовують також на будівництві великих гідрокомплексів та інших роботах, пов'язаних із переміщенням на короткі відстані великих вантажів. У останні роки переважно поширені кар'єрні електромобілі (самоскиди та самоскидні автопоїзда) особливо великої вантажопідйомності (75...180 т і більше). Потрібна потужність енергоустановки 600...1500 кВт, що визначило використання на кар'єрних самоскидах теплоелектричних енергоустановок, головним чином дизель-генераторних.

Експлуатаційні умови застосування кар'єрних електромобілів обумовлені технологічною схемою транспортування гірської маси, а також організацією вантажно-розвантажувальних робіт.

Необхідно виділити наступні складові одного транспортного циклу кар'єрних електромобілів: навантажувальні операції (очікування, маневрування під навантаження, процес навантаження); рух з вантажем у вибої по тимчасових дорогах, підйом по постійних трасах до місця розвантаження після виїзду з кар'єру; розвантажувальні операції (очікування, маневрування під розвантаження, розвантаження); рух у вибій. Кар'єрні електромобілі працюють, як правило, на дорогах з ухилами до 10...12% і поліпшеним покриттям, що має повний коефіцієнт опору руху $\varphi=0,18...0,26$. Сучасні кар'єрні електромобілі характеризуються питомою потужністю дизелів 3,8...5,2 кВт/т (повної маси); їх тривале відносне тягове зусилля або динамічний фактор (відношення сумарної сили тяги до маси навантаженого електромобіля) становить у середньому 6%, а при пуску - до 20...22%; швидкість руху в тривалому режимі 15...25 км/год, а максимальні експлуатаційні швидкості 40...50 км/год. У якості службового застосовують електричне гальмування з поглинанням енергії в резисторах, питома потужність яких 6,5...7,0кВт/т.

У ряді випадків кар'єрні електромобілі експлуатуються під час перевезення гірської маси на трасах з позитивним ухилом (вантажний потік

зверху вниз), що висуває підвищені вимоги до параметрів пристроїв електричного гальмування.

Важливо підкреслити, що швидкохідні дизелі, тягове електроустаткування, шини, редуктори електромотор-коліс й інші агрегати й вузли створені спеціально для кар'єрних електромобілів з урахуванням специфіки компоновальних рішень, транспортних циклів роботи й умов експлуатації.

Вітчизняна й закордонна практика створення й експлуатації кар'єрних електромобілів-самоскидів визначила наступні тенденції розвитку кар'єрних електромобілів: планомірне підвищення вантажопідйомності від 75...77 до 150...180 т і більше при збереженні класичної колісної формули 4x2; застосування швидкохідних (1500...2100 об/хв) дизелів потужністю 700...1800 кВт, великогабаритних безкамерних шин і редукторів електромотор-коліс із передатним відношенням 21,5...36,0; використання системи тягового приводу постійного струму при вантажопідйомності до 110 т і змінно-постійного струму при більшій вантажопідйомності.

У цей час виробниками кар'єрних самоскидів застосовуються два типи електромеханічних трансмісій - постійного і змінного струмів.

Одним з найбільш перспективних самоскидів для роботи на кар'єрах Криворізького регіону є БЕЛАЗ-7513 вантажопідйомністю 130 т. На ньому застосовується трансмісія змінно-постійного струму, якій притаманний ряд особливостей у порівнянні з використовуваними раніше трансмісіями, а саме:

- як джерело живлення застосоване одноопорний генератор змінного струму з обмоткою самозбудження, уніфікований по габаритних розмірах для установки з різними дизелями;
- силовий ланцюг електропривода виконаний за схемою «електричного диференціала», у якій забезпечується примусова рівність їх струмів і моментів, що поліпшує керованість самоскида в режимі повороту, зменшує зношування шин, підвищує ресурс тягових електродвигунів;
- в електроприводі передбачене плавне, безконтактне автоматичне регулювання магнітного потоку електродвигунів у зоні максимальної напруги (як варіант, можливо й східчасте регулювання за допомогою резистора й контактора);

- забезпечується розширений діапазон ефективного електричного гальмування при русі на малих швидкостях зі збереженням значного гальмового зусилля навіть при повній зупинці самоскида;
- є також можливість ефективного електричного гальмування при русі самоскида назад, що значно знижує експлуатаційні витрати по обслуговуванню механічних гальм;
- є ефективний тиристорний захист від буксування і юза мотор-коліс;
- передбачено можливість оперативного виявлення ділянки силового ланцюга, що має зв'язок з корпусом самоскида;
- передбачено можливість контролю параметрів зовнішньої характеристики дизель-генератора шляхом навантаження генератора на власні гальмові резистори самоскида, що дозволяє робити оперативний контроль технічного стану дизель-генератора й апаратури керування без використання зовнішнього навантажувального реостата;
- здійснюється діагностика стану тягового електропривода;
- система керування має два варіанти виконання: електронні блоки або програмувальний контролер;
- застосування програмувального контролера дозволило значно підвищити надійність системи керування й коефіцієнт готовності самоскида в цілому.

1. Тяговий електропривод постійного струму

Тяговий електропривод призначений:

- для створення регульованих тягових зусиль на ведучих колесах самоскида шляхом перетворення механічної енергії дизельного двигуна в електричну енергію, а також автоматичного регулювання електричної енергії й зворотного перетворення в механічну;

- для створення регульованих гальмових зусиль на ведучих колесах при електродинамічному гальмуванні.

У тяговому режимі механічна енергія двигуна перетвориться тяговим генератором в електричну, котра надходить у тягові електродвигуни, знову перетворюється в механічну й через колісні редуктори передається на ведучі колеса автомобіля.

У режимі динамічного гальмування механічна енергія від коліс автомобіля при русі автомобіля по інерції або на спуску передається тяговим електродвигунам. При включенні в силовий ланцюг тягових електродвигунів гальмових резисторів, і подачі живлення в обмотку збудження електродвигуни починають працювати в генераторному режимі. Гальмівний момент, що виникає на валу електродвигуна забезпечує зниження швидкості автомобіля або підтримку необхідної швидкості на спуску, а енергія гальмування перетворюється в теплову й через гальмові резистори розсіюється в атмосфері. Тяговий генератор при цьому працює без навантаження або забезпечує невелику потужність, необхідну для живлення послідовних обмоток збудження тягових електродвигунів.

Тяговий електропривод автомобіля забезпечує:

- вибір напрямку руху - уперед або назад;
- плавне рушання з місця й розгін автомобіля;
- регулювання величини використовуваної потужності тягового генератора;
- повне використання номінальної потужності двигуна й стабільний режим його роботи при зміні тягового зусилля на ведучих колесах і швидкості руху автомобіля;
- динамічне гальмування;

- автоматичне обмеження максимальної швидкості руху автомобіля;
- захист електричних ланцюгів від аварійних коротких замикань при ушкодженні ізоляції;
- пересування автомобіля в зоні технічного обслуговування від стороннього джерела постійного струму потужністю 50...60 кВт і номінальною силою струму 250...300А при непрацюючому двигуні.

Необхідний режим роботи автомобіля встановлюється перемикачами, розташованими на панелі приладів, контролером ходу, заблокованим з педаллю керування подачею палива, контролером електродинамічного гальмування, пов'язаним з педаллю в кабіні водія.

Величина крутного моменту на валу тягового електродвигуна, що залежить від дорожнього опору, визначається величиною струму в його якірному ланцюзі. Струм тягового генератора дорівнює сумі струмів тягових електродвигунів. Зі зміною дорожнього опору струми тягових електродвигунів змінюються, забезпечуючи на ведучих колесах необхідне тягове зусилля відповідно до дорожніх умов.

Тому що потужність тягового генератора визначається добутком сили струму на напругу, то зі збільшенням струму генератора відбувається й збільшення його потужності. Для підтримки потужності тягового генератора постійної й виключення перевантаження двигуна при зміні сили струму змінюють і його напругу (при збільшенні струму напругу тягового генератора зменшують і навпаки).

Це забезпечується регулюванням сили струму в обмотці збудження тягового генератора, що включена в ланцюг генератора-збудника. У свою чергу струм в обмотці збудження генератора-збудника регулюється автоматичною системою, що може включати із себе: магнітні підсилювачі, трансформатори постійного струму й постійної напруги; синхронний генератор (первинний збудник) і інші апарати.

На автосамоскидах БЕЛАЗ-7512 установлений тяговий генератор ГПА-600, (рис.1) постійного струму, з незалежним збудженням, він являється джерелом живлення тягових електродвигунів.

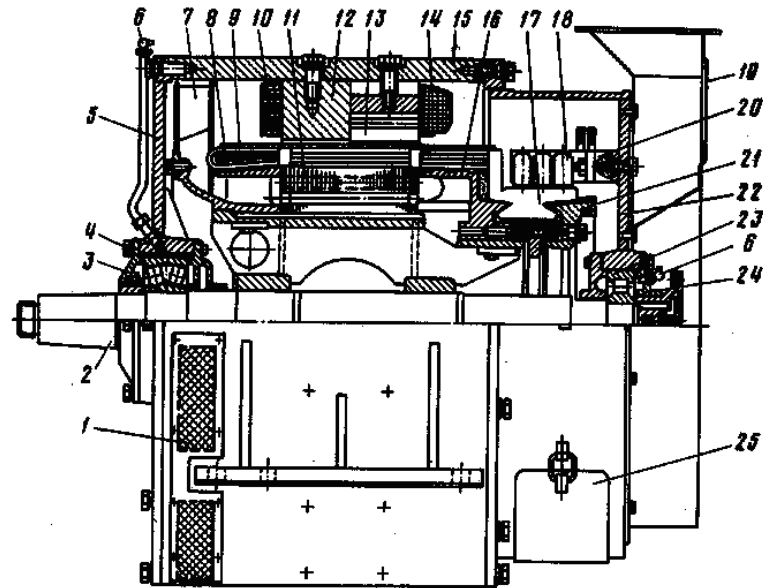


Рис. 1. Генератор тяговий:

1 - сітка; 2 - вал якоря; 3, 24 - кришки; 4, 23 - підшипники; 5 - щит підшипниковий передній; 6 - масляка; 7 - вентилятор; 8 - обмотка якоря; 9 - бандаж; 10 - обмотка, додаткового полюса; 11 - пакет якоря; 12 - полюс додатковий; 13 - головний полюс; 14 - обмотка головного полюса; 15 - станина; 16 - втулка колектора; 17 - колекторні пластини; 18 - щітки; 19 - збірник повітря; 20 - щіткотримач; 21 - конус колекторний; 22 - щит підшипниковий задній; 25 - кришка люка

Генератор кріпиться до підмоторної рами болтами й з'єднаний з колінчатим валом двигуна приводним кінцем валу якоря через муфту із пружними гумовими елементами. Колінчатий вал двигуна й вал якоря генератора зцентровані. Для самоскидів БЕЛАЗ-7512 зсув осей валів повинен бути не більше 0,15 мм, а перекіс осей валів не більше 0,5 мм на довжині 1000 мм. Центрування досягається регульовальними прокладками, що встановлюються між лапами генератора й підмоторною рамою. До другого кінця валу якоря кріпиться карданний вал привода коробки відбору потужності.

Генератор складається з нерухомої станини з головними й додатковими полюсами, щіткотримачів й обертового якоря, в обмотці якого механічна енергія перетворюється в електричну. Генератор ГПА-600 має по шість головних і по шість додаткових полюсів. На головних полюсах розміщені котушки обмоток збудження, що отримують живлення від генератора-збудника й створюють основний магнітний потік.

Додаткові полюси розташовані між головними полюсами, а їхні обмотки включені послідовно з обмоткою якоря. Додаткове магнітне поле, створюване ними, служить для поліпшення комутації (зменшення іскріння під щітками).

Технічні дані генератора наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Технічні дані генератора постійного струму ГПА-600

Параметр	Значення
Потужність, кВт	630
Напруга номінальна, В	650
Напруга максимальна, В	800
Струм тривалий, А	970
Струм максимальний на форсованому режимі, А	2400
Частота обертання якоря, об/хв	1500
Збудження	незалежне
Напруга в обмотці збудження, В	50
Маса, кг	2480

Охолодження генератора здійснюється вентилятором, убудованим у генератор. Охолоджуюче повітря засмоктується вентилятором через повітрязабірник, прикріплений до щита генератора з боку колектора, проходить через генератор і виходить через вікна в станині з боку, протилежного колектору. Вікна закриті сіткою.

Люки для огляду колектора й обслуговування щіткового вузла в робочому стані закриті кришками із запірними пристроями.

У тягових генераторах застосовуються щітки ЕГ-74 перетином 12,5x32 мм і висотою 64 мм. Припустиме зношування щіток по висоті повинно бути не більше 20 мм. Щітки, зношені більш ніж на 20 мм, замінюються новими.

В один щіткотримач встановлюються щітки з різними кутами нахилу нижніх граней (10° й 30°). Тому, при заміні щіток необхідно, щоб щітки були встановлені у відповідні гнізда щіткотримача.

При заміні щіток контролюється зусилля натискання пружин щіткотримачів на щітки, що повинне бути дорівнює 8...12 Н.

2. Аналіз роботи тягових генераторів ГПА-600 та вибір раціонального порядку заміन на основі їх надійності

2.1. Обґрунтування необхідності проведення аналізу роботи складових тягового електроприводу

Планами розвитку промисловості України передбачене подальше розширення відкритого способу видобутку корисних копалин застосування на кар'єрах нового високопродуктивного гірничо-транспортного устаткування, значне підвищення продуктивності праці.

У зв'язку з цим особливого значення набуває вдосконалення організації роботи кар'єрного автомобільного транспорту, що є найтрудомісткішою ланкою при видобутку корисних копалин відкритим способом. [1, 2, 3]

Як відзначалося раніш, основними технологічними самоскидами по транспортуванню руди на кар'єрах Кривбасу є самоскиди БЕЛАЗ вантажопідйомністю 120...130 т з електромеханічною трансмісією серії 7512 і серії 7513.

Аналіз сучасної роботи кар'єрного автомобільного транспорту свідчить про наявність значних резервів для підвищення продуктивності праці, в першу чергу за рахунок впровадження наукової організації праці і прогресивних технологічних нормативів при експлуатації і ремонті автомобілів, створення виробничо-технічної бази для зберігання, технічного обслуговування і ремонту рухомого складу, дотримання основних технічних вимог при спорудженні кар'єрних і під'їзних автодоріг [1].

При поточному плануванні з'являється можливість врахувати реальну зміну гірничотехнічних умов і застосувати разом із даними статистичної звітності розрахункові величини техніко-економічних показників роботи кар'єрного автотранспорту [4].

На даний час основним способом управління технічним станом кар'єрних автосамоскидів є планово-запобіжні системи технічного обслуговування і ремонту. Як встановлено [2] поки такі системи не є достатньо ефективними так як в основі всіх рекомендацій і розробок лежить імовірнісно-статистичний аналіз роботи основних вузлів і агрегатів. В гірничо-транспортних цехах гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу частково ведеться ручний облік роботи двигунів, агрегатів і вузлів автомобілів, але реального аналізу і практичних висновків по первинних документах

підприємства не роблять, хоча система обліку і контролю паливно-мастильних матеріалів відпрацьована на високому рівні. В даний час ВАТ БЕЛАЗ робить певні кроки в налазді системи аналізу роботи вузлів і агрегатів шляхом формування на підприємствах підконтрольних груп машин. Але такі роботи знаходяться на початковій стадії.

Ймовірно-статистичний аналіз роботи основних вузлів і агрегатів електромеханічної трансмісії досліджуваних машин, встановлення закономірностей втрат працездатності агрегатами автосамоскида, законів розподілу напрацювань на відмову дозволяють побічно враховувати вплив гірничотехнічних і техніко-економічних чинників [3]. Важливим моментом при такому підході вважається оперативність надходження інформації про відмови агрегатів і видах несправностей.

В певній мірі рішення цих задач може сприяти система обліку і контролю, що базується на інформаційному забезпеченні ремонтного виробництва з подальшим розвитком її до рівня автоматизованої системи управління. Сучасні розробки в області моніторингу дозволяють одержувати адекватну інформацію про напрацювання агрегатів і вузлів автосамоскидів, що є базою для подальшого аналізу і обробки масивів випадкових значень напрацювання об'єктів, що розглядаються, з метою оцінки їх експлуатаційної надійності. З метою оцінки надійності системи, якою є автосамоскид, слід представляти і оцінювати надійність кожного системоутворюючого агрегату відособлено, що дасть можливість якнайповніше розглядати поведінку об'єктів протягом тривалої експлуатації.

2.2 Початкові дані

Аналіз виконано по картках обліку роботи двигунів, агрегатів і вузлів автосамоскидів БЕЛАЗ вантажопідйомністю 120...130 т наданих одним з типових гірничотранспортних цехів гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу.

Всього було оброблено картки 12 автомобілів, що складає близько 30% всього робочого парку машин (табл. 2). В загальну кількість були включені і раніше оброблені картки [5] (номери 1-4), результати обробки яких служили як база для порівняння одержуваних результатів.

Напрацювання досліджуваних автосамоскидів

№	Термін експлуатації	Загальний пробіг, тис.км	Середньодобовий пробіг, км
1	8 років 2 місяці	287,4	99
2	7 років 11 місяців	428,1	153
3	8 років 10 місяців	403,0	127
4	8 років 2 місяці	318,6	110
5	7 років 9 місяців	416,7	150
6	9 років 7 місяців	377,2	110
7	7 років 11 місяців	337,6	119
8	7 років 11 місяців	403,9	143
9	8 років 5 місяців	364,3	121
10	8 років 7 місяців	396,6	129
11	6 років 8 місяців	290,6	123
12	6 років 6 місяців	317,8	138
	Середнє значення	361,82	126,83

Кожна картка складалася з 9 граф, в які були внесені: найменування агрегату, його заводський номер, дати встановлення і зняття з автосамоскида, пробіг агрегату за період роботи, пробіг автосамоскида на момент зняття агрегату, причина зняття, куди направлений агрегат і підпис відповідальної особи.

Були складені варіанти карток за допомогою електронної таблиці Excel для аналізу статистичної інформації і з метою подальшого використання аналогічних електронних карток на підприємстві для ведення машинного обліку і контролю.

Загальна кількість агрегатів, що потрапили у вибірку, представлена в таблиці 3. У вибірку не включені агрегати, які в робочому стані були зняті і переставлені на іншу машину, як під час експлуатації, так і після списання автосамоскида.

Достовірність результатів визначена за формулою [4]:

$$N = Lg(1-P_x)/Lg(1-\varepsilon_x)$$

Де P_x – рівень довірчої вірогідності, ε_x - допустима помилка.

Після створення електронних карток, дані були неодноразово сортовані залежно від поставленої задачі досліджень.

2.3. Загальна методика проведення аналізу напрацювань тягових генераторів ГПА-600

Загальна методика досліджень включала:

1. Дослідження надійності роботи агрегатів.

- обробка карток обліку за допомогою функцій «Описова статистика» і «Гістограма» надбудови «Пакет аналізу» опції «Сервіс» і функції «Фільтр» опції «Дані» електронної таблиці Excel з визначенням статистичних параметрів і побудова графіків;
- порівняння отриманих результатів з результатами інших авторів;

2. Визначення причин відмов агрегатів.

- обробка карток обліку за допомогою функції «Фільтр» електронної таблиці Excel з виявленням причин відмов і їх чисельних значень;
- аналіз замін агрегатів з угрупованням по вузлах агрегату та із причин відмов;
- побудова і аналіз графіків.

3. Вибір раціонального порядку заміни агрегатів:

- Визначення кількості заміни протягом терміну експлуатації самоскида;
- Визначення витрат, пов'язаних із заміною і ремонтом агрегату без урахування різночасності вкладень витрат;
- Визначення витрат, пов'язаних із заміною і ремонтом агрегату з урахуванням різночасності вкладень витрат;

2.4. Визначення основних параметрів роботи тягового генератора ГПА-600

Одним з основних елементів трансмісії на автосамоскидах БЕЛАЗ вантажопідйомністю 120 т є тяговий генератор ГПА-600 з характеристиками, що наведені в таблиці 4.3. [7, 8].

Всього у вибірку потрапило 153 агрегатів, у тому числі 32 нові і 121 після ремонту. Для сумарної вибірки допустима помилка складе 0,05 при рівні довірчої вірогідності 0,95. Всього автомобілі відпрацювали 4195,4 тис.км.

Середня відстань, пройдена машинами, після якої була необхідна заміна нових ГПА-600, склала 62 тис.км, відремонтованих – 18 тис.км, при цьому нові агрегати відпрацювали до 106 тис.км, а відремонтовані – до 73 тис.км.

Загальна вибірка характеризується правосторонньою асиметричністю $A=1,09$ і гостровершинним ексцесом $E=0,58$.

Абсолютна частота виходу з ладу ГПА-600 і інтегральний відсоток по групах представлений на рис. 2 - 4.

Досліджуючи напрацювання на відмову основних агрегатів і систем автосамоскида БЕЛАЗ-549 1985 року випуску обладнаного аналогічним тяговим генератором, було отримано [5] значення в 25,3 тис.км. Певна річ, що автосамоскиди більш пізнього випуску мають більше напрацювання на відмову.

Отримані значення на 10% нижче, ніж встановлені в умовах ВАТ «Олкон» [3], де середнє значення склало 32,4 тис.км, а параметр потоку відмов – 0,000031 1/км. Враховуючи, що базові моделі автосамоскидів були однаковими – БЕЛАЗ-7512, відмінність в отриманих результатах може бути обумовлена відмінністю в

гірничотехнічних умовах експлуатації автомобілів в кар'єрах і відмінністю у виробничо-технічних базах транспортних підрозділів ГЗК. Вказана відмінність підтверджує необхідність проведення статистичного аналізу роботи вузлів і агрегатів автосамоскидів на кожному гірничому підприємстві, і на підставі отриманих результатів коректувати норми напрацювання вузлів і агрегатів.

Планові норми експлуатаційного пробігу ГПА-600 на досліджуваному підприємстві складають 200 тис.км для нових і 160 тис.км для агрегатів після капітального ремонту.

За допомогою отриманих функцій можна розрахувати число ГПА, що

2.5. Систематизація та аналіз причин відмов тягових генераторів ГПА-600

У вибірку досліджень причин відмови тягових генераторів потрапило 153 одиниці, на які прийшло 25 причин відмов, в середньому 6 відмов на одну причину, частка однієї відмови в загальній кількості складає 0,65%.

Частота виходу з ладу всіх ГПА-600

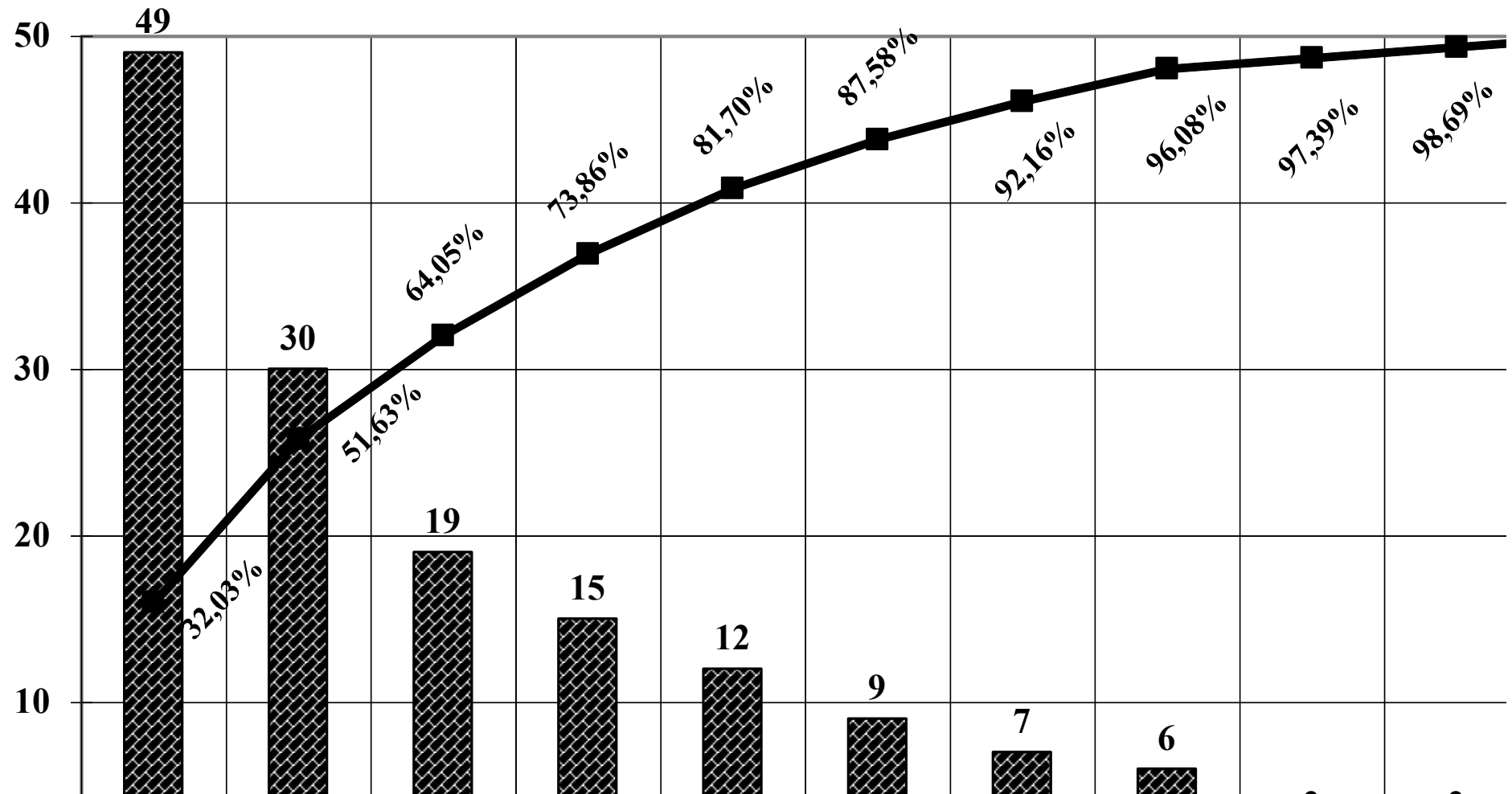


Рис. 2.

Причини, по яких необхідна заміна ГПА-600, і їх кількість наступна:

- вібрація – 4 відмови;
- заклинив підшипник - 3 відмови;
- знос підшипника - 3 відмови;
- знос шліців валу якоря - 1 відмова;
- знос вузла щітково-колектора - 13 відмов;
- міжвиткове замикання якоря - 1 відмова;
- на профілактичний огляд - 9 відмов;
- обрив валу - 1 відмова;
- обрив вивідного кабелю - 2 відмови;
- обрив незалежної обмотки - 3 відмови;
- обрив обмотки збудження - 4 відмови;
- обрив шини - 1 відмова;
- осьовий зсув якоря - 1 відмова;
- підгоряння бандажа - 2 відмови;
- підгоряння додаткового полюса - 1 відмова;
- підгоряння струмоведучих шин - 2 відмови;
- підгоряння вузла щітково-колектора - 15 відмов;
- пробій ізоляції додаткового полюса - 8 відмов;
- пробій ізоляції додаткової обмотки - 5 відмов;
- пробій ізоляції незалежної обмотки - 2 відмови;
- пробій ізоляції обмотки збудження - 11 відмов;
- пробій ізоляції якоря - 30 відмов;
- зруйнований підшипник - 5 відмов;
- розрив бандажа - 25 відмов;
- брак 4-го цеху - 1 відмова.

Аналіз розподілу відмов показав, що на 7 основних причин, кількість відмов по яких перевищує середню кількість відмов із *i-ої* причини, припадають 111 (72,5%) відмов (див. табл. 5), між собою пайовий розподіл основних відмов таке, як показано на рис. 5.

Пайова кількість основних причин відмов в загальній кількості відмов
ГПА-600

Основна причина	Частка %
Пробій ізоляції якоря	19,6
Розрив бандажа	16,3
Підгоряння вузла щітково-колектора	9,8
Знос щітково-колекторного вузла	8,5
Пробій ізоляції обмотки збудження	7,2
На профілактичний огляд	5,9
Пробій ізоляції додаткового полюса	5,2

Відмови по елементах ГПА наведені в таблиці 6 і на рис. 6.

Таблиця 6

Кількість відмов по елементах ГПА-600

Елемент ГПА	Кількість відмов
Якір	34
Щітково-колекторний вузол	28
Бандаж	27
Обмотки	25
Інші елементи	39

наліз відмов по елементах ГПА показує, що найбільш часто з ладу виходить якір, потім вузол щітково-колектора, бандаж і обмотки.

Причини виходу з ладу якоря наступні:

- пробій ізоляції (88%)
- знос шліців валу (3%)
- міжвиткове замикання (3%)
- обрив валу (3%)
- осьовий зсув (3%).

Причини виходу з ладу вузла щіткоколектора наступні:

- підгоряння (54%)
- знос (46%).

Причини виходу з ладу бандажа наступні:

- розривши, (93%)
- підгоряння (7%).

Причини виходу з ладу обмоток наступні:

- пробій ізоляції (65%)
- обривши (35%).

Розподіл відмов за характером причини представлений в таблиці 7 і на рис. 7.

Таблиця 7

Розподіл відмов за характером причини

Характер причини	Кількість
Пробій ізоляції	56
Механічне руйнування	34
Підгоряння	20
Знос	17
Обрив обмотки	10
Інші	16

Аналіз показує, що найбільш часто ГПА виходить з ладу в результаті пробою ізоляції, що свідчить про необхідність заводу-виробнику більше уваги уділити якості вживаних ізоляційних матеріалів. Розподіл пробоїв ізоляції по обмотках показано на рис. 8 і показує, що найслабшою ізоляцією є ізоляція обмотки якоря, потім обмотки збудження, додаткового полюса, додаткової обмотки, незалежної обмотки.

Механічне руйнування обумовлено двома причинами: перша пов'язана в основному (близько 70%) з розривом бандажа, а друга з руйнуванням підшипника.

75 % всіх підгорянь доводиться на підгоряння вузла щітково-колектора, потім підгоряння струмоведучих шин, бандажа і підгоряння додаткового полюса.

Найбільш часто (76%) зноситься вузол щітково-колектора, потім підшипник і вал якоря.

При експлуатації машин практично всі (за винятком незалежної обмотки) елементи ГПА виходили з ладу не менш двох разів. Аналіз показує, що найслабшим елементом ГПА є бандаж. Найнадійнішою є незалежна обмотка, яка на половині досліджуваних машин за весь термін експлуатації не виходила з ладу або її вихід своєчасно був попереджений при проведенні технічних обслуговувань і поточних ремонтів.

3. Вибір раціонального порядку замін генераторів ГПА-600 на основі надійності їх роботи

3.1. Методика проведення розрахунків

1. Визначення поточних витрат, пов'язаних з простоем автомобілів демонтажу – монтажу автомобілів:

$$C = C_{np.} + C_{м.д.}$$

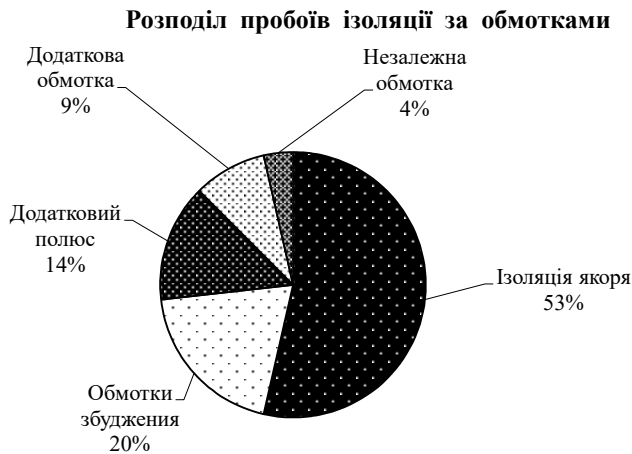


Рис. 8

де C_{np} – витрати, пов'язані з простоєм автомобіля, грн.;

$C_{м.д.}$ – витрати, пов'язані з монтажем, демонтажем, грн.

$$C_{np} = C_{ч.} * T_{р.} * K_{н.}$$

$C_{ч.}$ – витрати 1 год. простою автомобіля, грн./год;

$T_{р.}$ – час, затрачений на демонтаж – монтаж агрегату, година;

$K_{н.}$ – коефіцієнт, що урахує очікування в поставці агрегату, $K_{н.}=2$.

$$C_{м.д.} = 3П_{рр} * KЗП \quad \text{грн.}$$

$3П_{рр}$ = зароблена платня ремонтних робітників.

Почасова, зароблена платня ремонтних робітників, що розраховується як результат з годинних тарифних ставок, середнього розряду ремонтних робочих норм часу на виконання і – го виду роботи.

$$3П_{рр} = T_{р.} * C_{ч.ср.} \quad \text{грн.}$$

де $C_{ч.ср.}$ – годинна тарифна ставка ремонтних робітників середнього розряду.

$$C_{ч.ср.} = C_{ч.ср.} + (P_{ср} - P_{м.}) (C_{чб.} - C_{ч.м.}), \text{ грн/година}$$

де $C_{ч.м}$, $C_{чб}$ – годинна тарифна ставка відповідно меншого і більшого розряду.

$P_{ср}$, P_m – відповідно середній і менший розряд робітників.

Інші доплати і премії ремонтним робітником, що приймається у розмірі 30% від почасової заробленої платні.

Відрахування на соціальні заходи визначаються по діючих нормах від загальної фундації заробітної платні (37%).

$KЗП$ – коефіцієнт, що ураховує частку заробітної платні ремонтних робітників в загальних витратах підприємства на монтаж-демонтаж вузла або агрегату $KЗП = 11$ (зарплата складає 9% витрат від загальних витрат).

Об'єм вкладень, необхідних підприємству для утворення стабільної величини перехідних запасів агрегатів, розраховуються виходячи з потреби по кошторису витрат:

$$K = \sum_{i=1}^n K_n + \sum_{i=1}^m K_p$$

де : K_n – вартість нового агрегату;

n - кількість нових агрегатів, встановлених на один автомобіль;

K_p – вартість ремонту агрегату;

m – кількість агрегатів після ремонту, встановлених на один автосамоскид.

Основним параметром економіко-математичних моделей є критерій оптимальності. Нормативними документами рекомендується як узагальнюючий критерій, який характеризує економічну результативність розглянутого варіанту, приймати інтегральний показник економічної ефективності, який розраховується за формулою:

$$E^{(t)} = \sum_{t_1}^{t_k} (\Pi_t \beta_t + A_t \beta_t - K_t \beta_t + L_t \beta_t^{\Pi})$$

Де t – порядковий номер року, до якого відноситься даний показник;

t_i – рік початку фінансування робіт;

t_k – рік завершення робіт із створення, освоєння і експлуатації об'єкту;

Π_t – річний прибуток в t -м роки при реалізації продукції і послуг з оцінюваного варіанту після всіх передбачених законодавством виплат;

A_t – річний прибуток в t-ті роки амортизаційних відрахувань на реновацію основних фондів;

K_t – інвестиції на науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи, будівництво, підтримку і розвиток робіт по оцінюваному варіанту;

L_t – залишкова вартість оцінюваного об'єкту в t-м році;

β_{nt}, β_t – коефіцієнти приведення, які забезпечують облік нерівноцінності різночасних витрат і результатів

$$\beta_t^n = (1 + \gamma_t e_H)^{t_p - t}$$

$$\beta_t = (1 + e_H)^{t_p - t}$$

де γ_t – частина прибутку, який йде на накопичення в t-м році;

e_H – норма платні за капітал, приймається рівній фактичній ставці відсотка по довгострокових позиках в частинах одиниці;

t_p – розрахунковий рік, до якого приводяться всі різночасні приходи і відтоки засобів.

Якнайкращий варіант оцінюється по максимуму економічного ефекту, тобто $E^{(t)} > MAX$

Розрахункова формула має вигляд:

$$Z_c = \sum_{t=1}^8 C\beta_t + \sum_{t=1}^8 K\beta_t$$

Критерій ефективності варіанту:

$$Z_c \rightarrow MIN$$

3.2. Аналіз закономірностей зміни річного пробігу протягом терміну експлуатації кар'єрних самоскидів

При визначенні фінансових вкладень в різний час від точності визначення часу вкладення залежить кінцевий результат розрахунків, тому були проведені дослідження закономірності зміни річного пробігу протягом терміну експлуатації кар'єрних самоскидів. Дослідження виконані за відфільтрованими даними по тяговому генератору, оскільки при такій фільтрації можна простежити динаміку зміни річного пробігу протягом всього терміну експлуатації кар'єрного самоскида.

Закономірності зміни річного пробігу протягом терміну експлуатації отримані таким чином: по осі X відкладаються з накопиченням проміжки часу між замінами агрегатів, переведені в роки роботи машини, а по осі Y – розрахований річний пробіг за кожний шуканий проміжок часу. Всього було отримано 399 точок, представлених на рис. 9. По побудованих крапках була зроблена спроба провести лінії тренду лінійної, експоненціальної, логарифмічної і поліноміальної апроксимацій і отримати рівняння для прогнозування річного пробігу по роках експлуатації, проте вони мали дуже низьку величину достовірності апроксимації R^2 від 0,1644 для лінійної залежності до 0,2118 для поліноміальної. Підібрані рівняння представлені на рис. 9.

Був виконаний підбір параметра до досягнення величини достовірності апроксимації R^2 більше 0,5. (рис. 10). Такій умові задовольнила логарифмічна апроксимація з рівнянням

$$L_2 = -14532 \ln(t) + 69309$$

$$R^2 = 0,5028$$

де t – рік експлуатації. Рівняння і величина достовірності апроксимації R^2 для інших ліній тренда приведені на рис. 10.

По отриманому рівнянню отримані значення планових річних пробігів кар'єрних самоскидів по роках експлуатації (див. табл. 8).

Таблиця 8

Планові річні пробіги кар'єрних самоскидів по роках експлуатації

Рік	Розрахункові значення		Прийняті значення	
	Річний пробіг, км	Сумарний пробіг з початку експлуатації кар'єрного самоскида, км	Річний пробіг, км	Сумарний пробіг з початку експлуатації кар'єрного самоскида, км
1	69309	69309	70000	70000
2	59236	128545	60000	130000
3	53344	181889	55000	185000

Прийняті значення використані нижче для визначення року заміни агрегату.

3.3. Розробка рекомендацій щодо порядку заміни тягових генераторів ГПА-600

Для досліджень вибрані варіанти порядків виконання заміни агрегату, представлені в таблиці 9.

Таблиця 9.

Варіанти порядків виконання заміни генераторів ГПА-600

№	Суть порядку заміни
1.	Існуючий порядок заміни, який полягає в заміні агрегатів через пробіг, рівний середньому пробігу всіх агрегатів між замінами. (базовий)
2.	Порядок із заміною на нові агрегати, який полягає в заміні агрегатів через пробіг, рівний пробігу нових агрегатів між замінами

Для кожного варіанту і його видів визначені планові значення пробігів з початку експлуатації кар'єрного самоскида, при яких необхідна заміна агрегату (рис. 11) і кількість заміни по варіантах (табл. 10).

Таблиця 10

Кількість заміни по варіантах

Варіант	1	2	3А, 3Б, 3В	4А, 4Б, 4В	5А, 5Б, 5В	6А, 6Б, 6В	7
Кількість заміни	11	5	14	12	10	7	17

Мінімальна кількість заміни в 2 варіанті - із заміною на нові агрегати - 5, максимальна в 7 варіанті – із заміною на агрегати після ремонту – 17. Максимальне значення від мінімального відрізняється в 3,4 раз.

За вище наведеною методикою визначені поточні витрати, пов'язані з простоем самоскида і заміною агрегату, витрати на придбання нових і ремонт з ладу агрегатів, що вийшли, а також сумарні витрати які представлені на рис. 12 - 14.

Встановлено:

- Мінімальні поточні витрати, пов'язані з простоем самоскида і заміною агрегату у варіанті 2 – 29,6 тис.грн., це в 2,5 раз менше ніж при існуючій системі заміни агрегатів (варіант 1 - 73,9 тис.грн.), найбільш близькі до них витрати у варіанті 6В, але вони вище на 30% і складають 39,3 тис.грн. Максимальні поточні витрати, пов'язані з простоем самоскида і заміною агрегату у

варіанті 7 (із заміною на відремонтовані агрегати) – 140,3 тис.грн, що в 1,9 раз вище, ніж в базовому варіанті.

- Мінімальні витрати на придбання нових і ремонт агрегатів, що вийшли з ладу, у варіанті 3А – 391,6 тис.грн, що в 1,8 рази нижче ніж в базовому (718,0 тис.грн.). В межах 10% відхилення знаходяться витрати по варіантах 4А, 5А, 6А. Максимальні витрати по даній статті у варіанті 2 – 882,1 тис.грн, що всього на 22% перевищує існуючі витрати (варіант 1).
- Мінімальні сумарні витрати опинилися у варіанті 6А – 485,6 тис.грн. і практично рівні ним у варіантах 3А – 492,0 тис.грн. і 4А – 503,5 тис.грн.

Рекомендується для практичного застосування варіант з однією заміною на новий агрегат відразу по закінченню терміну експлуатації першого, встановленого на заводі-виробнику агрегату і подальшими замінами на агрегати після ремонту. При неможливості організувати такий порядок замін, алгоритм порядку заміни ГПА-600 наступний: по можливості замінювати на новий агрегат до 300 тис.км напрацювання кар'єрного самоскида з початку експлуатації, в подальшому доцільна заміна на агрегати після ремонту.

Економічний ефект від впровадження раціонального порядку замін ГПА-600 на одному самоскиді складе різницю між першим варіантом і варіантом 6А - 306,4 тис.грн. за термін експлуатації самоскида або 38,3 тис.грн/год, що для парку з 40 машин, типового кар'єру криворізького регіону ЦТА ІнГЗК складе 1,532 млн.грн./год.

Витрати, пов'язані із заміною ГПА і простоем машини, тис. грн.

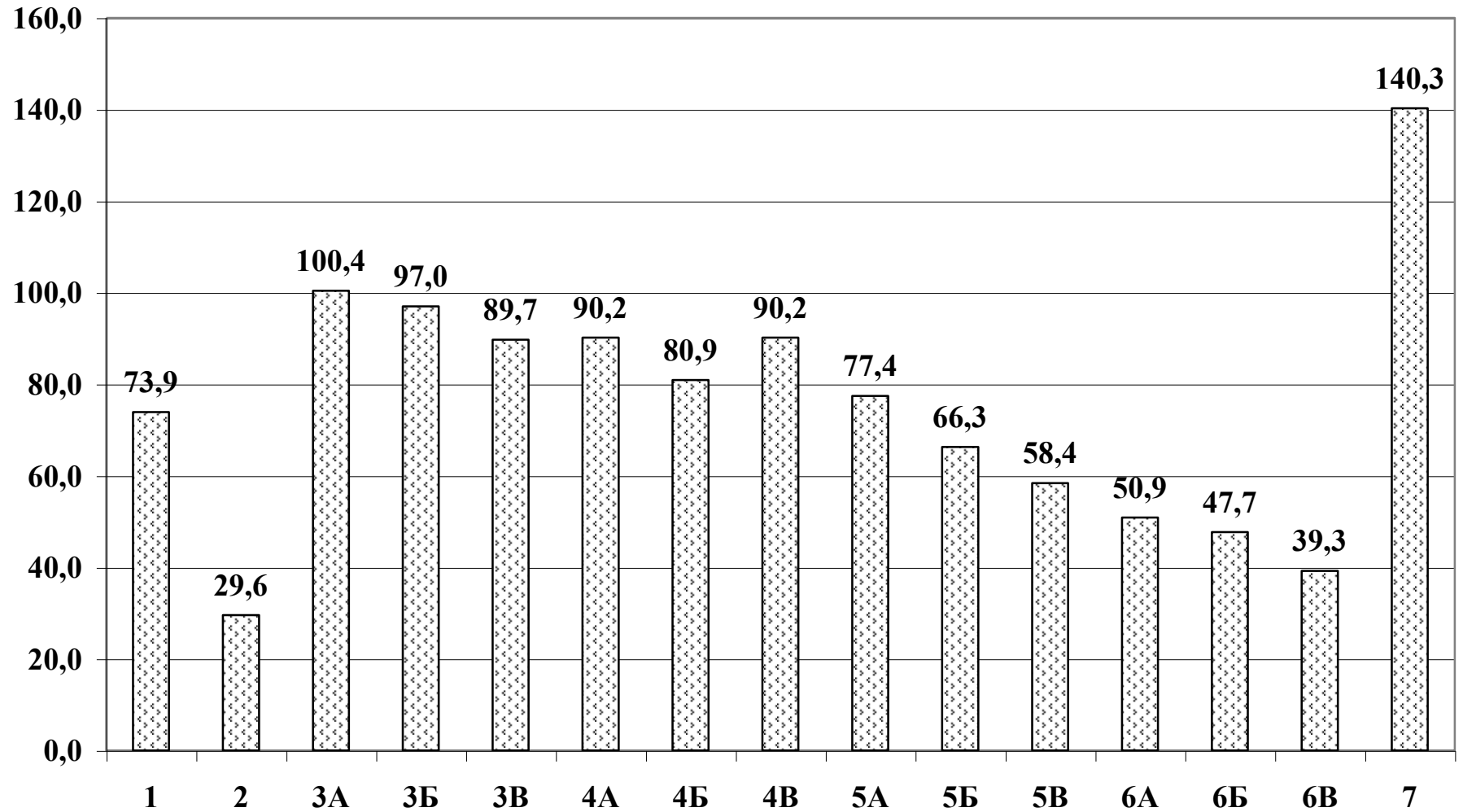


Рис. 12. Рис. 14.

4. Загальні висновки

Встановлено: середнє напрацювання тягових генераторів між замінами нових ГПА-600 – 62,0 тис.км, відремонтованих – 18,3 тис.км, в середньому всіх – 27,4 тис.км.

Встановлена закономірність зміни річного пробігу протягом терміну експлуатації кар'єрного самоскида БЕЛАЗ вантажопідйомністю 120...130 т.

На підставі результатів дослідження надійності агрегатів встановлені раціональні порядки замін агрегатів.

Для ГПА-600 рекомендується порядок із заміною на один новий агрегат після закінчення терміну напрацювання агрегату, встановленого на заводі-виробнику. Річний економічний ефект по даному агрегату на одному кар'єрному самоскиді складає 38,3 тис.грн.

Запропонований в роботі підхід і встановлені значення міжремонтних пробігів можуть послужити основою для нормування пробігу агрегатів в умовах підприємства, планування і прогнозування роботи окремих ділянок гірничотранспортного цеху гірничо-збагачувального комбінату, у тому числі відділу матеріально-технічного постачання.

Літэратура

1. Мариев П.Л., Кулешов А.А., Егоров А.Н., Зырянов И.В. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы. – СПб.: Наука, 2004. – 429 с.
2. Казарез А.Н. Кулешов А.А. Эксплуатация карьерных самоскидов с электромеханической трансмиссией. -М,: Недра, 1988.-264 с.
3. Кулешов А.А., Беликов А.А. Управление техническим состоянием большегрузных самоскидов на основе теории надежности / Горный журнал, 2001. № 8 – с. 60 – 63.
4. Карьерные самосвалы БЕЛАЗ-7514-10, БЕЛАЗ-75145 БЕЛАЗ-75131, БЕЛАЗ-75132 и их модификации Руководство по ремонту 7513-3902080 РС.- БЕЛАЗ.- 2015.
5. Карьерные самосвалы БЕЛАЗ-7514-10, БЕЛАЗ-75145 Руководство по эксплуатации 7514-3902015 РЭ.- БЕЛАЗ.- 2015
6. Положение о техническом обслуживании, диагностировании и ремонте карьерных самосвалов БЕЛАЗ. - Жодино: РУПП «Белорусский автомобильный завод», 2004. – 44 с.
7. Зотов А.А., Зырянов И.В., Пацианский С.Ф. Нормы расхода запасных частей самосвалов грузоподъемностью 120-136т в условиях АК "Алроса"/Горный журнал.-2000.-№2.с.39-40.
8. Зотов А.А., Зырянов И.В., Пацианский С.Ф. Оптимальные сроки службы самосвалов грузоподъемностью 120-136т на карьерах АК "Алросса" /Горный журнал.-2000.-№1.с.46-48.
9. Зырянов И.В., Цымбалова А.Н. Показатели работы технологического автотранспорта на карьерах АК"Алросса"/Горный журнал.-1999.-№5.с.73-75.
10. Зырянов И.В., Пацианский С.Ф. Совершенствование технического обслуживания карьерных самосвалов грузоподъемностью 110-136т /Горный журнал.-1999.-№7.с.66-68.
11. Алифанов А.Л. Об эффективности применения предварительной информации при прогнозировании в ремонте и эксплуатации автомобилей/Горный Журнал. Известия Вузов.-2000.-№1.с.63-67.
12. Прогнозирование потребности в ремонтах самосвалов эксплуатирующихся в северном районе/Горный Журнал. Известия Вузов.-1998.-№5-6.с.72