

УДК 629.353

Губенко В.К.¹, Помазков М.В.²

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МАРШРУТИЗАЦИИ АВТОСАМОСВАЛОВ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Рассматриваются закономерности ресурсосберегающей технологии путем перераспределения рабочего парка самосвалов по маршрутам. В качестве критерия перераспределения предложен остаточный ресурс самосвала, используемый для обоснования переходных процессов из маршрута в маршрут.

Ключевые слова: *облегченные условия эксплуатации, заявочные ремонты, цикловая двухрежимная нагрузка, поток отказов, гамма-процентный ресурс, напряженность.*

Губенко В.К., Помазков М.В. Ресурсосберігаюча технологія маршрутизації автосамоскидів на металургійному підприємстві. Розглядаються закономірності ресурсосберігаючих технологій шляхом перерозподілу робочого парку самоскидів по маршрутах. В якості критерію перерозподілу запропоновано залишковий ресурс самоскида, що використовується для обґрунтування перехідних процесів з маршруту в маршрут.

Ключові слова: *полегшені умови експлуатації, заявочні ремонти, циклове дворежимне навантаження, потік відмов, гамма-процентний ресурс, напруженість.*

V.K. Gubenko, M.V. Pomazkov. Resource saving process of routing of dump trucks at iron and steel works. Regularities of resources-friendly technologies were analyzed, based upon redistribution of dump truck population, according to the existing routes. The residual service lives of dump truck was taken as the criterion of redistribution, to be used for justification of transitional processes from one route to another.

Keywords: *the facilitated external environments, request repairs, cyclic double-regime a loading, stream of refusals, gamma-percentage resource, tension*

Постановка проблемы. Процесс транспортировки отходов шлаков и шламов автосамосвалами в условиях агломерационного и сталеплавильного производства не удовлетворяет требованиям современного процесса транспортировки из-за неэффективности существующих методов управления парками большегрузных автосамосвалов. Применяемые в настоящее время автомобили для перевозки металлургических отходов не приспособлены к условиям эксплуатации в технологических циклах металлургического предприятия.

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время вопрос ресурсосбережения при переработке вторичного сырья из отходов металлургических предприятий путем совершенствования маршрутизации автотранспорта не рассматривался. На основе разработанных методов и моделей авторами была усовершенствована система технического обслуживания автомобилей и оперативного планирования работы в условиях металлургического предприятия [2]. Результаты исследований внедрены на ПАО «ММК им. Ильича» (г. Мариуполь), а также в учебном процессе факультета транспортных технологий, что подтверждено соответствующими актами внедрения. В то же время вопросы ресурсосбережения большегрузного транспорта мало изучены.

Цель статьи - совершенствование работы промышленного автотранспорта в условия металлургических комбинатов на основе управления ресурсными характеристиками автомобилей.

Изложение основного материала. На автомобильный транспорт метпредприятий приходится до 30 % объема перевозок. К этим перевозкам относятся технологические перевозки кислородно-конвертерного и мартеновского цехов, аглофабрики и известково-обжигательного цеха, на которых используются большегрузные автосамосвалы БелАЗ-7540.

Напряженные условия их эксплуатации приводят к быстрому износу узлов и машин в целом, что требует значительных расходов на техническое обслуживание и ремонт.

¹ д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь
² ст. преподаватель, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

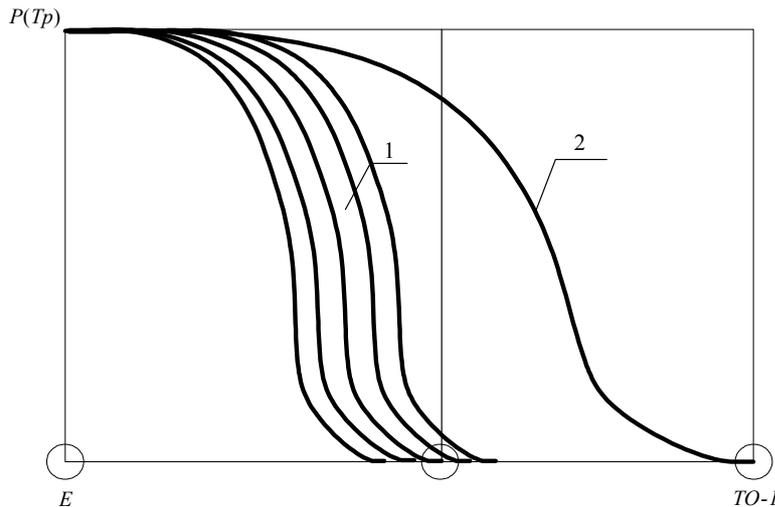


Рис. 1 - Сопоставление гамма-процентного ресурса по кривым его убыли : 1 – веер кривых убыли ресурса отдельных узлов самосвала в предельно напряженных условиях эксплуатации (перевозки горячего шлака); 2 – кривая убыли ресурса по паспортному регламенту; $P(Tp)$ – вероятность использования ресурса; E – ежедневное обслуживание; ЗР – заявочный ремонт; $TO-1$ – техническое обслуживание № 1

В то же время из рабочего парка самосвалов почти половина эксплуатируются в облегченных условиях использования ресурса (перевозки извести, шлама).

Иллюстрация сопоставления гамма-процентного ресурса узлов самосвала по кривым его убыли (рис. 1) показывает, что в предельно напряженных условиях (перевозка горячего шлака) износ узлов ходовой части, системы оборудования, гидросистемы, пневмосистемы наступает до установленного регламентом технического обслуживания $TO-1$ (250 ч). В связи с чем возникает потребность в аварийных (заявочных) ремонтах в пределах 140-210 часов эксплуатации самосвала.

Ресурс вышеназванных узлов зависит от цикловой двухрежимной нагрузки (грузовой и хо-

лостой ход) (табл. 1) и значений параметров их потока отказов (табл. 2).

Таблица 1

Спектр реализации процесса двухрежимной нагрузки узлов БелА3-7540, подвергаемых неплановому (заявочному) ремонту

<p>Система электрооборудования</p> <p>$t_{h1} = t_{11} + t_{12} + t_{13}$ (погрузка, перевозка, разгрузка)</p> <p>$t_{h2} = t_{14}$ (холостой ход)</p>	
<p>Ходовая часть</p> <p>$t_{h1} = t_{22}$ (перевозка)</p> <p>$t_{h2} = t_{21} + t_{23} + t_{24}$ (погрузка, разгрузка, холостой ход)</p>	
<p>Гидросистема</p> <p>$t_{h1} = t_{32} + t_{33}$ (перевозка, разгрузка)</p> <p>$t_{h2} = t_{31} + t_{34}$ (погрузка, холостой ход)</p>	
<p>Пневмосистема</p> <p>$t_{h1} = t_{42} + t_{43}$ (перевозка, разгрузка)</p> <p>$t_{h2} = t_{41} + t_{44}$ (погрузка, холостой ход)</p>	

Таблиця 2

Параметры потока отказов для двухрежимного процесса работы БЕЛАЗ-7540 и их узлов

Параметр	Обозначения и зависимости режимов	
	Транспортировка груза, погрузочно-разгрузочные операции	Транспортировка без груза, простои
Поток отказов	u'	u'' ($u' > u'' \geq 0$)
Продолжительность операции	T'	T''
Функция распределения продолжительности операции	$F(t)$	$G(t)$
Математическое ожидание продолжительности операции	μ'	μ''
Дисперсия операции	σ'^2	σ''^2
Вероятность операции в цикле	$P' = \mu' / (\mu' + \mu'')$	$P'' = \mu'' / (\mu' + \mu'')$
Значение, которое принимает процесс	$h' = u' / \mu'$	$h'' = u'' / \mu''$
<i>Процесс (цикл) в целом</i>		
Математическое ожидание интенсивности отказов	$\mu_u = u'P' + u''P''$	
Математическое ожидание числа отказов	$\mu_n = (u'P' + u''P'')\tau$	
Дисперсия процесса	$\sigma_h^2 = \frac{h^2 \mu' \mu''}{(\mu' + \mu'')^2}; h = h' - h''$	
Примечание. $F(t)$, $G(t)$ – экспоненциальные функции распределения		

Средний ресурс – $\bar{T}_{\text{пер}}$, как математическое ожидание ресурса при его веерном распределении (рис. 1) определяется по статистическим данным

$$\bar{T}_{\text{пер}} = \frac{\sum_{n=1}^N T_{p,n}}{N}, \quad (1)$$

где $T_{p,n}$ – ресурс n-го узла полной выборки из N их количества на эксплуатирующихся самосвалах в отдельности по каждому маршруту.

При оценке работоспособности узлов самосвала удобно пользоваться показателем гамма-процентного ресурса.

Гамма-процентный ресурс $T_{p\gamma}$ – наработка, в течении которой узел автосамосвала не достигает предельного состояния с заданной вероятностью γ , выраженной в процентах.

Гамма-процентный ресурс можно определить с помощью кривых распределения ресурсов (рис. 1), взаимосвязь которых определяется выражением

$$P(T_{p\gamma}) = \int_{T_{p\gamma}}^{\infty} p(Tp) dTp, \quad (2)$$

где $P(T_{p\gamma})$ – вероятность обеспечения ресурса $T_{p\gamma}$, соответствующая значению $\gamma/100$; Tp – наработка до предельного состояния (ресурс).

От использования ресурса узлов БелАЗ-7540 зависит построение системы технического его обслуживания. Узлы работают в пиковых нагрузках, определяют возможность проработать безотказно время α . Если можно чередовать пиковые и неразрушающие нагрузки, тогда средний остаточный ресурс определяется по зависимости:

$$R(\alpha) = \frac{\int_0^{\alpha} P(x) dx}{P(\alpha)}, \quad (3)$$

где $P(x)$ – вероятность безотказной работы узла в течении времени x .

Чтобы за весь период эксплуатации между регламентом Е и ТО-1 для автосамосвала с заданной вероятностью не производились заявочными (аварийными) ремонтами любого критического узла или системы, необходимо чтобы каждая из них обладала безотказной работой с высокой вероятностью.

С учетом этого можно предложить уравнение для оценки вероятности безотказной работы автосамосвалов без заявочного ремонта:

$$P(t_{E-TO-1}) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (4)$$

где $P_i(t)$ – вероятность безотказной работы i -го узла (подсистемы);

n – количество узлов автосамосвала.

Таким образом, формируются требования к ресурсам отдельных узлов в интервалах между ежесменным обслуживанием и техническим обслуживанием № 1.

Применительно к технологическим процессам работы автосамосвала в конкретных условиях комбината «Ильича» ресурс i -ой системы в пределах (ЕО – ТО-1) предложено определять следующей функцией

$$R = R_i(\gamma^\alpha) \pm R_o - \Delta R, \quad (5)$$

где $R_i(\gamma^\alpha)$ – ресурс подсистемы, используемый в i -ом маршруте;

γ – величина, характеризующая условия (напряженность) работы подсистемы в i -ом маршруте;

t – время работы подсистемы в i -м маршруте;

α – показатель степени интенсивности нагружения подсистемы в i -ом маршруте, определяющий увеличение ($\alpha < 1$) или уменьшение ($\alpha > 1$) скорости исчерпывания ресурса;

$+ R_o$ – остаточный ресурс подсистемы в i -ом маршруте;

$- R_o$ – перерасходованный ресурс в i -ом маршруте, влияющий на необходимость проведения аварийного ремонта;

ΔR – ресурс, использованный до работы подсистемы в i -ом маршруте.

При разных значениях $\alpha, \pm R, \Delta R$ имеем разные значения среднего ресурса (1), вероят-

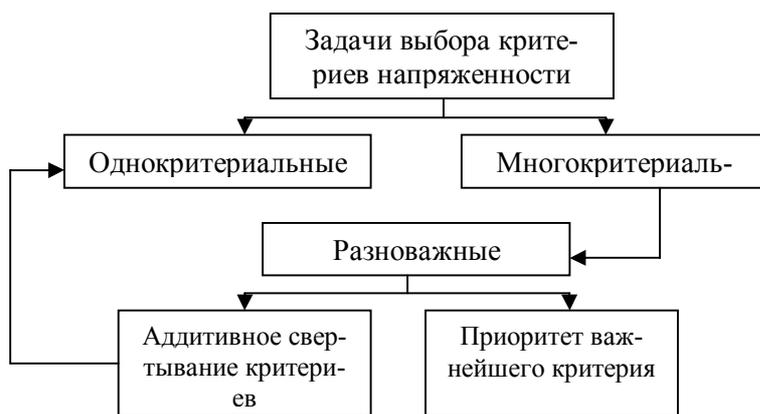


Рис. 2 – Решение задачи выбора критериев напряженности

ность отказа и фактически использованный ресурс. Как следует из уравнения (5) определяющим фактором использования ресурса является показатель γ – напряженность условий работы.

В качестве показателей напряженности условий работы выбраны такие: γ_1 – критерий напряжения по времени; γ_2 – критерий напряжения по дальности; γ_3 – критерий напряжения по температуре (кузов); γ_4 – критерий по грузоподъемности; γ_5 –

критерий по дорожным условиям (уклон).

Использован способ свертки критериев напряженности структурных подсистем в маршрутах транспортных средств, представленный на рис. 2.

Безразмерная относительная величина критерия ресурса определяется по формуле

$$\gamma_i = \frac{\gamma_{ni}(y) - \gamma_i^{\min}}{\gamma_i^{\max} - \gamma_i^{\min}}; i = \overline{1, n}, \quad (6)$$

где $\gamma_i(y)$ – абсолютное значение i -го критерия $y \in D$ (область допустимых решений);

$$\gamma_i^{\min} = \min \gamma_i(y); \gamma_i^{\max} = \max \gamma_i(y)$$

$\gamma_i^{\min} \neq \gamma_i^{\max}$ – минимальное и максимальное значение i -го критерия;

n – количество критериев в многокритериальной задаче;

Одним из способов решения многокритериальной задачи, когда в качестве критериев приняты критерии напряженности, является приведение её к однокритериальному виду, т.е. свертывание критериев ресурсной напряженности. Этот способ правомерно принять при разной важности критериев.

В этом случае (при разной важности критериев) используем адаптивное свертывание, имеющее вид:

$$\gamma(y) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \gamma_i(y) \rightarrow \max, \quad y \in D; \quad \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1; \quad \alpha_i > 0. \quad [1]$$

Используем мультипликативное преобразование (свертывание)

$$\gamma(y) = \sum_{i=1}^n \gamma_i(y) \rightarrow \max, \quad y \in D.$$

Обязательным условием при этом является безразмерность величин критериев.

Расчитанные показатели напряженности маршрутов по БелАЗ-7540, эксплуатируемых в условиях комбината им. Ильича приведены в таблице 3.

Основу моделирования ресурсосберегающей технологии составляет предлагаемая ниже модель перераспределения парка самосвалов по маршрутам по критерию остаточного ресурса

$R(\alpha) = \frac{\int_0^\infty P(x) dx}{P(\alpha)}$ достаточного для исключения непланового ремонта в период текущего времени $x(\overline{E}; TO - 1)$ между ежесменным и обслуживанием ТО-1.

Приведенная модель реализуется так, что осуществляется перевод самосвала из критически напряженного маршрута в некритический. Взамен для сохранения рабочего парка критического маршрута в него переводится самосвал из некритического маршрута.

Таблица 3
Показатели критериев напряженности маршрутов БелАЗ-7540 ПАО «ММК им. Ильича»

Маршрут	γ_1	γ_2	γ_3	γ_4	γ_5	$\gamma(y) = \sum_{i=1}^n \gamma_i$
Шлаковая яма – Ст. Крым	0,30	0,27	0,85	0,02	0,35	1,790
Шлаковая яма – б. Грековатая	1,00	1,00	0,88	0,91	0,6	4,390
Шлаковая яма – Аглофабрика	0,74	0,53	0,86	0,91	0,2	3,240
Мартен – Шлаковая гора	0,22	0,16	1,00	0,91	1,00	3,290
ККЦ – Шлакопереработка	0,32	0,27	1,00	0,91	0,2	2,700
Отстойник № 1 – Эстакада	0,01	0,03	0,001	0,36	0,35	0,751
Отстойник № 2 – Эстакада	0,02	0,04	0,001	0,36	0,34	0,761
Отстойник № 3 – Эстакада	0,03	0,05	0,001	0,36	0,33	0,771
Отстойник № 4 – Эстакада	0,03	0,05	0,001	0,36	0,35	0,791
Отстойник № 5 – Эстакада	0,04	0,06	0,001	0,36	0,36	0,821
Отстойник № 6 – Эстакада	0,04	0,07	0,001	0,50	0,38	0,991
Отстойник № 7 – Эстакада	0,05	0,07	0,001	0,50	0,38	0,991
Отстойник № 8 – Эстакада	0,05	0,08	0,001	0,50	0,35	0,981
Гор.отстойники – Вост. склад	0,09	0,12	0,001	0,67	0,11	0,991
Эстакада – Крытый склад № 1	0,04	0,06	0,001	0,45	0,40	0,951
Эстакада – Крытый склад № 2	0,06	0,09	0,001	0,45	0,20	0,801
Южный склад – Эстакада	0,001	0,001	0,001	0,45	0,13	0,583
Восточный склад – Эстакада	0,001	0,001	0,001	0,45	0,14	0,593

Приведенная выше характеристика напряженности маршрутов позволяет определить точку, в которой осуществляется переходной процесс самосвала из критического маршрута в некритический. Для продолжения функционирования критического маршрута осуществляется переход в него автосамосвалов из маршрута некритического. Графо-аналитический метод решения этой задачи показан на рисунке 3.

С целью получения решения в удобной для практики форме управления функцией изменения ресурса (5) используется как линейная зависимость.

Нахождение точек переходных процессов осуществлено с помощью построенного пересечения линий скоростей использования ресурса – линеризации использования ресурса в переходных процессах (рис. 3).

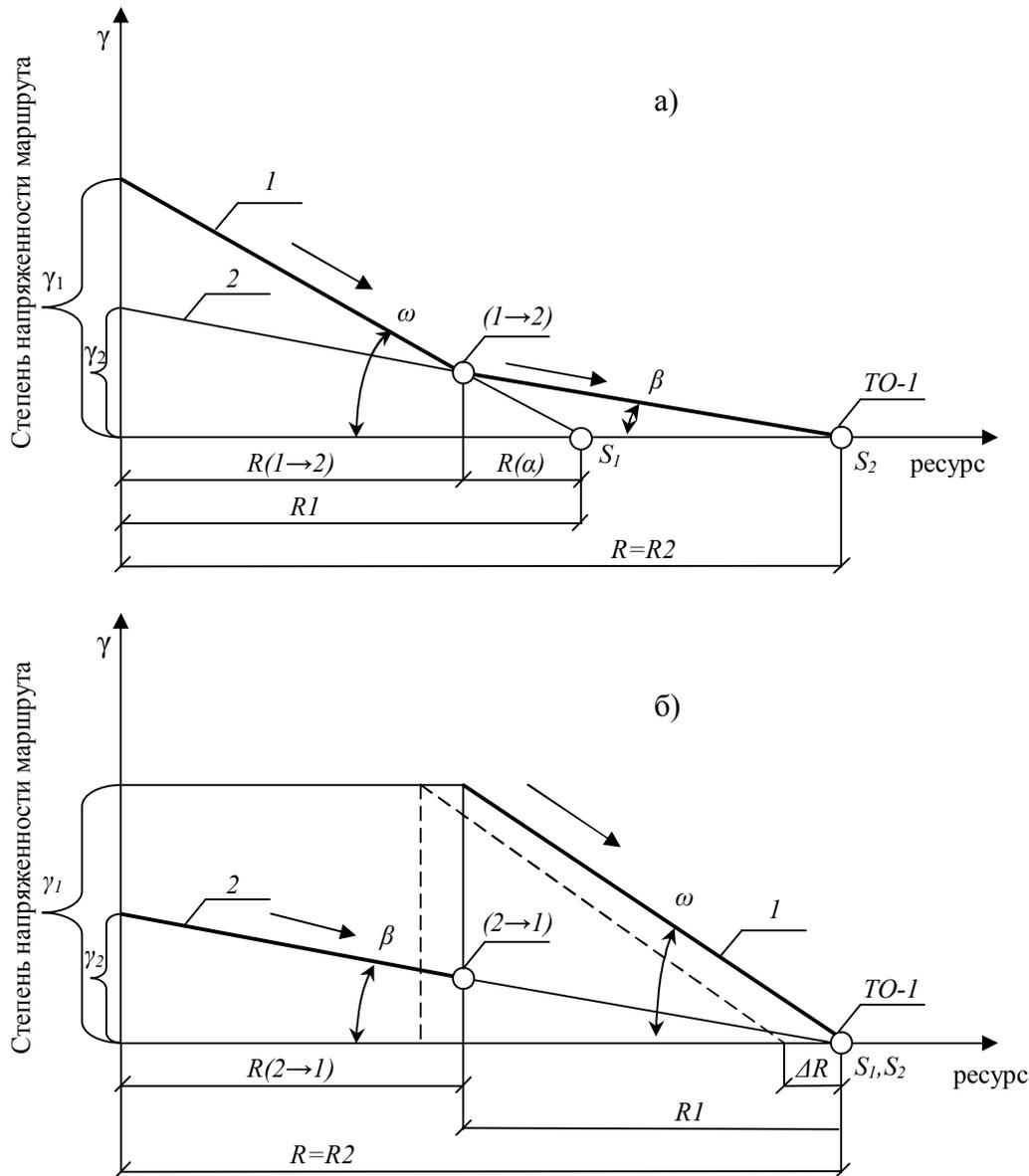


Рис. 3 – Линеризация использования ресурса в переходных процессах разнонапряженных маршрутов автосамосвала: а) переход из предельно напряженного состояния в ненапряженное; б) переход из ненапряженного состояния в предельно напряженное. Обозначение: γ_1, γ_2 – степень напряженности 1; 2 маршрутов соответственно; 1; 2 – линии скорости использования ресурсов соответственно напряженности 1; 2 маршрутов; (1→2) (2→1) – точки перехода из маршрута в маршрут; $R_1; R_2$ – ресурс, соответственно 1 и 2 маршрута; R – паспортное значение ресурса до $TO-1$; $R(1 \rightarrow 2); R(2 \rightarrow 1)$ – ресурс маршрутов до перехода автосамосвала из маршрута в маршрут, соответственно; $R(\alpha)$ – остаточный ресурс

Под линеризацией использования ресурса понимается приведение зависимости ресурса i -ой системы (3) к линейному виду взаимосвязи степени напряженности скорости использования ресурсов разнонапряженных маршрутов (рис. 3).

Переходные точки ресурсных характеристик, проиллюстрированные на рисунке 3, имеют следующее аналитическое решение.

Точки перехода из критически напряженных режимов $\gamma_{кр} \rightarrow \gamma_{нкp}$ и из $\gamma_{нкp} \rightarrow \gamma_{кр}$ определяются следующими зависимостями (рис. 3)

$$\left. \begin{aligned} (\gamma_{кр} \rightarrow \gamma_{нкp}) &= \frac{Rtg\beta - R(\alpha)tg\omega}{tg\beta} \\ (\gamma_{нкp} \rightarrow \gamma_{кр}) &= R - \frac{\gamma}{tg\omega} \end{aligned} \right| R = 250 \text{ ч,}$$

где R – ресурс;
 $R(\alpha)$ – остаточный ресурс.

Обозначим условия для вариантов перераспределения самосвалов по разнонапряженным маршрутам.

Вариант А

Количество единиц, работающих в критически напряженных условиях ($N_{кр}$), у которых ресурс основных узлов исчерпывается до ТО-1 и необходимы аварийные ремонты, меньше суммарного количества единиц в маршрутах остальной части рабочего парка – $N_{нкp}$

$$N_{кр} < N_{нкp}.$$

Решение находится заменой единиц с критически напряженным ресурсом до текущего ремонта их эксплуатации так, чтобы остаточный ресурс при переводе этих единиц в другие маршруты был достаточным для их эксплуатации до ТО-1, т.е. вероятность обеспечения остаточного ресурса была равной $P(T_{p\gamma}) = \int_{T_p}^{\infty} P(T_p) dT_p$, где $P(T_{p\gamma})$ – вероятность обеспечения ресурса $T_{p\gamma}$, соответствующая значению $\gamma/100$, а T_p – наработка до предельного состояния до ТО-1.

Вариант В

Количество единиц, работающих в критически напряженных условиях, у которых ресурс основных узлов исчерпывается до ТО-1 и необходимы аварийные ремонты в течение времени x до ТО-1 равен сумме количества единиц в маршрутах остальной части рабочего парка

$$N_{кр} < N_{нкp}.$$

Решение по варианту В аналогично решению по варианту А.

Вариант С

Количество единиц, работающих в критически напряженных условиях, у которых ресурс основных узлов исчерпывается до ТО-1 и необходим аварийный ремонт в течение времени x до ТО-1 больше суммы единиц в маршрутах остальной части парка

$$N_{кр} > N_{нкp}.$$

Решение находится заменой части единиц с критически напряженным ресурсом до текущего ремонта, составляющей разность между числом единиц критически напряженного маршрута и единиц в парке с ресурсом, обеспечивающим эксплуатацию до ТО-1. А остальная часть, которая не может быть заменена, подвергается аварийному ремонту.

Разработанная и предложенная методика была реализована на комбинате им. Ильича. Фрагмент календарного плана выхода на линию самосвалов по этой методике представлен на рисунке 4 [2].

Реализация ресурсосберегающей технологии маршрутизации автосамосвалов на метком-

бинате «Ильича» позволила сократить: затраты, связанные с дополнительным приобретением узлов на замену аварийно заменяемых в связи с потерей ресурса; затраты на дополнительный ввод в эксплуатацию ресурсообеспеченных транспортных средств взамен ремонтируемых; затраты на технологические операции ввода-вывода ресурсообеспеченных транспортных средств, замещающих средства с истекшим ресурсом. Годовой экономический эффект составил 980000 грн.

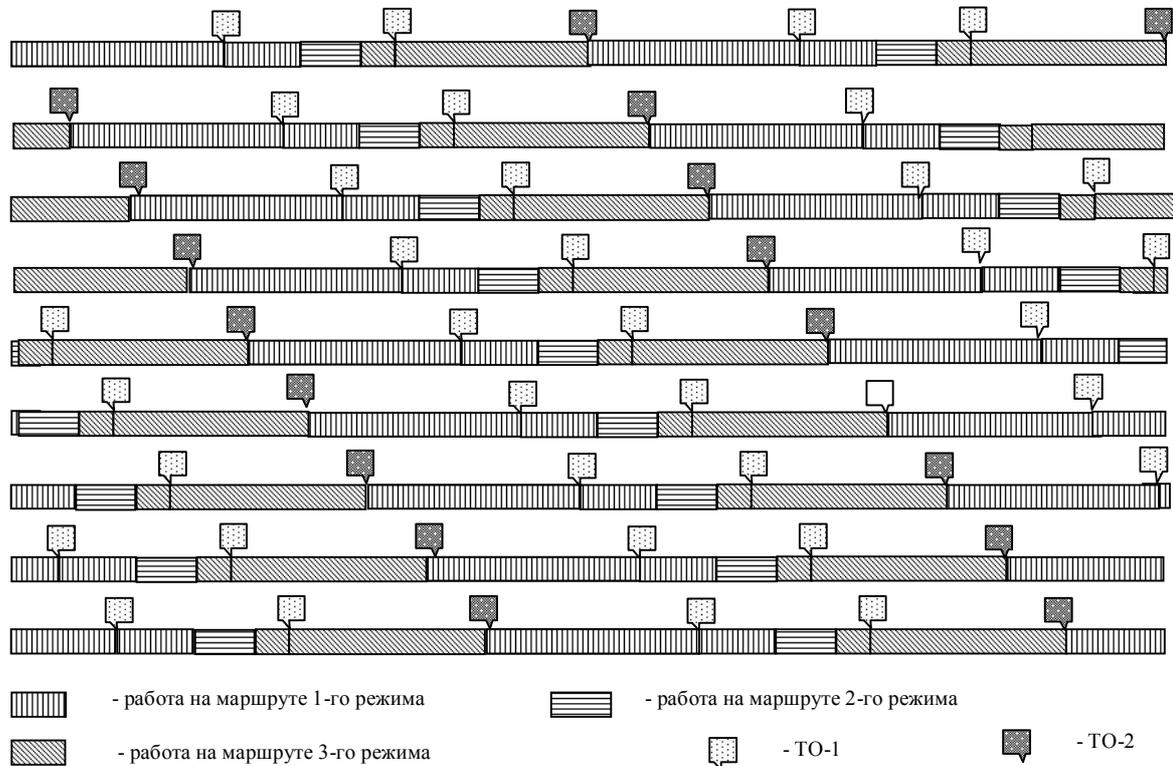


Рис. 4 – Фрагмент календарного графика выхода на линию автосамосвалов

Выводы

1. Предложен новый принцип ресурсосбережения работы самосвалов путем равномерного использования их ресурса взаимозаменяя их критически напряженную работу переводом в некритически напряженный маршрут с переводом в критически напряженный маршрут самосвалов из некритически напряженного маршрута
2. Рассчитанные точки перехода самосвалов из маршрута в маршрут позволили на 90 % исключить аварийные ремонты между ежесменным и техническим обслуживанием ТО-1

Список использованных источников:

1. М74 Модели и методы теории логистики: Учебное пособие. 2-е изд. (Под ред. В.С. Лукинского) – СПб: «Питер», 2007. – 448 с.: пл. – (Серия «Учебное пособие»)
2. Помазков М.В. Методические основы планирования технического обслуживания большегрузных автосамосвалов эксплуатируемых в условиях металлургических предприятий /М.В.Помазков // Міжвузівський тематичний збірник наукових праць «Захист металургійних машин від поломок». – Маріуполь, 2008. – Вип.10. – С. 191-194.

Рецензент: В.Э. Парунакян
 д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ЛГТУ»

Статья поступила 17.12.2010