

онок гильзы каждый раз располагаются новые участки поверхности его поясков, а следовательно, за счет более равномерного нагружения контактирующих поверхностей золотниковой пары обеспечивается более высокая долговечность предлагаемого распределительного устройства по сравнению с используемыми в настоящее время.

Разработанные авторами статьи конструкции гидрораспределителей могут применяться не только в гидроприводах большегрузных автомобилей, но и в аналогичных приводах других мобильных машин и станков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Титков В.И., Аль-Джахед Мансур Мухамед. Исследование износа золотникового элемента переключения передач автомобилей БелАЗ // Автомоб. трансп. и дороги. — 1982. — №9. — С.25–28. 2. Башта Т.М. Гидроприводы гидропневмоавтоматика. — М., 1972. — 320 с. 3. Кудрявцев П.Ф. Оценка технического состояния распределителя гидросистем тракторов // Техника в сельском хозяйстве. — 1963. — № 11. — С. 21. 4. А. с. № 1267066 (СССР). Гидрораспределитель / В.И. Титков, О.М. Дятлов.

УДК 656.13:622.271

В.Н. СЕДЮКЕВИЧ, А.С. БОГАЧЕНКО,
О.Н. МАЛЬГИН, Н.Е. ЛЫСЕНКО,
А.И. НОЗИК, А.Д. ТЫРЫКИН

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА АВТОМОБИЛЬНО-ЭКСКАВАТОРНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ЭВМ

Критерием оптимальности состава автомобильно-экскаваторного комплекса является минимум потерь от простоя автомобилей-самосвалов и экскаваторов в ожидании погрузки [1]:

$$F = (C_a t_a + C_a t_э) \frac{1000}{3600q\gamma_c} = \min, \quad (1)$$

где F — функция, определяющая потери от простоев автомобилей-самосвалов и экскаваторов на 1000 т перемещаемой горной массы, р.; C_a — потери от простоя автомобиля-самосвала на погрузочном пункте в ожидании погрузки, р/ч; t_a — средняя продолжительность простоя автомобиля-самосвала у экскаватора в ожидании загрузки, с; $C_э$ — потери от простоя экскаватора в ожидании погрузки, р/ч; $t_э$ — средняя продолжительность простоя экскаватора в ожидании приема автомобилей-самосвалов на загрузку, с; q — грузоподъемность автомобиля-самосвала, т; γ_c — статический коэффициент использования грузоподъемности автомобилей-самосвалов.

Значения C_a и $C_э$ определялись с учетом заработной платы водителей и машинистов экскаваторов, затрат на топливо, техническое обслуживание и ремонт, амортизацию. Кроме того, учитывались приведенные капитальные вложения в технику. Потери от простоя в течение одного часа составляют для

экскаватора ЭКГ-4,6 10,06 р.; ЭКГ-8И — 14,55; ЭКГ-12,5 — 27,75; ЭКГ-20 — 46,21 р., а для автомобилей БелАЗ-548А — 10,05 р.; БелАЗ-549 — 15,12; БелАЗ-7519 — 18,24 и БелАЗ-7521 — 28,88 р.

Значения t_a и t_z — средняя случайная продолжительность простоев, зависящая от продолжительности возврата i -х автомобилей на загрузку $t_{вi}$ и их загрузки $t_{пi}$, числа работающих автомобилей и интервалов их подачи в начале смены или после перерыва на обед.

Время возврата t — это продолжительность процесса перемещения горной массы без погрузки (движение автомобиля-самосвала с грузом, маневрирование его при разгрузке, разгрузка, движение без груза под загрузку). Продолжительность погрузки — это длительность маневрирования и непосредственно загрузки автомобиля-самосвала. Исследования показали, что продолжительность возврата автомобиля распределяется по смещенному закону Эрланга с коэффициентами вариации 0,05...0,12, а загрузки — по смещенному закону Эрланга с коэффициентами вариации 0,10...0,32.

Установлено, что средняя продолжительность движения автомобиля (ч) с грузом и без него за оборот определяется регрессионной зависимостью:

$$t_{дв.о} = (l_{г}/\beta) (0,00613 + 0,0254x_1 + 3,47x_2 + 1,11v_{м}),$$

где $l_{г}$ — длина ездки с грузом, км; β — коэффициент использования пробега; $x_1 = \beta/l_{г}$; $x_2 = \beta(m_c + q\gamma_c)0,001h_{п.г}/(P_e l_{г})$; m_c — собственная масса автомобиля, т; γ_c — коэффициент использования его грузоподъемности; $h_{п.г}$ — высота подъемов при движении автомобиля с грузом, м; P_e — номинальная мощность двигателя автомобиля; $v_{м}$ — максимальная скорость движения автомобиля по технической характеристике, км/ч.

Сдвинутые распределения продолжительности элементов процесса перемещения горной массы обусловлены тем, что возвращение автомобиля на пункт погрузки и его загрузка не могут быть произведены за меньшее время, чем это технически возможно.

Минимально возможная продолжительность движения автомобиля за один оборот (ч)

$$t'_{дв.о} = t_{рт} + (l_{г}/\beta - l_{п.г})/v_{д} + 3,9(m_c + q\gamma'_c)(fl_{п.г} + 0,001h_{п.г})/P_e,$$

где $t_{рт}$ — минимально возможное дополнительное время на разгоны и торможения автомобиля: $t_{рт} = 0,015$ ч; $l_{п.г}$ — путь, пройденный автомобилем при подъеме с грузом, км; $v_{д}$ — скорость автомобиля-самосвала, допускаемая по условиям безопасности движения в карьере, км/ч; f — коэффициент сопротивления качению; γ'_c — минимальный коэффициент использования грузоподъемности автомобиля-самосвала.

Время погрузки и разгрузки, минимально возможные значения и коэффициенты их вариации определяются следующими основными факторами: типом и моделью экскаватора, грузоподъемностью и вместимостью кузова автомобиля, крепостью, плотностью и коэффициентом разрыхления горной породы, схемой разработки и высотой черпания экскаватором.

Автомобильно-экскаваторный комплекс представляет закрытую систему массового обслуживания с ограниченным числом источников, генерирующих потоки требований, с ожиданием и аппаратами с отказами. Последнее связано

с техническими отказами экскаватора и необходимостью выполнения вспомогательных горнотехнических работ.

Надежность работы экскаватора определяется наработкой на отказ и продолжительностью отказа при загрузке автомобилей. Распределение указанных величин подчинено экспоненциальному закону. При превышении определенной продолжительности восстановления работоспособности экскаватора включается в работу резервный экскаватор.

На функционирование автомобильно-экскаваторного комплекса влияет закономерность подачи автомобилей в начале работы (в начале смены и после окончания перерыва на обед). Установлено, что потоки автомобилей при подаче в начале работы отвечают пуассоновскому распределению. Параметр распределения, определяемый средним интервалом подачи автомобилей, должен быть выбран по условию (1).

Таким образом, рассматриваемая система массового обслуживания имеет аппараты с отказами, работает в нестационарном режиме и имеет смещенные распределения длительности операций процесса перемещения горной массы. Указанные особенности исключают применение аналитических методов расчета работы системы и в частности определения значений t_a и t_z (см. формулу (1)) и обуславливают необходимость применения имитационного статистического моделирования на ЭВМ.

Генерация случайных продолжительностей элементов процесса перемещения горной массы (t_{vi} , t_{pi}) производится по следующей зависимости:

$$t_i = t_0 - \frac{1}{\lambda} \ln \prod_{l=1}^k \xi_l,$$

где t_0 — минимально возможное значение t ; λ и k — параметры закона распределения Эрланга; ξ_l — псевдослучайные числа, равномерно распределенные на интервале от нуля до 1.

Параметры смещенного распределения Эрланга $\lambda_{в(п)}$ и $k_{в(п)}$ для времени возврата (загрузки) автомобиля-самосвала $t_{в(п)}$ определяются по формулам:

$$k'_{в} = \begin{cases} \left[\frac{(t_{в(п)} - t_{в(п)0})^2}{(t_{в(п)} V_{в(п)})^2} \right] + 1, & \text{если } \left\{ \frac{(t_{в(п)} - t_{в(п)0})^2}{(t_{в(п)} V_{в(п)})^2} \right\} \geq 0,5; \\ \left[\frac{(t_{в(п)} - t_{в(п)0})^2}{(t_{в(п)} V_{в(п)})^2} \right], & \text{если } \left\{ \frac{(t_{в(п)} - t_{в(п)0})^2}{(t_{в(п)} V_{в(п)})^2} \right\} < 0,5, \end{cases}$$

$$k_{в(п)} = \begin{cases} k'_{в(п)}, & \text{если } k'_{в(п)} \geq 1; \\ 1, & \text{если } k_{в(п)} = 0; \end{cases}$$

$$\lambda_{в(п)} = k_{в(п)} / (t_{в(п)} - t_{в(п)0}),$$

где $V_{в(п)}$ – коэффициент вариации времени возврата (загрузки) автомобиля-самосвала; [...] и {...} – соответственно целая и дробная часть выражений.

Формирование моментов времени поступления j -го автомобиля τ_j под первую загрузку производится по формуле

$$\tau_j = \begin{cases} 0 & \text{при } j = 1; \\ \tau_{j-1} + 4 - (z t_{п} - 4) \ln \xi & \text{при } j > 1, \end{cases}$$

где z – параметр, определяющий средний интервал поступления автомобилей под первую загрузку.

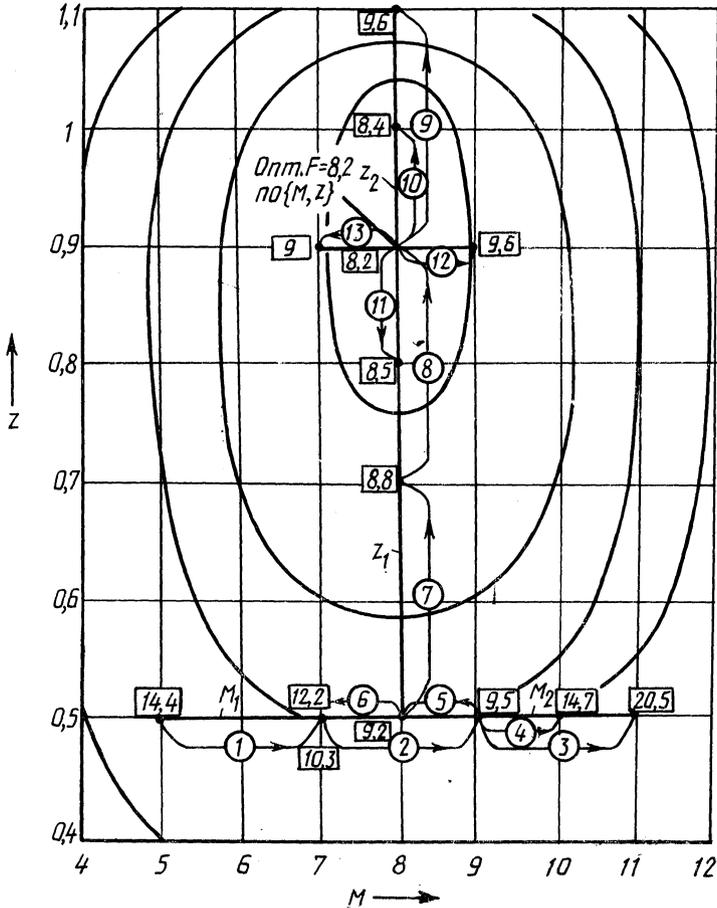


Рис. 1. Пример поиска оптимума по M и z методом поочередного изменения параметров: ① – номер шага поиска минимума; [9,5] – значение целевой функции F в точке изолинии уровня целевой функции (показаны условно)

Время наработки экскаватора до p -го отказа τ_{op} и время восстановления его $\tau_{вр}$ определяется по формуле

$$\tau_p = -\tau \ln \xi,$$

где τ — средние значения наработки до отказа и времени восстановления.

Начальное число автомобилей для моделирования

$$M_H = [0,5(t_B/t_H + 1)].$$

Число реализаций их загрузки

$$N = \max \begin{cases} [(t_{\gamma, N-1} V_{t_B})^2 / \delta]; \\ [(t_{\gamma, N-1} V_{t_H})^2 / \delta], \end{cases}$$

где $t_{\gamma, N-1}$ — квантиль распределения Стьюдента при односторонней вероятности γ , относительной точности δ оценки искомого параметра и числе степеней свободы $N-1$.

В связи с вероятностной оценкой входящих в целевую функцию (1) значений t_a и t_q поиск точки минимума производился методом поочередного изменения параметров M и z [2] с переменным шагом (рис. 1). Первоначальный шаг по M и z (соответственно M_1 и z_1) принимался исходя из минимизации числа итераций в зависимости от принятой точности их оценки (M_2 и z_2):

$$M_1 = [\sqrt{t_B/t_H + 1} - M_H];$$

$$z_1 = z_2 [1/z_2 \cdot \sqrt{z_2 - 0,5}].$$

С учетом вышеприведенных формул разработан алгоритм моделирования совместной работы автомобилей с экскаватором, по которому находятся оптимальные число автомобилей M (M_{opt}) и параметр z (z_{opt}), определяющий средние интервалы подачи автомобилей под первую загрузку в начале работы. Алгоритм реализован на языке ФОРТРАН IV для ЭВМ СМ 1.

Таким образом, разработаны постановка, алгоритм и программное обеспечение для оптимизации состава автомобильно-экскаваторного комплекса и среднего интервала подачи автомобилей под первую загрузку в зависимости от транспортных и горнотехнических факторов. Использование программы при оперативных и плановых расчетах позволяет определить условия наиболее эффективного использования автомобильно-экскаваторного комплекса при перемещении горной массы в карьерах.

ЛИТЕРАТУРА

1. В о р к у т А.И. Грузовые автомобильные перевозки: Основы теории транспортного процесса. — Киев, 1979. — 392 с. 2. К у д р я в ц е в Е.М. Исследование операций в задачах, алгоритмах и программах. — М., 1984. — 184 с.