УДК

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Кузнецова А.В. - студент группы АРм-241, II курс
Научный руководитель: Зиновьев В.В., к.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
Россия, г. Кемерово

Угледобывающая промышленность является одной из важнейших как для Кемеровской области, так и для Российской Федерации в целом. Самым распространённым способом добычи является открытый способ (более 70%) [1]. Процесс добычи/вскрыши производится мощными экскаваторными автомобильными комплексами (ЭАК). Для повышения эффективности проводятся исследования, однако их проведение несёт за собой риски для рабочего процесса. Как правило, во время исследований не учитывается вероятностная природа протекаемых процессов и их динамика, из-за чего значительно падает качество таких исследований, а их результаты остаются под вопросом [2.].

Для исследования таких систем активно применяют математический аппарат теории массового обслуживания (ТМО). С использованием ТМО разработана математическая модель экскаваторно-автомобильного комплекса в виде замкнутой системы массового обслуживания (СеМО), структурная схема которой представлена на рисунке°1.

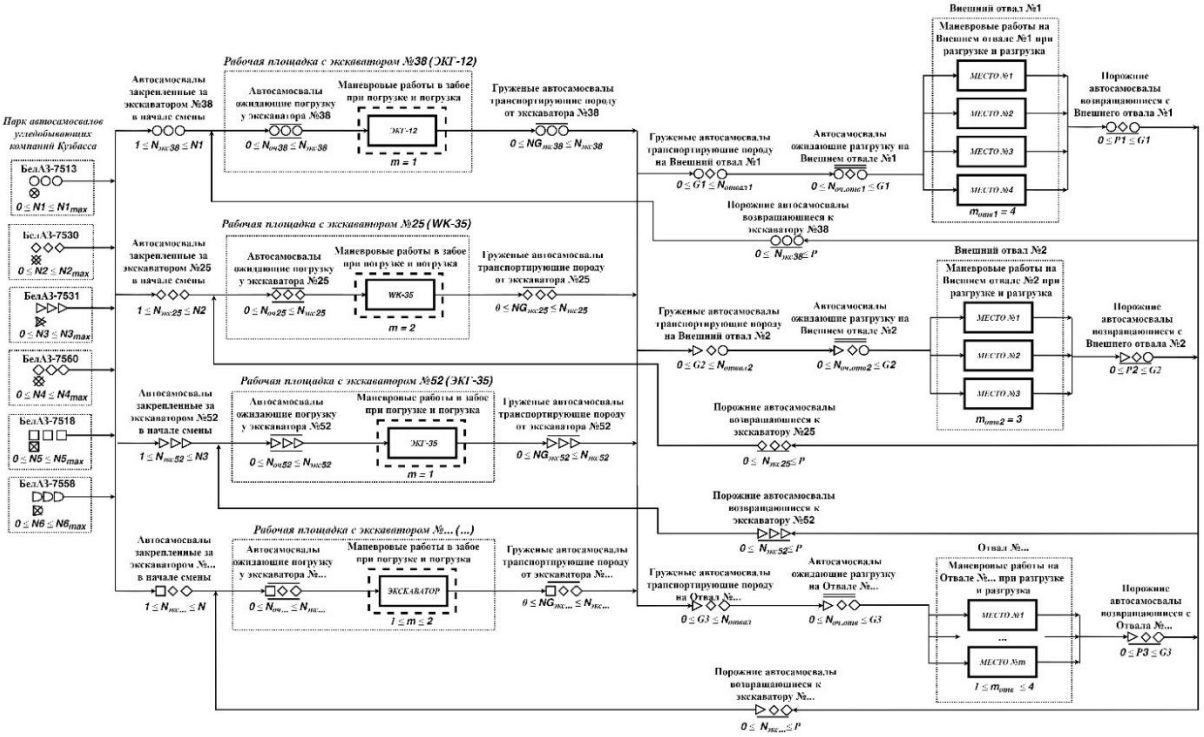

Рисунок 1 – Структурная схема модели взаимодействия экскаваторов и автосамосвалов в виде СеМО

В СеМО заявки представляют собой автосамосвалы различных марок, которые наиболее распространены на разрезах Кузбасса при производстве вскрышных работ (БелАЗ-7558, БелАЗ-7513, БелАЗ-7518, БелАЗ-7530, БелАЗ-7531, БелАЗ-7560).

Количество генерируемых заявок входного потока каждой марки автосамосвалов задаётся исследователем, на интервале:

$$0 \le Nk \le Nk_{max}, \quad (1)$$

где: Nk - количество вводимых для генерации заявок-автосамосвалов k-ого типоразмера, шт.; Nk_{max} - максимальное число вводимых для генерации заявок-автосамосвалов k-ого типоразмера, шт.

Количество заявок закрепляемые за конкретным экскаватором, находится на интервале:

$$1 \le N_{экс} \le N, \quad (2)$$

где: $N_{экс}$ - количество автосамосвалов закрепляемое за конкретным экскаватором, шт. N - общее количество заявок-автосамосвалов различных типоразмеров, шт, определяемое по формуле:

$$N = \sum_{k}^{6} Nk. \quad (3)$$

Приборами, обслуживающими эти заявки, являются рабочие площадки с местами для установки автосамосвала под погрузку, экскаваторы и отвалы (внешние и внутренние). Стрелками обозначено направление движения заявок в модели. Проходя через эти приборы обслуживания, каждая i-ая заявка задерживается на время равное времени выполнения процесса, тем самым отображает работу системы. Продолжительность обслуживания i-ой заявки является случайным числом и задаются задается законом распределения с плотностью вероятностей f(x).

В случае занятости прибора обслуживания, отображающего экскаватор, выполнения определённого процесса и/или отсутствия свободного автосамосвала, заявки выстраиваются в очередь. Подобная очередь может образовываться и перед местами для погрузки. Дисциплина обслуживания заявок осуществляется по правилу FIFO (первым пришёл – первым обслужен).

Размер очереди из автосамосвалов перед погрузкой и разгрузкой находятся в интервале:

$$0 \le N_{оч.экс} \le N_{экс}, \quad (4)$$

$$0 \le N_{оч.отв} \le G_r, \quad (5)$$

где: $N_{оч.экс}$ - количество автосамосвалов ожидающие погрузку у экскаватора, шт.; $N_{экс}$ - количество автосамосвалов закрепляемое за конкретным экскаватором, шт; $N_{оч.отв}$ - количество автосамосвалов ожидающие разгрузку на отвале, шт; G_r - количество автосамосвалов закреплённое за конкретным r-отвалом, шт.

Продолжительность обслуживания заявок в каждом приборе зависит от горнотехнических условий эксплуатации, физико-механических свойств вскрышных пород и рабочих и технологических параметров экскаваторов и конструктивно-технологических параметров автосамосвалов.

Продолжительность одного цикла движения i-ой заявки в модели представляет собой полный рейс автосамосвала $t_{\text{рейс.ас}}$ и определяется как:

$$t_{\text{рейс.ас}} = \sum_{g}^{5} t_g, \qquad (.4)$$

где: t_g - время выполнения g-ого процесса ЭАК, сек.

Продолжительность выполнения маневровых работ при погрузке в забое зависит от конкретной схемы подъезда ($t_{\text{ман.погр}}$) [3, 4]:

$$t_{\text{ман.погр}} = f(n_i), \qquad (5)$$

где n_i - тип принятой схемы выполнения маневровых работ (сквозная, тупиковая, петлевая с разворотом).

Поскольку самой распространённой схемой подъезда является тупиковая, то в качестве основной принята именно она.

Продолжительность задержки заявок в приборах, отображающие рабочую площадку с местами для установки под погрузку при тупиковой схеме, представлена в виде функции [4]:

$$t_{\text{ман.погр}} = f(R_{min}, n^0, V_{\text{зад.ход}}, \tau), \qquad (6)$$

где: R_{min} - минимальный радиус поворота автосамосвала, м; n^0 - угол постановки автосамосвала на погрузку относительно экскаватора, град; $V_{\text{зад.ход}}$ - скорость движения автосамосвала задним ходом, м/с; τ - время на переключение передачи, сек.

Продолжительность задержки заявок в приборах, отображающих экскаватор, представлена в виде функции [5, 6]:

$$t_{\text{погр}} = f(E, d_{\text{ср}}, k_{\text{р}}, \beta, t_{\text{отк.ковш}}, k_{\text{рк}}, k_{\text{нк}}, N_k), \qquad (7)$$

где: E - вместимость ковша экскаватора, м^3; $d_{\text{ср}}$ - средневзвешенный диаметр куска вскрышной породы, м; $k_{\text{р}}$ - коэффициент разрыхления породы в развале; β - средний угол поворота экскаватора, град; $t_{\text{отк.ковш}}$ - среднее время открытия ковша, сек; $k_{\text{рк}}$ - коэффициент разрыхления породы в ковше экскаватора; $k_{\text{нк}}$ - коэффициент наполнения ковша экскаватора; N_k - требуемое число разгружаемых ковшей экскаватора в кузов автосамосвала, шт.

Интервалы поступления заявок, которые соответствуют продолжительности транспортирования вскрышных пород автосамосвалами на отвалы и порожнего хода, зависят от параметров горных машин, физико-механических свойств вскрышной породы и горнотехнических условий эксплуатации [4, 7]:

$$t_{\text{трансп.}} = t_{\text{пор.}} = f(D_j, i_j, r_j, \omega_j, \varpi_j, N_{\text{дв}}, G_{\text{ас}}, G_{\text{факт}}, k_{\text{кпд.тр}}, k_{\text{доп.мех}}, k_{\text{сцеп}}, k_{\text{кпд.кол}}, \rho), \qquad (8)$$

где: D_j - тягово-динамическая характеристика автосамосвала на j-ом участке трассы, м/с^2; i_j - средневзвешенный продольный уклон j-ого участка трассы, ‰; r_j - радиус кривизны j-ого участка трассы, м; ω_j - коэффициент основного сопротивления движению автосамосвала на забойном участке трассы, м/с^2; ϖ_j - основное сопротивление движению от кривизны на j-ом участке трассы, м/с^2; $N_{дв}$ - мощность двигателя автосамосвала, кВт; G_{ac} - масса автосамосвала без груза, тонн; $G_{факт}$ - фактический вес груза в кузове автосамосвала, тонн; $k_{кпд.тр}$ - коэффициент кпд трансмиссии; $k_{доп.мех}$ - коэффициент забора мощности на дополнительные механизмы; $k_{сцеп}$ - коэффициент сцепления колёс с трассой; $k_{кпд.кол}$ - коэффициент кпд колёс; ρ - плотность вскрышной породы, т/м^3.

Продолжительность задержки заявок на отвале представлена в виде функций [4]:

$$t_{ман.разг} = f\left(R_{min}, L_{ос}, L_{ac}, V_{зад.ход}, \tau\right), \quad (2.5)$$

где: R_{min} - минимальный радиус поворота автосамосвала, м; $L_{ос}$ - расстояние между осевыми линиями автодорог, м; L_{ac} - длина автосамосвала, м; $V_{зад.ход}$ - скорость движения автосамосвала задним ходом, м/с; τ - время на переключение передачи, сек.

$$t_{разг} = f\left(t_{под.куз}, t_{опусккуз}\right), \quad (2.6)$$

где: $t_{под.куз}$ - паспортное время подъёма кузова, сек; $t_{опускуз}$ - паспортное время опускания кузова, сек.

Эксплуатационная производительность ЭАК в СеМО определяется интенсивностью выходного потока, а удельные затраты на производство кубометра вскрышной породы – количеством и типом заявок во входном потоке, а также количеством и типом приборов обслуживания. Так как количество заявок – автосамосвалов ограничено, и они не покидают систему, то данная СеМО является замкнутой.

Таким образом, программная реализация разработанной концептуальной модели позволит исследовать различные параметры ЭАК и проводить оценку его эффективности.

Список литературы:

1. Таразаров И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь - декабрь 2020 года / И.Г. Таразаров, Д.А. Губанов // Уголь. - 2021. - №3. - С. 27 - 43.

2. Кузнецов И.С. Исследование технологических параметров экскаваторно-автомобильного комплекса методом имитационного моделирования // Сборник материалов XVII международной научно-практической конференции

«природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2018». – 2018. – 112.1 с.

3. Стенин Д.В. Перспективы развития производства автономных тяжелых платформ для безлюдной добычи полезных ископаемых // Горное оборудование и электромеханика – 2019. – № 6 (146). – С. 3-8.

4. Фурман, А.С. Оценка эффективности эксплуатации экскаваторно-автомобильных комплексов на технологических трассах разрезов Кузбасса: дис. … канд. тех. наук: 05.05.06. – КузГТУ. – Кемерово, 2018. – 137 с

5. Сысоев А. А. Обоснование технологических решений на разрезах: учеб. пособие / А. А. Сысоев, О. И. Литвин, Я. О. Литвин; КузГТУ. – Кемерово, 2015. – 126 с.

6. Репин Н.Я., Репин Л.Н. Выемочно-погрузочные работы: Учеб. пособие. - 2-е изд., стер. - М.: Издательство «Горная книга», 2012. - 267 с.

7. Воронов, А.Ю. Оптимизация эксплуатационной производительности экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов: дис. … канд. тех. наук: 05.05.06, 05.13.18 – КузГТУ. - Кемерово, 2015. –195 с.