

Новицкий А.В., Барташевский С.Е.
Національний гірничий університет

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОГРУЗОЧНЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В УСЛОВИЯХ ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Представлены результаты исследования процесса взаимодействия ковшевой погрузочной машины и транспортного средства на основе статистического моделирования. Доказано, что важнейшим организационным фактором, определяющим эффективность работы погрузочного и транспортного оборудования, является путь пробега погрузочной машины от штабеля груза до транспортного средства. Получены зависимости времени простоя транспортного средства под погрузкой от длины пробега.

Ключевые слова: ковшевая погрузочная машина, время простоя, статистическое моделирование.

Постановка проблемы. Эффективность любого транспортного комплекса зависит от рациональной организации погрузочно-разгрузочных работ. Увеличение простоев под погрузкой и разгрузкой негативно влияет на производительность подвижного состава и влечет за собой рост себестоимости перевозок.

В настоящее время в различных сферах транспортной отрасли для выполнения погрузочных работ широко используются погрузочные машины циклического действия с ковшовыми исполнительными органами. Достоинствами данного класса машин по сравнению с оборудованием непрерывного действия является компактность, маневренность, универсальность грузового органа, обеспечивающая возможность перемещать самые различные грузы от насыпных до штучных. Основным недостатком машин циклического действия традиционно считается сравнительно низкая производительность.

В условиях транспортных комплексов для выполнения различных работ формируются специализированные комплекты машин (СКМ), которые представляют систему машин, увязанных по технологическому назначению, производительности и основным конструктивным параметрам. СКМ наиболее эффективны в условиях поточного (циклично-поточного) производства работ. Частные потоки могут обслуживаться комплектом машин, предназначенных для выполнения отдельных технологических процессов. При этом скорость потока и производительность машин должны быть взаимоувязаны.

Однако реальный опыт перехода к транспортно-технологическим схемам с циклично-поточной организацией работ, базирующихся на применении универсальных погрузочных машин, показал, что технико-экономические показатели работы СКМ оказались ниже, чем прогнозировалось. Как показали результаты анализа, основной причиной непроизводительных трудозатрат и высокого удельного веса простоев в суммарной продолжительности работ являются малоисследованные процессы взаимодействия погрузочного и транспортного оборудования. Появление универсальных погрузочных машин, свободно маневрирующих и работающих с отрывом от транспортных коммуникаций, приводит к выходу организационных факторов на передний план. Именно от организации взаимодействия погрузочных машин с подвижным составом их производительность, а, следовательно, и технико-экономические показатели транспортно-технологической схемы в целом. Разнообразие внешних факторов, характеризующих конкретный транспортный комплекс, не позволяет сформулировать единый алгоритм разработки рациональной технологической схемы взаимодействия погрузочного и транспортного оборудования на базе широкомасштабных хронометражных наблюдений, поэтому актуальной задачей является применение методов математического моделирования.

Цель работы. Выявление характера влияния технологических и эксплуатационных факторов на результирующие параметры процесса взаимодействия погрузочной машины и транспортного средства.

Материалы исследования. Проведенный анализ существующих методик расчета и проектирования транспортно-технологических схем показал, что основное внимание уделяется процессу взаимодействия исполнительных органов погрузочной машины со штабелем груза. Взаимодействие погрузчика со средствами транспорта обычно рассматривается только в плане обеспечения кратности объемов грузового органа и кузова. Объясняется это тем, что традиционно используемые технологические схемы предусматривают неподвижность погрузочной машины на

протяжении одного цикла погрузки. Современные погрузочные машины имеют высокие маневренные качества, что позволяет им перемещаться как вдоль погрузочного фронта, так и от штабеля к транспортному средству. Такие возможности теоретически обеспечивают более высокие показатели производительности, однако для их достижения нужна научно обоснованная методика организации взаимодействия машин в рамках СКМ.

Часовая техническая производительность ковшовой погрузочной машины в первую очередь зависит от продолжительности цикла погрузки, емкости ковша, а также факторов, учитывающих реальные условия эксплуатации [1]:

$$Q_{\text{час}} = \frac{60}{T} \cdot V_K \cdot k_3 \cdot \frac{1}{k_H} \cdot k_P$$

где T – продолжительность цикла, с; V_K – геометрическая емкость ковша, м³; k_3 – коэффициент заполнения ковша; k_H – коэффициент, учитывающий изменение времени цикла в реальных условиях; k_P – коэффициент дополнительного разрыхления в ковше.

Как известно [1], продолжительность рабочего цикла ковшовых погрузочных машин периодического действия складывается из затрат времени на выполнение ряда последовательных операций:

$$T = \sum_{i=1}^m t_i$$

где t_1 – время движения машины от транспортного средства к штабелю насыпного груза, с; t_2 – время внедрения ковша в штабель, с; t_3 – время зачерпывания, с; t_4 – время движения машины с грузом к транспортному средству, с; t_5 – время подъема ковша на разгрузку, с; t_6 – время разгрузки ковша, с; t_7 – время опускания ковша в исходное положение, с.

В силу большого количества влияющих факторов классические методы математического моделирования требуют значительных объемов вычислений, поэтому для исследования процесса использованы методы статистического моделирования. Планирование осуществляли по полному факторному эксперименту (план 2^k) с использованием методики крутого восхождения (метод Бокса – Уилсона) [2]. При использовании метода крутого восхождения пошаговое движение из точки вектора совершается в направлении наискорейшего возрастания функции, т.е. по градиенту в этой точке. Однако, в отличие от градиентного метода, корректировка направления производится не после каждого следующего шага, а только по достижению частного экстремума. Важной особенностью метода является также регулярный статистический анализ результатов экспериментов по мере продвижения к экстремуму.

В отличие от существующих методов в настоящей работе учитываются независимые переменные, которые характеризуют не только параметры погрузочных машин, но и характеристики процесса движения погрузочной машины. Факторами, определяющим продолжительность цикла погрузки в транспортные средства, являются: x_1 – сцепная масса машины, т.; x_2 – емкость ковша, м³; x_3 – скорость машины, м/с.; x_4 – коэффициент сцепления; x_5 – путь пробега погрузочной машины, м.

Для составления плана (матрицы) исследований на первом этапе определяли величину основного уровня (центра плана) для различных задаваемых факторов и интервала варьирования.

Число возможных комбинаций (полная матрица) на двух уровнях при 5-ти переменных было равным 32. Исходный вариант формируемой матрицы приведен в таблице 2.1. При ее составлении учитывалось взаимное влияние факторов $x_1x_2, x_1x_3, x_1x_4, x_1x_5, x_1x_2x_3, x_1x_2x_4, x_1x_4x_5, x_1x_2x_3x_4, x_1x_3x_4x_5, x_1x_2x_3x_4x_5$ (общее число размещений A_n^m).

Линейное уравнение регрессии после определения коэффициентов имело следующий вид:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^{15} b_i x_i$$

где b_0 – постоянный член уравнения; b_i – коэффициенты уравнения регрессии, учитывающие совместное влияние факторов; x_i – значение фактора.

Затем проводилась проверка значимости коэффициентов и адекватности модели. Для определения значимости коэффициентов регрессии рассчитывалась дисперсия воспроизводимости для всей матрицы по формуле [3]:

$$S_{\text{воспр}}^2 = \frac{\sum_1^N \sum_1^n (y_{iq} - y'_1)^2}{N(n-1)}$$

где N – количество элементов матрицы (число возможных комбинаций) ($N = 32$); n – число уровней ($n = 3$); y_{iq} – элементы матрицы; y'_1 – эмпирическое среднее матрицы.

Оценка значимости коэффициентов по критерию Стьюдента показала, что в процессе рандомизации уравнение регрессии можно представить в виде:

$$\hat{y} = 53,4 - 9,42x_1 - 7,18x_2 + 21,6x_3.$$

Анализ результатов расчета показал, что причины незначимости коэффициентов регрессии, описывающих взаимное влияние факторов, были связаны с тем, что, с одной стороны, интервал варьирования для данного фактора был близок к стандартной области, а с другой – параметр оптимизации процесса не зависел от варьирования данного фактора.

Проверка однородности дисперсии проводилась по критерию Кохрена:

$$G_{on} = \frac{S_{\text{max}}^2}{\sum S_i^2}$$

где G_{on} – критерий Кохрена; S_{max}^2 – максимальная дисперсия выборки; S_i^2 – дисперсия отдельных элементов матрицы.

Проверка модели на адекватность осуществлялась по критерию Фишера на предмет сопоставления расчетных коэффициентов и табличных данных:

$$F = \frac{S_{\text{ост}}^2}{S_{\text{воспр}}^2}$$

где F – критерий Фишера; $S_{\text{ост}}$ – остаточная дисперсия; $S_{\text{воспр}}$ – дисперсия воспроизведения.

При этом для числа степеней свободы $f_1 = 28$ и $f_2 = 2$ и $q = 0,05$ коэффициент Фишера по расчетам составил $F = 2,31$, а табличный равен $F = 3,34$, что доказывает адекватность уравнения регрессии результатам проведенных экспериментов.

По полученному уравнению регрессии были составлены таблицы эксперимента [4]. При этом выбранную точку минимума переносим в центр исследования и составляем новый план первого порядка для X_1 и X_2 при фиксированном X_3 .

Поскольку варьировалось два фактора, план содержал четыре точки и представлял собой полный факторный эксперимент первого порядка. Статистический анализ показал, что уравнение регрессии второго плана было неадекватно, что характеризовало область достижения высокой кривизны.

Исследование поверхности отклика проводилось при помощи вычисления коэффициентов уравнения кривой второго порядка по уравнению:

$$B^2 - (b_{11} - b_{33})B + (b_{11}b_{33} - \frac{1}{4}b_{13}^2) = 0$$

где b_{11} , b_{33} , b_{13} – эмпирические коэффициенты регрессии.

Поскольку условия характеризуются исходные переизбыточностью данных, когда независимые переменные коррелируют друг с другом, для определения оптимальных режимов, характеризующихся минимумом затрат времени, использовался метод «ридж – анализа», вычисление характеристик которого производилось по параметрам Хорля. Порядок построения области факторного пространства определял построение двумерного сечения отклика, а затем двумерное сечение поверхности отклика описывалось канонической формулой [5]. Поверхность гиперболоида, полученного в результате моделирования, образована совокупностью точек, каждая из которых представляет собой продолжительность рабочего цикла погрузочной машины при строго определенном сочетании факторов.

Снижение продолжительности рабочего цикла погрузочной машины иллюстрируется сечениями, по периметру которых расположены точки с одинаковой величиной временного функционала и различным сочетанием управляющих факторов. По мере приближения к области оптимизации снижается продолжительность рабочего цикла многофункциональных погрузочных

машин и сокращается область возможных вариантов сочетания факторов.

Анализ результатов статистических расчетов показал, что область минимизации временных затрат лежит в области эллиптического параболоида при положительных канонических коэффициентах. Как установлено ранее в работе [6], наиболее значимые из рассматриваемых факторов – путь пробега (x_5) и емкость ковша погрузочной машины (x_2), что согласуется с результатами теоретических исследований [7, 8]. Если емкость ковша – технический параметр, определенный производителем оборудования, то путь пробега – организационный фактор, который можно изменять в конкретных условиях работы СКМ.

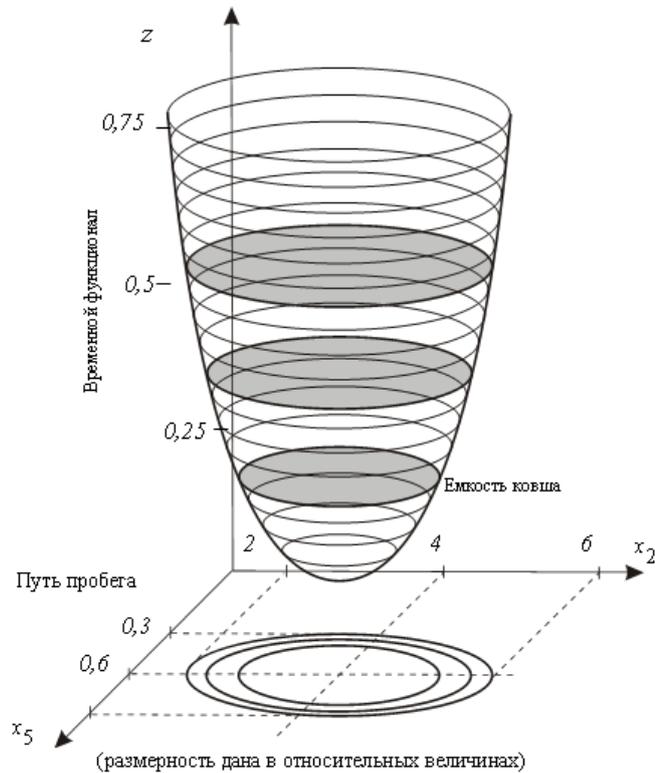


Рисунок 1. Область оптимизации

Для выявления характера влияния длины пробега погрузочной машины на время простоя транспортного средства под погрузкой авторами проведено моделирование процесса взаимодействия погрузочной машины и транспортного средства [6], результаты которого представлены на рис. 2.

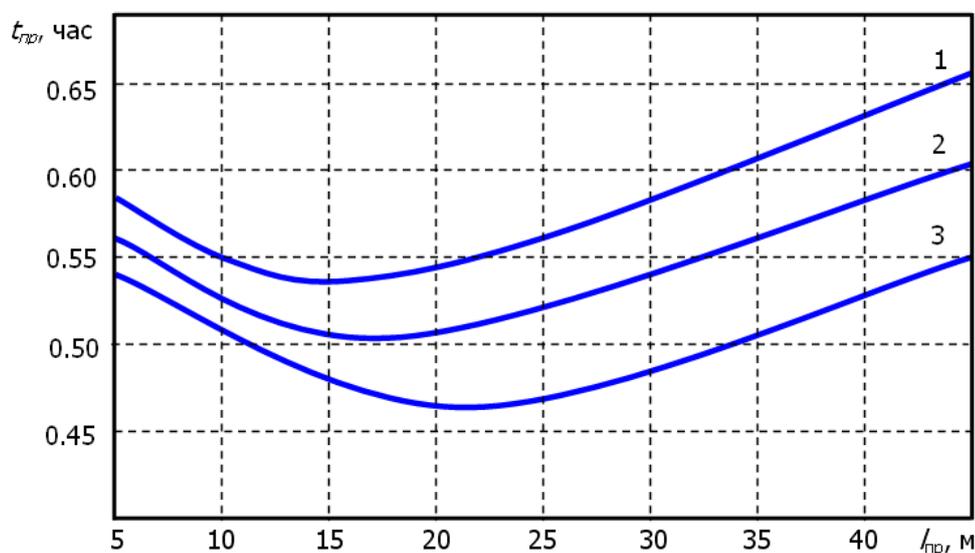


Рисунок 2. Графики зависимости результаты моделирования процесса время простоя

транспортного средства под погрузкой от длины пробега погрузочной машины для различных соотношений объема грузового отделения транспортного средства и объема ковша погрузочной машины: 1 – для соотношения $V_{TC}/V_K = 5$; 2 – для соотношения $V_{TC}/V_K = 10$; 3 – для соотношения $V_{TC}/V_K = 15$.

С увеличением длины пробега погрузочной машины время $t_{пр}$ уменьшается до некоторого минимального значения, что обусловлено сокращением времени маневрирования транспортного средства перед погрузочным фронтом. Однако при дальнейшем увеличении длины пробега погрузочной машины возрастает время цикла погрузочных работ, что негативно сказывается на часовой производительности СКМ. При этом эффект влияния длины пробега более заметен при больших значениях соотношения V_{TC}/V_K , поскольку в этом случае увеличивается общий за время погрузки транспортного средства пробег погрузочной машины. С увеличением значения соотношения V_{TC}/V_K длина пробега, обеспечивающая минимальное время простоя, возрастает. Таким образом, появляется возможность определения оптимального соотношения технических и организационных параметров, позволяющих достигнуть минимального времени простоя при выполнении погрузочных работ и максимальной производительности для наиболее часто используемых специализированных комплектов машин.

Выводы. В результате проведенных исследования процесса взаимодействия ковшевой погрузочной машины и транспортного средства на основе статистического моделирования доказано, что важнейшим организационным фактором, определяющим эффективность работы погрузочного и транспортного оборудования, является путь пробега погрузочной машины от штабеля груза до транспортного средства. Установлен характер зависимости времени простоя транспортного средства под погрузкой от длины пробега для различных соотношений вместимости кузова транспортного средства и емкости ковша погрузочной машины.

1. Корляков П.А. Ковшовые погрузочно-транспортные машины / П.А. Корляков, К.С. Кордюков, Ю.М. Павлов. – М.: Недра. – 1980. – 375 с.
2. Борисенко Л.Д. Статистическое моделирование производственных процессов / Л.Д. Борисенко, Л.Н. Занина. – М.: Наука. – 1982. – 102 с.
3. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова. – М.: Наука. – 1984. – 284 с.
4. Ширин Л.Н. Оптимизация схем взаимодействия погрузочного и транспортного оборудования и совершенствование технологии подготовительных работ / Л.Н. Ширин, С.Е. Барташевский. // Научно-прикладные проблемы разработки крутых и крутонаклонных угольных пластов Донбасса. – Донецк: Регион. – 1999. – С.370 – 379.
5. Худсон А.П. Статистика для физиков / А.П. Худсон. – М.: Мир. – 1970. – 256 с.
6. Барташевский С.Е. Математическая модель продолжительности рабочего цикла ковшевой погрузочной машины / С.Е. Барташевский // Вибрации в технике и технологиях. – 2001. – № 3 (19). – С. 46 – 49.
7. Тиро А.М. О выборе показателей, характеризующих влияние смежных условий на работу самоходного погрузочно-транспортного комплекса / А.М. Тиро // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1969. – № 2. – С. 117 – 120.
8. Салли В. К выбору критерия оптимальности в оптимальных расчетах / В.И. Салли, А.М. Солодовник, О.В. Петренко // Науковий вісник Національної гірничої академії України. – 1999. – № 3. – С. 135 – 136.

REFERENCES

1. Korljakov P., Kordjukov K., Pavlov Ju. (1980). Bucket loading and transport machines [Kovshovye pogruzochno-transportnye mashiny]. Moscow, Nedra. 375 p.
2. Borisenko L. (1982). Statistical Modeling of production processes [Statisticheskoe modelirovanie proizvodstvennyh processov]. Moscow, Science. 102 p.
3. Adler Ju. (1984). Planning an experiment in the search for optimal conditions [Planirovanie jeksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij]. – Moscow, Science. 284 p.
4. Shirin L., Bartashevski S. (1999) Optimization of interaction schemes of loading and transport equipment and improving technology of preparatory work [Optimizacija shem vzaimodejstvija pogruzochnogo i transportnogo oborudovanija i sovershenstvovanie tehnologii podgotovitel'nyh rabot]. Scientists applied problems of development of steep and steeply inclined coal seams of Donbass. – Donetsk, Region. P. 370 – 379.
5. Hudson A.P. (1970). Statistics for physicists [Statistika dlja fizikov]. Moscow, Mir. 256 s.
6. Bartashevski S. (2001). Mathematical model of working cycle ladle loading machine [Matematicheskaja model' prodolzhitel'nosti rabocheho cikla kovshevoj pogruzochnoj mashiny]. Vibrations in technics and technologies. Vol. № 3 (19). pp. 46 – 49.
7. Tiro A. (1969). On the choice of parameters describing the effect of conditions related to the operation of self-propelled cargo transport complex [O vybore pokazatelej, harakterizujushhijh vlijanie smezhnyh uslovij na rabotu samohodnogo

pogruzochno-transportnogo kompleksa]. Physical and technical problems of mining. Vol. 2. pp. 117 – 120.

8. Salli V., Solodovnik A., Petrenko O. (1999). By choosing the optimality criterion in the calculation of the optimal [K vyboru kriterija optimal'nosti v optimal'nyh raschetah]. Scientific Bulletin of National Mining Academy of Ukraine. Vol. № 3 Ukraïni. – 1999. – Vol. № 3. pp. 135 – 136.

О.В. Новицкий, С.Е. Барташевский. Підвищення ефективності взаємодії навантажувальних та транспортних засобів в умовах циклічно-потокового виробництва.

Наведено результати дослідження процесу взаємодії ковшової навантажувальної машини та транспортного засобу на основі математичного моделювання. Доведено, що найважливішим організаційним фактором, що визначає ефективність роботи навантажувального та транспортного обладнання, є відстань пробігу навантажувальної машини від штабеля вантажу до транспортного засобу. Отримані залежності часу простою транспортного засобу під навантаженням від відстані пробігу.

Ключові слова: ковшова навантажувальна машина, час простою, статистичне моделювання..

A. Novytski, S. Bartashevski. Improving the efficiency of interaction loading and vehicles in cyclicity line production.

Results of research concerning interaction between overhead loader and transport facility relying upon statistic modeling have been demonstrated. It has been proved that travel of loading unit is the most important organizational factor determining efficiency of both loading and transport machines. Time dependences of nonproductive time of transport facility being loaded on travel have been shown.

Key-words: overhead loader, nonproductive time, statistic modeling.

АВТОРИ:

НОВИЦЬКИЙ Олексій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Управління на транспорті», Національний гірничий університет, Дніпро, Україна, e-mail: novitsk_a@mail.ru

БАРТАШЕВСЬКИЙ Станислав Євгенович, кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних систем і технологій, Національний гірничий університет, Дніпро, Україна, e-mail: xfiles07@mail.ru.

АВТОРЫ:

НОВИЦКИЙ Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление на транспорте», Национальный горный университет, Днипро, Украина, e-mail: novitsk_a@mail.ru

БАРТАШЕВСКИЙ Станислав Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент кафедры транспортных систем и технологий, Национальный горный университет, Днипро, Украина, e-mail: xfiles07@mail.ru.

AUTHORS:

Alexey NOVYTSKI, PhD, Assoc. Professor of Transport Management Department, National Mining University, e-mail: novitsk_a@mail.ru;

Stanislav BARTASHEVSKI, PhD, Assoc. Professor the Department of Transport Systems and Technologies, National Mining University, e-mail: xfiles07@mail.ru.

Стаття надійшла в редакцію 20.10.2016р..