ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2021;(5):146-156
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 681.5: 622.684 DOI: 10.25018/0236_1493_2021_5_0_146

ОПТИМИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РИТМИЧНОЙ И ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ УЧАСТКОВ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ШВЕ ТАУНГ»

Сис Муе

НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: sism.msmu@gmail.com

Аннотация: Месторождение «Шве Таунг», находящееся на северо-западе в горной местности Республики Союз Мьянма, имеет три участка открытых горных работ. Угли, добывающиеся на этих участках, перевозятся по грунтовым горным дорогам в порт, расположенный на реке Чиндуин, где расположены склады. Угли грузят на баржи и отправляют на цементный завод по реке Чиндуин. Климатические условия накладывают особенности на горные работы и транспортировку. В сезон дождей, который длится около 4 месяцев (с июня по сентябрь), часто бывают сильные ливни, поэтому разработка ведется только в период отсутствия дождей для обеспечения требований безопасности. Кроме того, в летний период (с февраля по май) из-за падения уровня воды в реке доставка угля потребителям не осуществляется. При этом для непрерывной работы потребителя — угольно-цементного завода — в течение всего года необходимо создание запасов угля на период дождей. В работе ставились задачи по исследованию процессов добычи и транспортировки угля с целью оптимизации движения автомобильного транспорта для обеспечения ритмичной и эффективной работы участков открытых горных работ угольного месторождения «Шве Таунг». Результаты расчета графика и режима движения машин обеспечивают минимизацию расхода топлива при работе автотранспорта, определение оптимального количества машин для перевозки угля, что способствует ритмичной и эффективной работе участков открытых горных работ угольного месторождения «Шве Таунг» в условиях горного рельефа.

Ключевые слова: открытые горные работы, карьерный автомобильный транспорт, горнодобывающая промышленность, горное оборудование, перевозка угля, оптимизация времени автомобильного транспорта, минимизация расхода топлива, условия рельефа.

Для цитирования: *Сис Муе* Оптимизация движения автомобильного транспорта для обеспечения ритмичной и эффективной работы участков открытых горных работ угольного месторождения «Шве Таунг» // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5. – С. 146–156. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_5_0_146.

Optimization of road traffic for smooth and efficient operation of open pit mining in Shwe Taung coal project

Sis Mue

National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia,
e-mail: sism.msmu@gmail.com

© Сис Муе. 2021.

Abstract: Shwe Taung coal project in the northwestern mountainous area in the Republic of the Union of Myanmar involves three open pit mines. Coal is hauled from the mines by unmade mountain roads to a port on the Chandwin River. Coal is loaded on barges and is shipped by the Chandwin River to a cement plant. The local climate governs specificity of mining and haulage. During the monsoon season which lasts for 4 months (from June to September), it often rains heavily. For this reason, mining is only carried out when there is no raining, to ensure required safety. Furthermore, in the summer season (from February to May), coal shipment to consumers is terminated due to fall of water level in the river. In the meanwhile, for the continuous operation of the consumer — coal-fuelled cement plant system during the whole year, it is required to build up a stock of coal in the monsoon period. This study is aimed to analyze the processes of coal mining and handling with a view to optimizing road traffic toward efficient and smooth operation of open pit mines of Shwe Taung coal project. The calculated road traffic routine and regime allow minimization of fuel consumption by motor vehicle transport and optimization of number of coal haulage machines, which favors smooth and efficient operation of open pit mines on the mountainous terrain of Shwe Taung coal project.

Key words: open pit mining, open pit mining vehicles, mining industry, mining equipment, coal haulage, optimization of active time of mechanical transport, fuel consumption minimization, terrain.

For citation: Sis Mue. Optimization of road traffic for smooth and efficient operation of open pit mining in Shwe Taung coal project. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(5):146-156. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_5_0_146.

Введение

Для обеспечения стабильности необходимо развивать горнодобывающий сектор во всех регионах мира [1]. В Республике Союз Мьянма большое количество месторождений угля преимущественно разрабатывается открытым способом. Месторождение «Шве Таунг» находится на северо-западе, в горной местности Республики Союз Мьянма. Рельеф здесь характеризуется простиранием горных хребтов в меридианном направлении. Между горных систем (хребтов) на севере расположены участки обширных плоскогорий, чередующихся с широкими плоскими котловинами, долинами и плато [2, 3] позднедокембрийского, палеозойского и триасовского происхождения. Горные породы, слагающие горный массив, характеризуются однообразным терригенно-карбонатным составом.

Месторождение «Шве Таунг» расположено недалеко от города Калева, на восточных склонах горного хребта Ракхайн [4, 5]. Разработка месторождения ведется тремя участками открытых горных работ. Карта местонахождения представлена на рис. 1.

Анализ работ по перевозке угля на месторождении «Шве Таунг»

Добытый уголь перевозят на склады, находящиеся в речном порту. С этих складов уголь грузится на суда, которые транспортируют его на цементный завод по реке Чиндуин на расстояние 273 км. Схема размещения участков, складов и маршрутов транспортировки угля представлена на рис. 2.

Для погрузки угля на добычных участках открытых горных работ используются 7 экскаваторов марки Libherr 944 с ковшом объемом 2,5 м^3. Перевозка угля

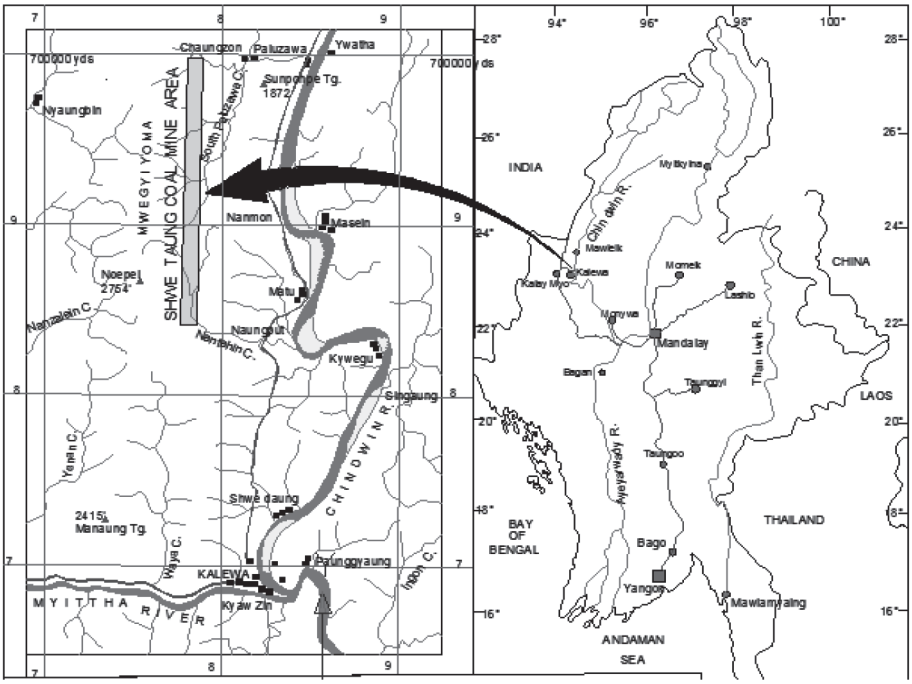

Рис. 1. Карта местонахождения угольного месторождения «Шве Таунг»
Fig. 1. Map of the location of coal fields «Shwe Taung»

Рис. 2. Схема размещения участков, складов и маршрутов транспортировки угля месторождения «Шве Таунг»
Fig. 2. Layout of sites, warehouses and transportation routes of coal fields «Shwe Taung»

в речной порт осуществляется 16 самосвалами марки Scania P420 8×4 с объемом кузова 20 м^3 и с грузоподъемностью 34 т.

Вопросам эффективной работы и логистики автотранспорта на карьерах посвящено много работ в России [6–10] и за рубежом [11–14], однако для условий Республики Союз Мьянма необходимо учесть особенности местности и климата. Месторождение Шве Таунг расположено в гористой местности, в сложных условиях горного рельефа тектонического и водно-эрозивного происхождения. Поэтому автомобильные дороги имеют большое количество подъемов, спусков и поворотов. Для построения профилей автомобильных дорог были проведены камеральные работы с топографической картой. Уклоны дорог в процентах рассчитаны по следующей формуле:

$$a = \frac{100h}{L} \qquad (1)$$

где a — уклон в процентах; h — высота; L — расстояние.

Все автомобильные дороги в районе месторождения «Шве Таунг» грунтовые, имеют глинисто-каменистые покрытия. Поскольку в сезон дождей бывают сильные ливни, работы по добыче угля приостанавливаются в связи с требованиями безопасности.

Разработка методики определения мощности и удельного расхода топлива для карьерного автотранспорта при его движении по горизонтальным участкам дорог

Используя данные, полученные от производителя машин [15, 16], по эксплуатационным мощностям автосамосвалов Scania, которые применяются на месторождении, были построены номограммы работы автосамосвала при движении в загруженном состоянии (рис. 3) и при порожнем движении (рис. 4).

Порядок применения номограмм следующий: начиная с правой номограммы, выбирается значение полной массы автосамосвала. Далее проводится вертикальная линия до пересечения с прямой, соответствующей рассматриваемому участку дороги с ее уклоном. Из полученной точки пересечения проводится вертикальная линия на левую номограмму до пересечения с кривой. На графике зависимости тягового усилия от скорости движения автосамосвала также отмечены используемые автомобильные передачи. Точка пересечения горизонтальной линии и кривой позволяет определить, какое будет тяговое усилие на данном участке автодороги и какая будет скорость движения автосамосвала.

Проведенные камеральные работы с расчетами по топографической карте позволили определить величину уклонов и протяженность участков по всем маршрутам движения автосамосвалов. По данным диаграммы работы автосамосвала при его движении не сложно определить оптимальную скорость и оптимальное тяговое усилие. Следовательно, можно рассчитать мощность двигателя

$$N_e = T \cdot v \qquad (2)$$

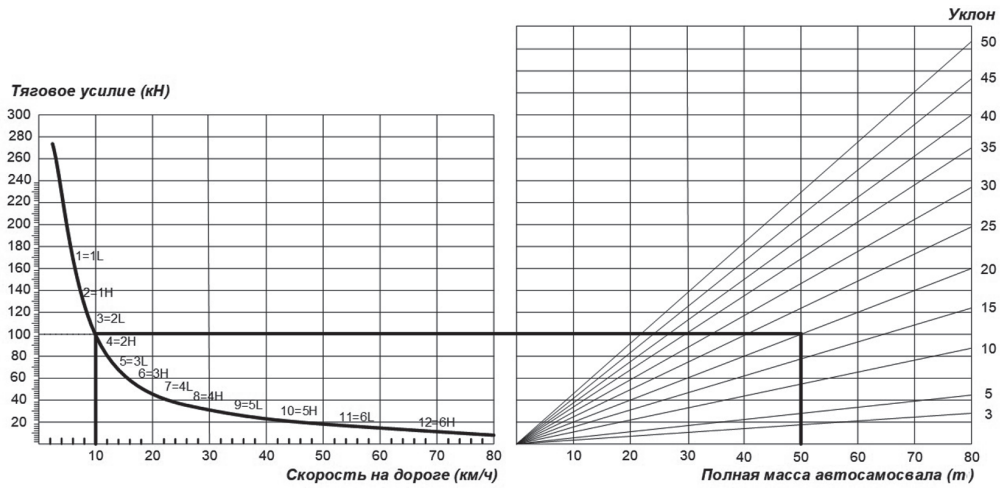

Рис. 3. Номограмма для определения скорости движения автосамосвала при его полной загрузке с учетом уклона дороги

Fig. 3. Nomogram for determining the speed of a dump truck when it is fully loaded, taking into account the slope of the road

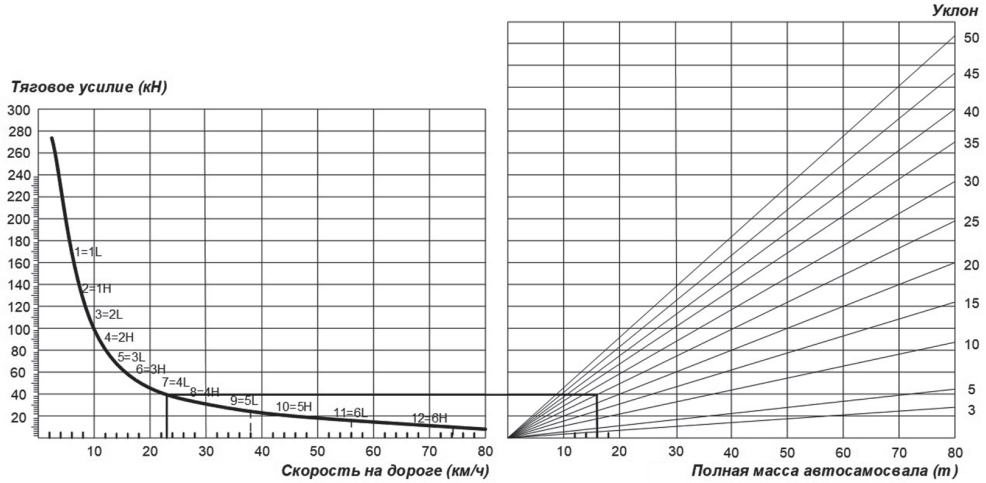

Рис. 4. Номограмма для определения скорости движения порожнего автосамосвала с учетом уклона дороги

Fig. 4. Nomogram for determining the speed of an empty dump truck taking into account the slope of the road

где N_e — мощность двигателя, кВт; T — тяговое усилие, кН; v — скорость, км/ч.

При оценке экономических показателей эффективности работы автотранспорта при транспортировании угля определяющим фактором является удельный расход топлива (b_e, г/кВт·ч).

Величина удельного расхода топлива зависит от многих факторов. К ним можно отнести величину уклона дороги (a, %), мощность двигателя (N_e, кВт) и скорость движения автомобиля (v, км/ч), тяговое усилие (T, кН), массу машины с грузом (m, т) и др.

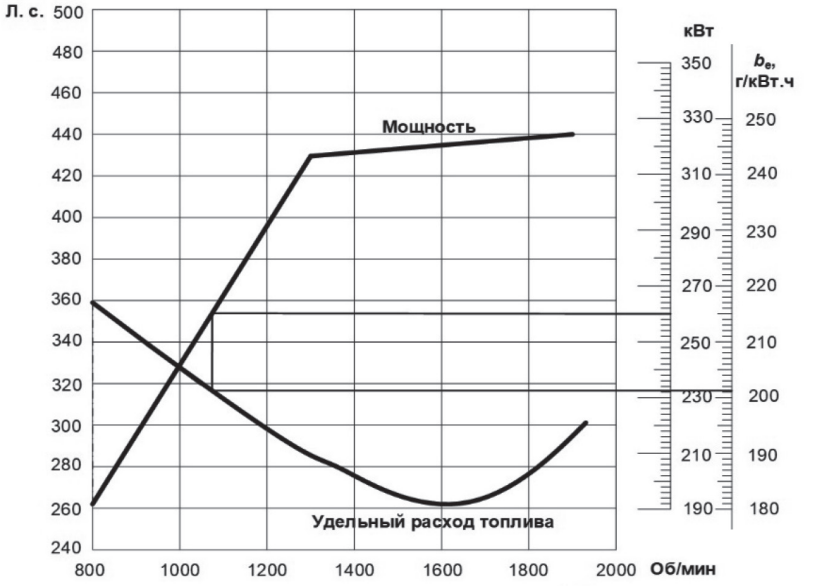

Рис. 5. Номограмма для определения мощности и удельного расхода топлива от оборотов в минуту

Fig. 5. Nomogram for determining power and specific fuel consumption from revolutions per minute

Для определения зависимости удельного расхода топлива от мощности для одного силового агрегата (двигателя) была построена номограмма (рис. 5). По ней, зная мощность двигателя в кВт или л.с., можно определить значение удельного расхода топлива. Это делается следующим образом: по осям ординат отмечается величина мощности двигателя. От отметки проводится горизонтальная линия до пересечения с кривой «мощность». Далее из точки пересечения проводится вертикальная линия до пересечения с кривой «Удельный расход топлива». Из полученной точки проводится горизонтальная линия до шкалы удельного расхода топлива (b_e, г/кВт·ч).

С помощью данного графика, для планирования работы карьерного автомобильного транспорта при перевозке угля в сложных условиях гористой местности необходимо определить зависимость:

$$b_e = f(a, v, T, N_e, m). \qquad (3)$$

Определение требуемого времени работы автотранспорта для преодоления подъемов и движения на спусках

После определения скорости автомобиля на уклонах с учетом их протяженности (табл. 1–6) время движения вычисляется по формулам:

$$v = l_a / t_п , \qquad (4)$$

Таблица 1

Движения с грузом (с 1-го участка в речной порт) Traffic with freight (from open pit mine 1 to river port)

№	Уклоны, %	Скорость, v, км/ч	Удельный расход топлива, b_e, г/кВтч	Протяженность участков	Время в пути, t, с
1		35	203	900	92,57
2	5	34	196	600	63,53
3	5	35	217	1100	113,14
4	10	17	201	600	127,06
5	10	35	217	600	61,71
6	15	13	199	300	83,08
7	15	35	217	200	20,57
8	20	10	197,5	200	72
9	20	30	217	300	36
10	25	8	198	800	360
11	30	7	196,5	300	154,29
12	30	30	217	300	36
13	35	30	217	600	72
14	40	5	202	100	72
15	40	25	217	200	28,80
16	45	5	195	300	216
17	50	25	217	300	43,20

Таблица 2

Движения без груза (из речного порта на 1-й участок) Traffic without freight (from river port to open pit mine 1)

№	Уклоны, %	Скорость, v, км/ч	Удельный расход топлива, b_e, г/кВтч	Протяженность участков	Время в пути, t, с
1		50	220	900	64,80
2	5	50	217	600	43,20
3	5	50	220	1100	79,20
4	10	50	217	600	43,20
5	10	50	197	600	43,20
6	15	50	217	300	21,60
7	15	38	200,5	200	18,95
8	20	40	217	200	18
9	20	30	200	300	36
10	25	40	217	800	72
11	25	23	202	300	46,96
12	30	40	217	300	27
13	30	20	202	600	108
14	35	17	202,5	100	21,18
15	40	16	200	200	45
16	45	35	217	300	30,86
17	50	13	200,5	300	83,08

Таблица 3

Движения с грузом (со 2-го участка в речной порт)
Traffic with freight (from open pit mine 2 to river port)

№	Уклоны, %	Скорость, v, км/ч	Удельный расход топлива, b_e, г/кВтч	Протяженность участков	Время в пути, t, с
1		35	203	3000	308,57
2	5	34	200,5	400	42,35
3	5	35	217	2400	246,86
4	10	17	215	800	169,41
5	10	35	217	1700	174,86
6	15	13	196,5	100	27,69
7	15	35	217	900	92,57
8	20	10	197,5	1200	432
9	20	30	217	300	36
10	25	8	198	500	225
11	30	30	217	100	12
12	35	30	217	200	24
13	45	5	195	100	72
14	50	4	202	100	90
15	50	25	217	100	14,40

Таблица 4

Движения без груза (из речного порта на 2-й участок)
Traffic without freight (from river port to open pit mine 2)

№	Уклоны, %	Скорость, v, км/ч	Удельный расход топлива, b_e, г/кВтч	Протяженность участков	Время в пути, t, с
1		50	220	3000	216
2	5	50	217	400	28,80
3	5	50	220	2400	172,80
4	10	50	217	800	57,60
5	10	50	197	1700	122,40
6	15	50	217	100	7,20
7	15	38	200,5	900	85,26
8	20	40	217	1200	108
9	20	30	200	300	36
10	25	40	217	500	45
11	30	20	202	100	18
12	35	17	202,5	200	42,35
13	45	35	217	100	10,29
14	50	35	217	100	10,29
15	50	13	200,5	100	27,69

$$t_п = l_а / v, \quad (5)$$

где $t_п$ — время в пути, с; $l_а$ — длина уклонов, м; v — скорость, м/с.

Результаты расчетов по движению автосамосвалов с грузом и в порожнем состоянии сведены по маршрутам в табл. 1–6.

С учетом рассчитанных данных, сведенных в таблицы, определено суммарное время движения автомобилей в речной порт (с грузом) и обратно (порожняком), которое равно

$$t_{п1\ (с\ грузом)} = 1651{,}95 \text{ с} = 27{,}53 \text{ мин}$$
$$t_{п1\ (порожнем)} = 802{,}21 \text{ с} = 13{,}37 \text{ мин}$$
$$t_{п1} = 40{,}9 \text{ мин}$$
$$t_{п2\ (с\ грузом)} = 1967{,}71 \text{ с} = 32{,}8 \text{ мин}$$
$$t_{п2\ (порожнем)} = 987{,}68 \text{ с} = 16{,}46 \text{ мин}$$
$$t_{п2} = 49{,}26 \text{ мин}$$
$$t_{пЗ\ (с\ грузом)} = 2380{,}39 \text{ с} = 39{,}67 \text{ мин}$$
$$t_{пЗ\ (порожнем)} = 1185{,}66 \text{ с} = 19{,}76 \text{ мин}$$
$$t_{пЗ} = 59{,}43 \text{ мин}$$

На основе проведенных расчетов построена циклограмма работы автомобильного транспорта для перевозки угля (рис. 6), по которой определяется необходимое количество автосамосвалов (для первого участка 6, для второго участка 7 и для третьего участка 8 автосамосвалов).

Заключение

Для сложных гористых условий рельефа месторождения «Шве Танг», расположенного в горном массиве Ракхайн (Аракан-Йома) Республики Союз Мьянма, с учетом профилей дорог были определены оптимальная скорость и тяго-

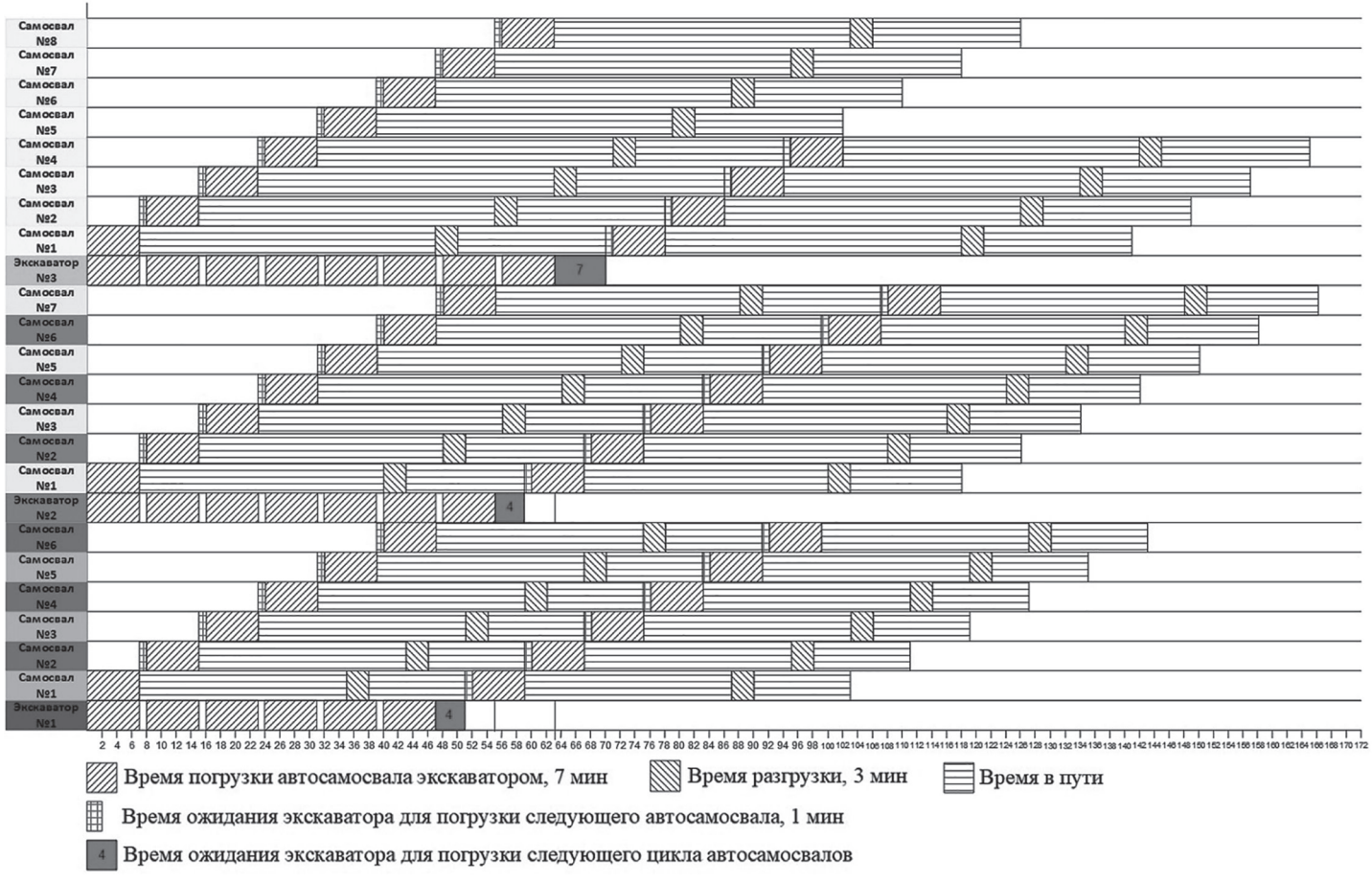

Рис. 6. Циклограмма работы автомобильного транспорта для перевозки угля месторождения «Шве Таунг»
Fig. 6. Cyclogram of road transport for the transportation of coal fields «Shwe Taung»

Таблица 5

Движения с грузом (с 3-го участка в речной порт)
Traffic with freight (from open pit mine 3 to river port)

№	Уклоны, %	Скорость, v, км/ч	Удельный расход топлива, b_e, г/кВтч	Протяженность участков	Время в пути, t, с
1		35	203	3800	390,86
2	5	34	200,5	600	63,53
3	5	35	217	2500	257,14
4	10	17	201	1200	254,12
5	10	35	217	2000	205,71
6	15	13	196,5	400	110,77
7	15	35	217	1000	102,86
8	20	10	197,5	1300	468
9	20	30	217	200	24
10	25	8	198	500	225
11	25	30	217	200	24
12	30	30	217	100	12
13	35	6	196,5	100	60
14	35	30	217	200	24
15	45	5	195	200	144
16	50	25	217	100	14,40

Таблица 6

Движения без груза (из речного порта на 3-й участок)
Traffic without freight (from river port to open pit mine 3)

№	Уклоны, %	Скорость, v, км/ч	Удельный расход топлива, b_e, г/кВтч	Протяженность участков	Время в пути, t, с
1		50	220	3800	273,60
2	5	50	217	600	43,20
3	5	50	220	2500	180
4	10	50	217	1200	86,40
5	10	50	197	2000	144
6	15	50	217	400	28,80
7	15	38	200,5	1000	94,74
8	20	40	217	1300	117
9	20	30	200	200	24
10	25	40	217	500	45
11	25	23	202	200	31,30
12	30	20	202	100	18
13	35	40	217	100	9
14	35	17	202,5	200	42,35
15	45	35	217	200	20,57
16	50	13	200,5	100	27,69

вое усилие на разных участках маршрута. С учетом полученных данных были рассчитаны текущие мощности, развиваемые двигателем, и удельные расходы топлива при движении автомобилей от производственных участков в речной порт на реке Чиндуин и обратно (с грузом и порожняком). На основе полученных результатов определено оптимальное время движения автомобилей от участков открытых горных работ на угольные склады в порту и обратно, а также циклы движения. Построена циклограмма работы трех добычных участков. Выявлено время простоя экскаваторов и определено необходимое количество автосамосвалов. При этом установлена необходимость для обеспечения ритмичной и эффективной работы участков открытых горных работ, увеличения числа используемых машин с 14 до 20 автосамосвалов (для первого участка 6, для второго участка 7 и для третьего участка 8 автосамосвалов).

Все полученные зависимости, проведенные исследования по характеристикам дорог, построенная циклограмма будут использованы для достижения ритмичной и эффективной работы участков открытых горных работ угольного месторождения «Шве Таунг» с целью обеспечения бесперебойной работы цементного завода, также полученные результаты исследований могут быть применены для повышения безопасности на горном предприятии [17].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пучков Л. А.*, *Каледина Н. О.* Глобальное энергетическое потребление: прогнозы и реальность // Горный журнал. — 2016. — № 1. — С. 4—6. DOI: 10.17580/gzh.2016.01.01.

2. *Сис Муе* Анализ состояния горнодобывающей промышленности Республики Союз Мьянма и оценка путей повышения уровня автоматизации // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 10. — С. 213–218. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-10-0-213-218.

3. *Власова Т. В.*, *Аршинова М. А.*, *Ковалева Т. А.* Физическая география материков и океанов. — М.: Просвещение, 1986. — С. 258–265.

4. *Куракова Л.* Геология Юго-Восточной Азии. Индокитай. — Л., 1969. — С. 158–159.

5. *Куракова Л.* Индокитай, Бирма. Природные районы и ландшафты. — М., 1967. — С. 89–91.

6. *Андреева Л. И.*, *Ушаков Ю. Ю.* Исследование эксплуатационных параметров карьерного автотранспорта / Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности. Сборник трудов XV Международной научно-технической конференции. — Екатеринбург, 2017. — С. 422–429.

7. *Кужелев А. И.* Повышение технического уровня карьерных автосамосвалов /Advances in science and technology. Сборник статей XI международной научно-практической конференции. — М., 2017. — С. 83–85.

8. *Чистоева Ю. Е.*, *Тюленев М. А.* Перспективы применения карьерных автосамосвалов малой грузоподъемности / Россия Молодая. Сборник лучших статей VIII Всероссийской, 61 научно-практической конференции молодых ученых. — Кемерово, 2016. — С. 120.

9. *Буялич Г. Д.*, *Фурман А. С.* Исследование транспортного процесса карьерных автосамосвалов // Горное оборудование и электромеханика. — 2017. — № 5. — С. 40–42.

10. *Стенин Д. В.*, *Стенина Н. А.* Влияние параметров горнотранспортного оборудования на эффективность использования карьерных самосвалов // Горное оборудование и электромеханика. — 2019. — № 2. — С. 10—14.

11. *Miao H., Jinsheng Z., Dexin N.* GA-based resource transportation scheduling optimization of open-pit mine / 2017 International Conference on Smart Grid and Electrical Automation (ICSGEA), Changsha. 2017, pp. 247—250. DOI: 10.1109/ICSGEA.2017.9.

12. *Shrivastava A., Goswami S. Rao L. M.* Monitoring the utilization of dump truck in coal mines using internet of thing (IoT) / 2019 Global Conference for Advancement in Technology (GCAT), Bangaluru, India. 2019, pp. 1—4. DOI: 10.1109/GCAT47503.2019.8978465.

13. *Rao L. N.* Mine machinery-II for mining. 1st edition. Planet publishing house, 2016. 280 p.

14. *Gangadhar* Advanced opencast mining methods. 1st edition. Planet Publishing House, 2016. 280 p.

15. *Технические* характеристики грузовых автомобилей SCANIA для горнодобывающей промышленности: [сайт]. URL: http://scaneland.ru/pdf/gornie_raboti_liflet.pdf (дата обращения 22.11.2019).

16. *Самосвалы* scania — строительные / карьерные: [сайт]. URL: https://scanauto.ru/catalog-motor-vehicle-scania/trucks-scania/tipper-scania/ (дата обращения 22.11.2019).

17. *Кобылкин С. С.*, *Кобылкин А. С.*, *Баловцев С. В.*, *Харисов А. Р.* Научно-обоснованные решения по разработке инструкции по составлению плана ликвидации аварий для угольных разрезов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6-1. — С. 84—98. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-84-98. ГИАБ

REFERENCES

1. Puchkov L. A., Kaledina N. O., Kobylkin S. S. Global energy consumption: Forecasts and reality. *Gornyi Zhurnal*. 2016, no. 1, pp. 4—6. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2016.01.01.

2. Sis Mue Mining industry in the Republic of the Union of Myanmar: State-of-the-art and automation upgrade potential. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 10, pp. 213–218. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-10-0-213-218.

3. Vlasova T. V., Arshinova M. A., Kovaleva T. A. *Fizicheskaya geografiya materikov i okeanov* [Physical geography of continents and oceans], Moscow, Prosveshchenie, 1986, pp. 258–265.

4. Kurakova L. *Geologiya Yugo-Vostochnoy Azii. Indokitay* [Geology of Southeast Asia. Indochina], Leningrad, 1969, pp. 158–159.

5. Kurakova L. *Indokitay, Birma. Prirodnye rayony i landshafty* [Indochina, Burma. Natural areas and landscapes], Moscow, 1967, pp. 89–91.

6. Andreeva L. I., Ushakov Yu. Yu. Performance analysis of open pit mining vehicles. *Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya gornoy i neftegazovoy promyshlennosti. Sbornik trudov XV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Process Equipment for Mineral Mining and Petroleum Industry: Proceedings of XV International Conference], Ekaterinburg, 2017, pp. 422–429. [In Russ].

7. Kuzhelev A. I. Enhancing performance standards of open pit mining vehicles. *Advances in science and technology Sbornik statey XI mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Advances in science and technology. XI International Conference and Workshop Proceedings], Moscow, 2017, pp. 83–85. [In Russ].

8. Chistoeva Yu. E., Tyulenev M. A. Prospects for open pit dump trucks of low capacity. *Rossiya Molodaya. Sbornik luchshikh statey VIII Vserossiyskoy, 61 nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh* [Young Russia: Collected Papers of VIII All-Russian 61st Conference and Workshop of Young Scientists], Kemerovo, 2016, pp. 120. [In Russ].

9. Buyalich G. D., Furman A. S. Analysis of transport process of open pit dump trucks. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2017, no. 5, pp. 40–42. [In Russ].

10. Stenin D. V., Stenina N. A. Influence of mining equipment performance on dump truck efficiency. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2019, no. 2, pp. 10 — 14. [In Russ].

11. Miao H., Jinsheng Z., Dexin N. GA-based resource transportation scheduling optimization of open-pit mine. *2017 International Conference on Smart Grid and Electrical Automation (ICSGEA)*, Changsha. 2017, pp. 247 — 250. DOI: 10.1109/ICSGEA.2017.9.

12. Shrivastava A., Goswami S. Rao L. M. Monitoring the utilization of dump truck in coal mines using internet of thing (IoT). 2*019 Global Conference for Advancement in Technology (GCAT)*, Bangaluru, India. 2019, pp. 1 — 4. DOI: 10.1109/GCAT47503.2019.8978465.

13. Rao L. N. *Mine machinery-II for mining*. 1st edition. Planet publishing house, 2016. 280 p.

14. Gangadhar *Advanced opencast mining methods*. 1st edition. Planet Publishing House, 2016. 280 p.

15. *Tekhnicheskie kharakteristiki gruzovykh avtomobiley SCANIA dlya gornodobyvayushchey promyshlennosti*. Available at: http://scaneland.ru/pdf/gornie_raboti_liflet.pdf (accessed 22.11.2019). [In Russ].

16. *Samosvaly scania — stroitel'nye / kar'ernye*. Available at: https://scanauto.ru/catalog-motor-vehicle-scania/trucks-scania/tipper-scania/ (accessed 22.11.2019). [In Russ].

17. Kobylkin S. S., Kobylkin A. S., Balovtsev S. V., Kharisov A. R. Science-based solutions on the development of instructions for an emergency response plan for open-pit mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 6-1, pp. 84 — 98. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-84-98.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Сис Муе — аспирант, НИТУ «МИСиС», e-mail: sism.msmu@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Sis Mue, Graduate Student, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia, e-mail: sism.msmu@gmail.com.

Получена редакцией 26.01.2021; получена после рецензии 25.02.2021; принята к печати 10.04.2021.
Received by the editors 26.01.2021; received after the review 25.02.2021; accepted for printing 10.04.2021.