

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-1-97-108

УДК 622.691.4:053:533.6(252.6)

## ОБ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АВТОНОМНОЙ ТЯЖЕЛОЙ ПЛАТФОРМЫ

## ON THE INTENSITY OF CHANGING THE PERFORMANCE OF THE AUTONOMOUS HEAVY PLATFORM

**Тюленев Максим Анатольевич<sup>1</sup>**,  
канд. техн. наук, профессор, e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru  
**Maxim A. Tyulenev<sup>1</sup>**, C. Sc. in Engineering, professor  
**Марков Сергей Олегович<sup>1</sup>**,  
канд. техн. наук, доцент  
**Sergey O. Markov<sup>1</sup>**,  
C. Sc. in Engineering, associate professor  
**Дубинкин Дмитрий Михайлович<sup>1</sup>**,  
канд. техн. наук, доцент  
**Dmitry M. Dubinkin**, C. Sc. in Engineering, associate professor  
**Аксенов Владимир Валерьевич<sup>1,2</sup>**  
доктор техн. наук, заведующий лабораторией  
**Vladimir V. Aksenov<sup>1,2</sup>**, Dr. Sc. in Engineering, Head of Laboratory

<sup>1</sup> Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

<sup>1</sup> T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya St., Kemerovo, 650000, Russian Federation

<sup>2</sup> Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского Отделения Российской академии наук, 650065, Россия, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10.

<sup>2</sup> Federal Research Center of Coal and Coal chemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 10, Leningradsky Ave., Kemerovo, 650065, Russian Federation

### **Аннотация:**

*В предыдущей работе [20] нами изучалось влияние вида погрузки горной массы и вместимости ковша применяемого экскаватора на производительность автономной тяжелой платформы (беспилотного карьерного автосамосвала). Установлено, что производительность автономных тяжелых платформ (АТП) при различном виде погрузки снижается с различной интенсивностью: в наиболее благоприятном режиме совместной работы (нижнее черпание + нижняя погрузка) снижение производительности идет наиболее интенсивно. Это обусловлено тем, что в таком режиме работы составляющая экскаваторного цикла, включающая в себя подъем наполненного ковша и его разгрузку, занимает большую долю, чем при иных режимах работы. Поэтому при работе, например, с погрузкой выше уровня установки (что может произойти, в частности, в стесненных условиях) влияние угла поворота экскаватора не играет столь важной роли, как при режиме «нижнее черпание – нижняя погрузка». Полученные зависимости могут использоваться в качестве отправной точки для определения норм выработки для АТП; однако авторы считают необходимым уточнить, что для этого требуются опытно-промышленные испытания беспилотников в различных горнотехнических условиях.*

*В данной статье приведены результаты численного моделирования производительности АТП при различном расстоянии транспортирования. Расчеты проводились для экскаватора типа обратная гидравлическая лопата с вместимостью ковша 7,2 м<sup>3</sup> и АТП грузоподъемностью 90 тонн. Сделан предварительный вывод о необходимости поэтапного (поблочного) расчета производительности АТП вследствие различных условий погрузки при обработке сложных породугольных блоков.*

**Ключевые слова:** открытые горные работы, карьерные автосамосвалы, беспилотные автосамосвалы, погрузка горной массы, производительность автосамосвала, тяжелая автономная

платформа, умный карьер, Индустрия 4.0.

**Abstract:**

In the previous work [20], we studied the influence of the type of loading of rock mass and the bucket capacity of the used excavator on the performance of an autonomous heavy platform (unmanned mining dump truck). It was found that the productivity of autonomous heavy platforms (ATP) with different types of loading decreases with different intensity: in the most favorable mode of joint work (bottom digging + bottom loading), the decrease in productivity is the most intense. This is due to the fact that in this operating mode, the component of the excavator cycle, which includes lifting a filled bucket and unloading it, takes a larger share than in other operating modes. Therefore, when working, for example, with loading above the installation level (which can happen, in particular, in confined conditions), the influence of the excavator swing angle does not play such an important role as in the "bottom digging - bottom loading" mode. The resulting dependencies can be used as a starting point for determining production rates for ATP; however, the authors consider it necessary to clarify that this requires pilot testing of drones in various mining conditions.

This article presents the results of numerical modeling of the ATP performance at various transportation distances. The calculations were carried out for a hydraulic backhoe excavator with a bucket capacity of 7.2 m<sup>3</sup> and an ATP with a lifting capacity of 90 tons. A preliminary conclusion is made about the need for a step-by-step (block-by-block) calculation of the ATP productivity due to different loading conditions during the development of complex rock-coal blocks.

**Key words:** open pit mining, quarry dump trucks, self-driving dump trucks, rock loading, dump truck performance, heavy autonomous platform, smart quarry, Industry 4.0.

Таблица 1

Плечо отката, км	Погрузка	Производительность АТП, тыс.м <sup>3</sup> /год, при угле поворота экскаватора, градусов						
		45	60	75	90	130	150	180
1,5	ниже уровня	617,6976	601,1874	584,8748	569,1108	530,5864	512,9616	488,5002
	на уровне	570,3657	561,0865	550,3423	539,4387	508,9245	494,3351	473,3044
	выше уровня	522,0199	516,5469	509,9278	502,498	480,559	469,439	452,402
2,0	ниже уровня	563,8384	550,0497	536,3626	523,0756	490,3523	475,2611	454,1894
	на уровне	524,1355	516,2891	507,1782	497,9035	471,7936	459,2292	441,0245
	выше уровня	483,0268	478,3372	472,6558	466,2656	447,3167	437,6664	422,8212
2,5	ниже уровня	508,4243	497,1857	485,9763	475,0429	447,8976	435,2728	417,5317
	на уровне	475,917	469,439	461,8944	454,1894	432,3625	421,787	406,38
	выше уровня	441,7777	437,8517	433,0864	427,7154	411,7165	403,5271	390,874
3,0	ниже уровня	462,9277	453,592	444,2436	435,0898	412,2085	401,4914	386,3493
	на уровне	435,8229	430,3841	424,0342	417,5317	399,0141	389,99	376,782
	выше уровня	407,0195	403,6845	399,6305	395,0529	381,3651	374,3283	363,4153
3,5	ниже уровня	443,1021	434,5416	425,9545	417,5317	396,4151	386,4936	372,4418
	на уровне	418,2067	413,1963	407,3399	401,3357	384,1973	375,824	363,543
	выше уровня	391,6137	388,5255	384,7689	380,5235	367,8078	361,2582	351,0836
4,0	ниже уровня	408,1434	400,8692	393,5502	386,3493	368,2005	359,6258	347,429
	на уровне	386,9272	382,6344	377,6071	372,4418	357,6369	350,3703	339,6728
	выше уровня	364,0547	361,3844	358,132	354,4513	343,3931	337,6774	328,7714

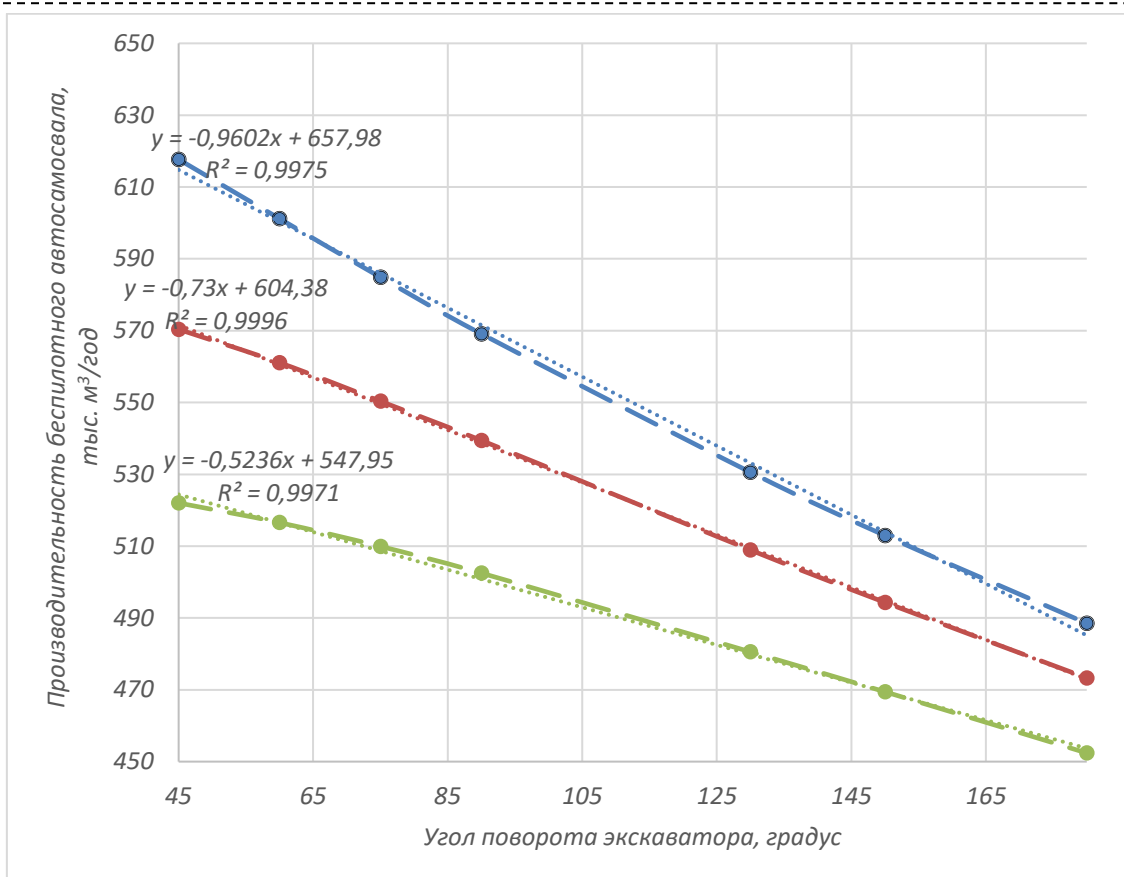


Рис. 1. Зависимость расчетной производительности АТП грузоподъемностью 90 т при нижней погрузке (верхняя кривая), на уровне установки (средняя кривая) и верхней погрузке (нижняя кривая) от угла поворота экскаватора на разгрузку, расстояние транспортирования – 1,5 км

Fig. 1. Dependence of the design productivity of the ATP with a carrying capacity of 90 tons at lower loading (upper curve), at the installation level (middle curve) and upper loading (lower curve) on the angle of rotation of the excavator for unloading, transportation distance – 1.5 km

**Введение.** Обычный порядок расчета производительности АТП подразумевает некоторое усреднение основных факторов, влияющих на итоговый результат. В частности, средняя скорость движения принимается 30 км/ч (согласно [1]), хотя по факту на скорость влияет значительное число внешних параметров: уклон дороги, тип покрытия, технические характеристики конкретной марки/модели автосамосвала и т.д. К тому же необходимо заметить, что Единые нормы выработки [1] прекратили свое действие (не действуют на территории РФ с 01.01.2021 на основании постановления Правительства Российской Федерации от 13.06.2020 № 857) и на текущий момент новых норм выработки не введено. Не исключен вариант разработки обновленных ЕНВ с участием специалистов и руководителей проектных организаций, представителей производства и науки, однако по состоянию на 25 февраля 2021 года таковых изменений пока нет.

В данной статье учтен опыт расчета

производительности АТП, а также решения смежных вопросов, приведенные в работах отечественных и зарубежных ученых [2-17].

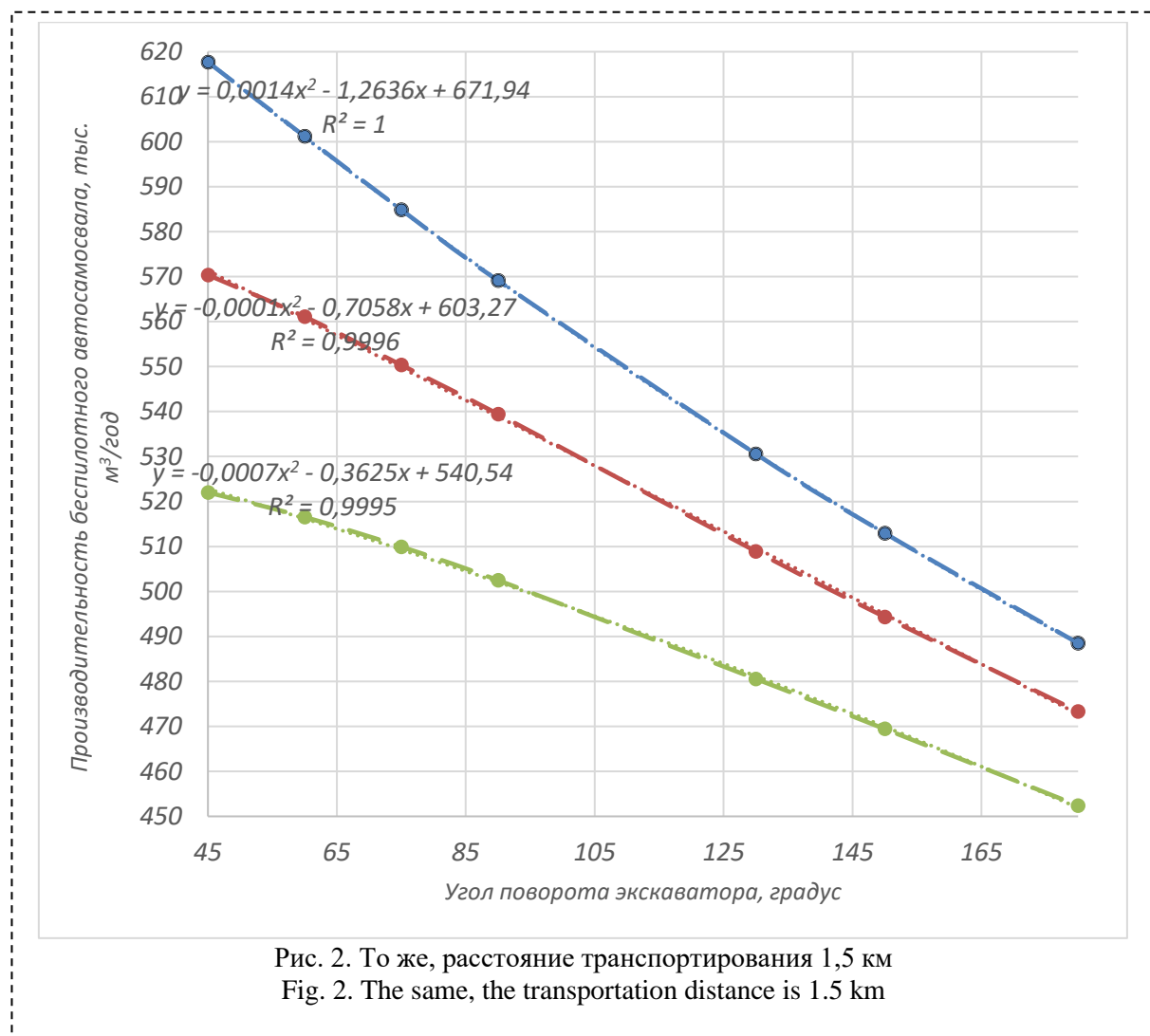
#### Материалы и методы.

АТП [23] – это карьерный самосвал с системой автономного управления движением. Система автономного управления движением состоит из бортового оборудования и программного обеспечения, в состав которого входит:

- телеметрия, система сенсоров для получения информации об окружающей дорожной сцене, бортовой вычислительный комплекс, система связи с диспетчерским пунктом;

- компоненты транспортного средства, обеспечивающие возможность внешнего управления им при помощи электронных управляющих устройств, система электронного торможения;

- модуль интеграции и получения/передачи данных от/к электронно-управляемым



компонентам транспортного средства.

По методике, кратко представленной в работе [20], были выполнены расчеты производительности АТП грузоподъемностью 90 тонн при использовании на погрузке обратной гидравлической лопаты с ковшем вместимостью 7,2 м<sup>3</sup>, различном угле поворота экскаватора на разгрузку, расстоянии транспортирования от 1,5 до 4,0 км и погрузкой ниже уровня установки экскаватора, на уровне и выше его. Результаты представлены в таблице 1.

По итогам расчетов построены следующие графические зависимости.

На данном графике были также отстроены линии тренда с линейной зависимостью. В результате была выявлена особенность, заключающаяся в неодинаковости характера зависимости. При работе экскаватора с нижней погрузкой большая часть точек лежит на координатной плоскости ниже линии тренда, с верхней погрузкой – выше линии тренда, с погрузкой на уровне установки точки практически совпадают с линией тренда.

Для сравнения были отстроены линии тренда

с квадратичной зависимостью (рис. 2). При работе экскаватора с нижней погрузкой первое слагаемое является положительным, с верхней – отрицательным, при погрузке на уровне стояния им вообще можно пренебречь (множитель -0,0001: максимальное значение слагаемого при 180 градусах будет равно  $-0,0001 \cdot 180^2 = 3,24$ , или максимум 0,6%). Возникает вопрос о причинах изменения характера кривой, демонстрирующей изменение производительности, который будет рассматриваться в последующих работах.

Для остальных значений расстояния транспортирования (2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0 км) отстроены такие же графические зависимости, представленные на рисунках ниже (рис. 3-7).

Как следует из представленных рисунков, независимо от расстояния транспортирования все кривые имеют идентичный характер изменения. При нижнем черпании и погрузке (самый благоприятный режим) ветви параболы направлены вверх, при неблагоприятном режиме – вниз, при промежуточном – график весьма близок к прямой.

Анализ полученных зависимостей показал

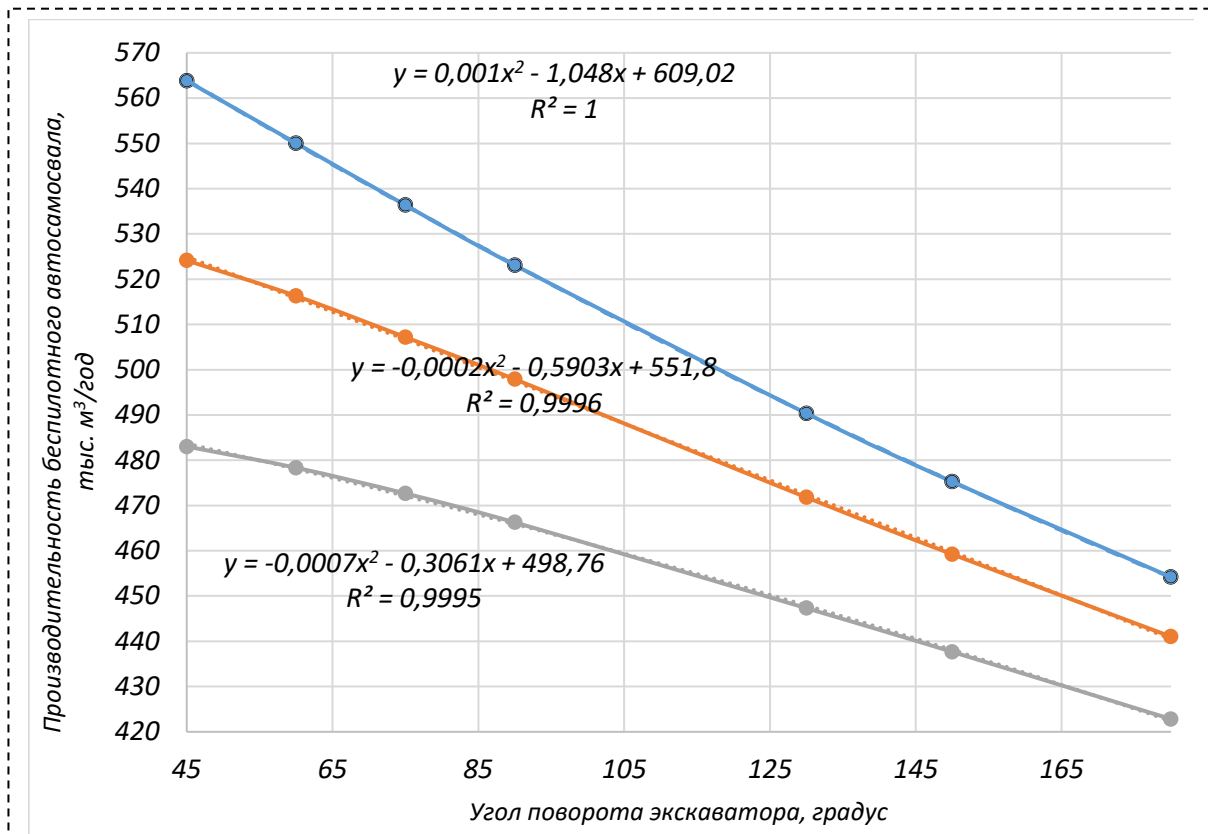


Рис. 3. То же, расстояние транспортирования 2,0 км  
 Fig. 3. Same, transportation distance 2.0 km

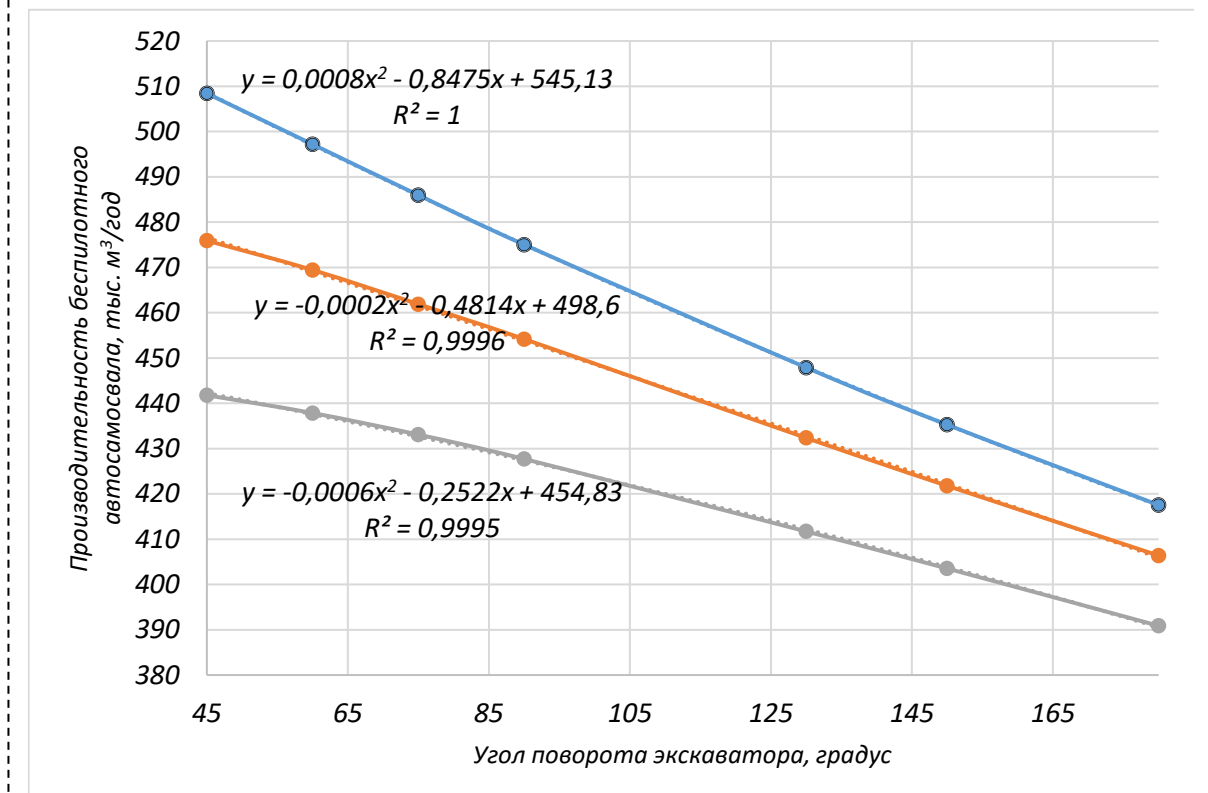


Рис. 4. То же, расстояние транспортирования 2,5 км  
 Fig. 4. Same, transportation distance 2.5 km

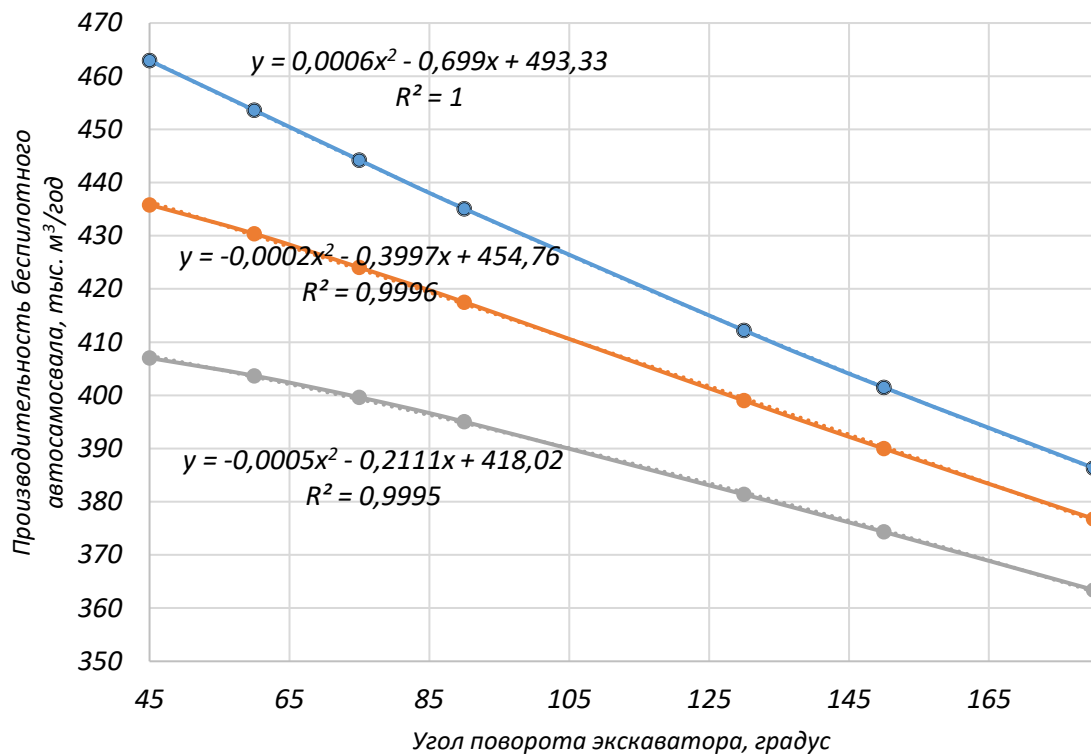


Рис. 5. То же, расстояние транспортирования 3,0 км

Fig. 5. Same, transportation distance 3.0 km

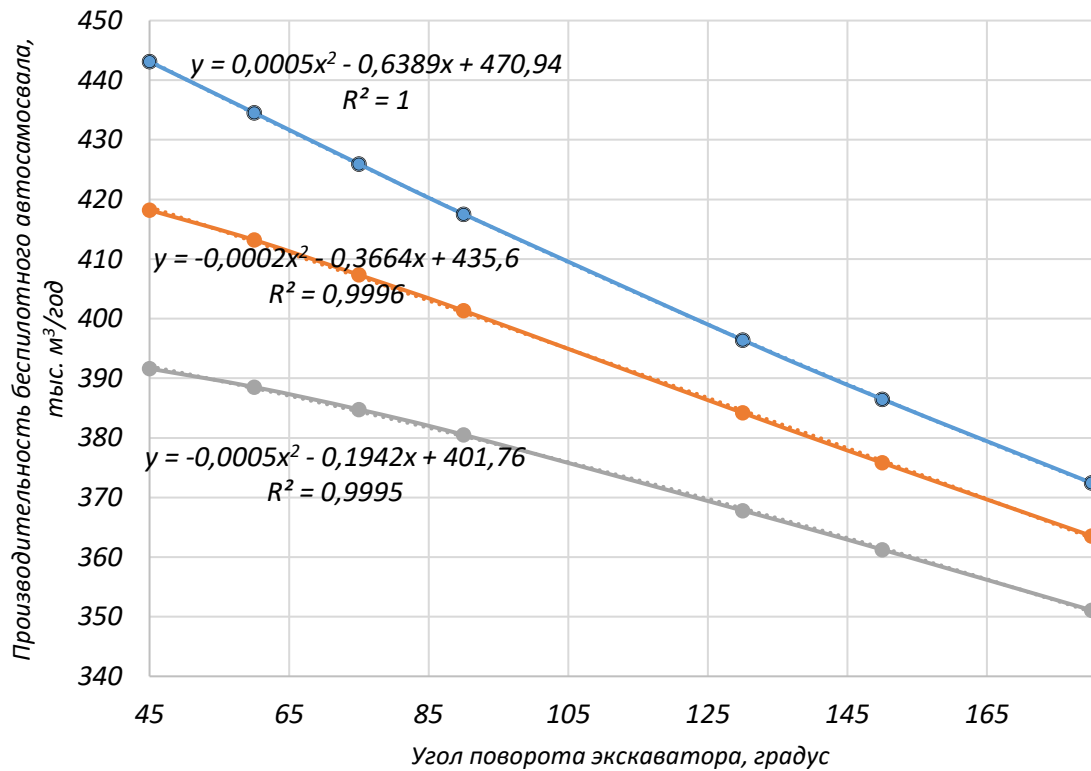


Рис. 6. То же, расстояние транспортирования 3,5 км

Fig. 6. Same, transportation distance 3.5 km

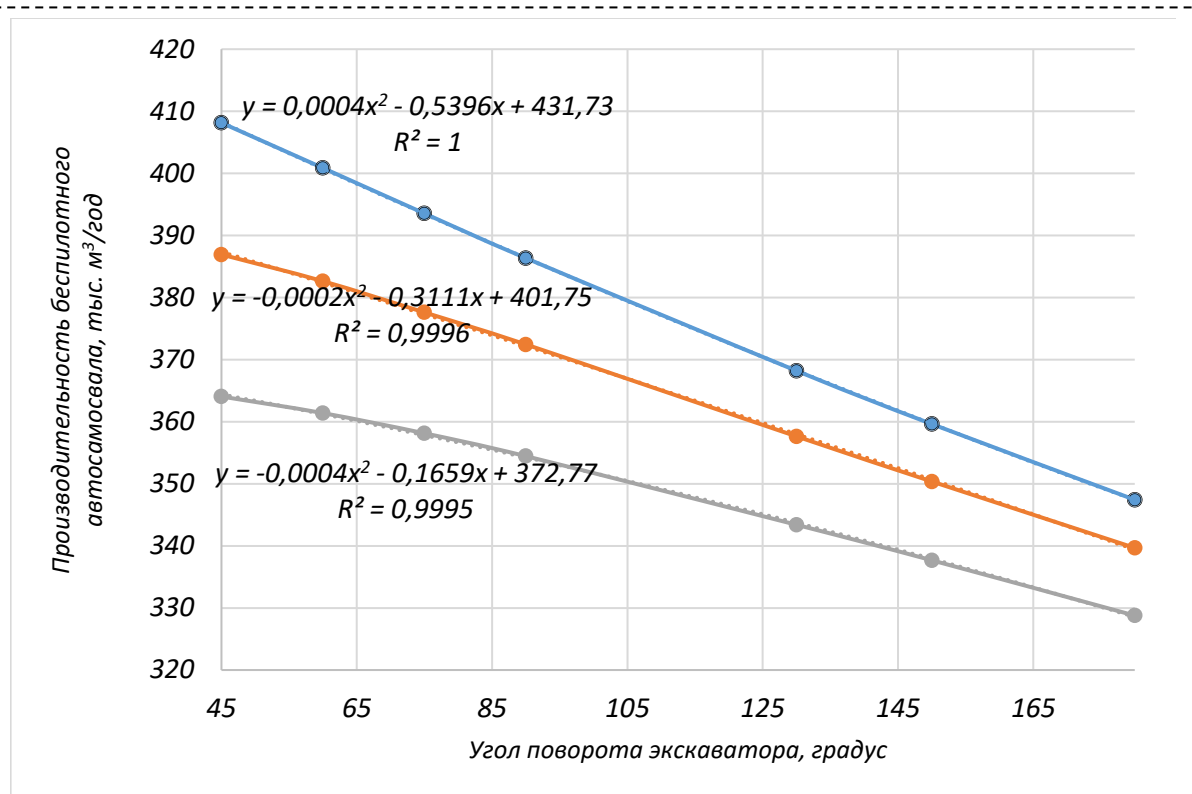


Рис. 7. То же, расстояние транспортирования 4,0 км  
 Fig. 7. Same, transportation distance 4.0 km

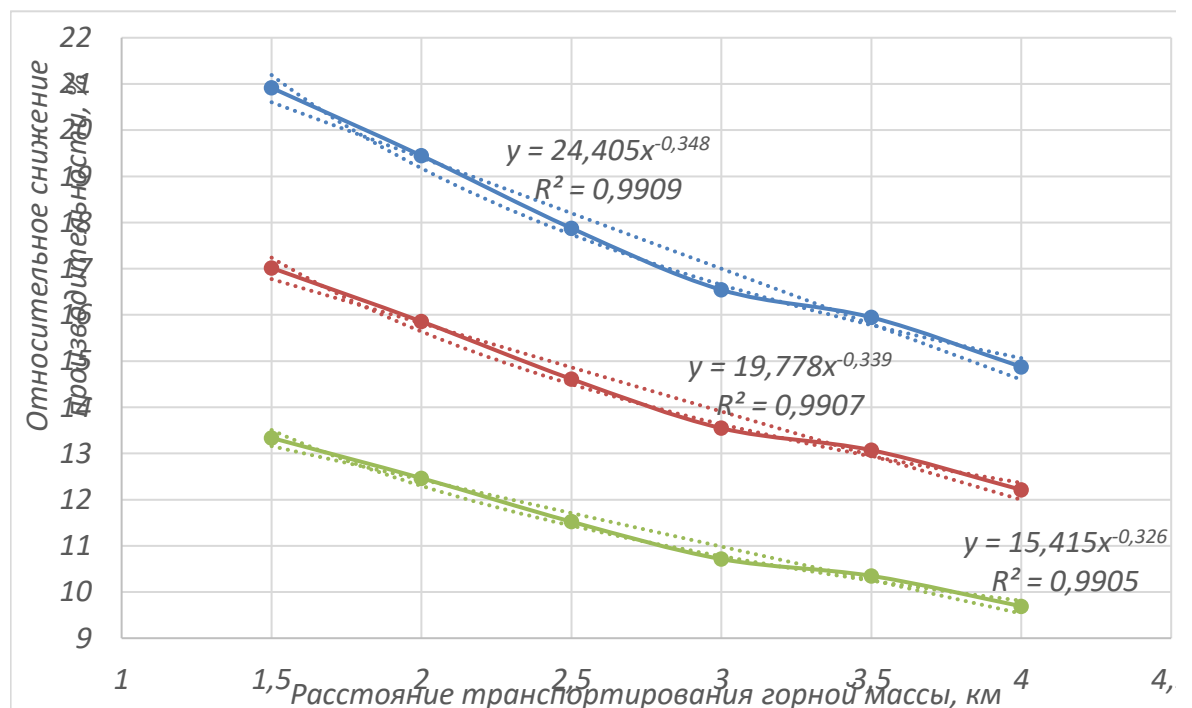


Рис. 8. Зависимости потери производительности АТП (при изменении угла разгрузки экскаватора от 45° до 180°) от расстояния транспортирования: при нижней погрузке (верхняя кривая), на уровне установки (средняя кривая) и верхней погрузке (нижняя кривая)

Fig. 8. Dependences of the loss of productivity of the ATP (when changing the angle of unloading of the excavator from 45° to 180°) from the transportation distance: at lower loading (upper curve), at the installation level (middle curve) and upper loading (lower curve)

неравномерность интенсивности снижения производительности АТП при увеличении угла разгрузки экскаватора от 45° до 180°. Интенсивность снижения производительности уменьшается при увеличении плеча откатки (рис. 8). Это связано с уменьшением доли времени погрузки в общем времени транспортного цикла.

Необходимо отметить, что данные зависимости справедливы только для рассматриваемого комплекса оборудования: экскаватора типа обратная гидравлическая лопата с вместимостью ковша 7,2 м<sup>3</sup> и АТП грузоподъемностью 90 тонн.

Как следует из представленных рисунков, независимо от расстояния транспортирования все кривые имеют идентичный характер изменения. При нижнем черпании и погрузке (самый благоприятный режим) ветви параболы направлены вверх, при неблагоприятном режиме – вниз, при промежуточном – график весьма близок к прямой.

Анализ полученных зависимостей показал неравномерность интенсивности снижения производительности АТП при увеличении угла разгрузки экскаватора от 45° до 180°. Интенсивность снижения производительности уменьшается при увеличении плеча откатки (рис. 8). Это связано с уменьшением доли времени погрузки в общем времени транспортного цикла.

Необходимо отметить, что данные зависимости справедливы только для рассматриваемого комплекса оборудования: экскаватора типа обратная гидравлическая лопата с вместимостью ковша 7,2 м<sup>3</sup> и АТП грузоподъемностью 90 тонн.

#### Результаты и обсуждение.

Производительность как экскаватора, так и АТП может существенно изменяться даже в пределах отработки одного выемочного блока, особенно при разработке сложноструктурных угольных месторождений, а также при работе в стесненных условиях. Поэтому необходимо вести учет ее изменения, например, при краткосрочном планировании горных работ. На примерах ниже показан качественный анализ частных случаев влияния горно-геологических условий на изменение производительности.

Рассмотрим типовой пример разработки сложного породугольного блока, представленного разрезной траншеей с одновременной выемкой пласта. Для сравнения возьмем два варианта: при угле падения пласта до 35° и более 35°. Высота уступа равна 10 м, поэтому необходима слоевая выемка блока.

Разработка обратной гидравлической лопатой при угле падения пласта более 35° осуществляется двумя слоями по 5 метров. Первым ходом производится вскрытие и зачистка пласта на высоту 5 м. Отработка ведется как нижним, так и верхним черпанием с погрузкой в АТП ниже

уровня стояния экскаватора. Вторым ходом нижним черпанием обрабатывается вышележащий слой пласта на высоту 5 м с погрузкой в АТП ниже уровня стояния экскаватора. Вскрытие и зачистка нижележащего слоя пласта осуществляется третьим ходом экскаватора. Отработка ведется нижним черпанием с погрузкой вскрышных пород в АТП ниже уровня стояния экскаватора. Четвертым ходом обрабатывается нижележащий слой пласта высотой 5 м верхним черпанием с погрузкой угля в АТП на уровне стояния экскаватора. Технологическая схема представлена на рис. 9 (слева).

Проходка разрезной траншеи и отработка угольного пласта обратной гидравлической лопатой при угле падения пласта менее 35° осуществляется двумя слоями по 5 м. Первым ходом производится вскрытие и зачистка пласта на высоту 5 м. Отработка ведется нижним и верхним черпанием с погрузкой в АТП ниже уровня стояния экскаватора. Вторым ходом нижним черпанием обрабатывается первая (верхняя) часть слоя пласта на высоту 2,5 м с погрузкой в АТП на уровне стояния экскаватора. Третьим ходом верхним черпанием обрабатывается вторая часть угольного пласта верхнего слоя. Вскрытие и зачистка нижележащего слоя пласта осуществляется четвертым ходом экскаватора. Отработка ведется нижним черпанием с погрузкой вскрышных пород в АТП ниже уровня стояния экскаватора. Пятым ходом обрабатывается нижележащий слой пласта верхним черпанием на высоту, зависящую от угла падения пласта с погрузкой угля в АТП на уровне стояния экскаватора. Шестым ходом ведется отгрузка оставшейся части пласта, предварительно буртованной бульдозером на уровне стояния экскаватора. Технологическая схема представлена на рис. 9 (справа).

Согласно классификации, первоначально предложенной в [18-19] и кратко изложенной в [20], технология включает в себя разработку четырех практически самостоятельных породных и угольных блоков при различных сочетаниях видов черпания и погрузки.

Поэтому для определения времени отработки блока, а также производительности горного оборудования в таких условиях [21, 22] нами предлагается учитывать вышеуказанные особенности:

1) Исходя из общего объема породугольного блока, разделять его на части, соответствующие тому или иному сочетанию черпания и погрузки;

2) время отработки каждой из выделенных частей считать также индивидуально, в общем виде это можно выразить формулой:

$$T_{\text{би}} = \frac{V_1}{Q_1} + \frac{V_2}{Q_2} + \frac{V_3}{Q_3} + \dots + \frac{V_n}{Q_n},$$

где  $V_1, V_2, V_3, V_n$  – объем 1, 2, 3, n-го блока;  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_n$  – производительность экскаватора



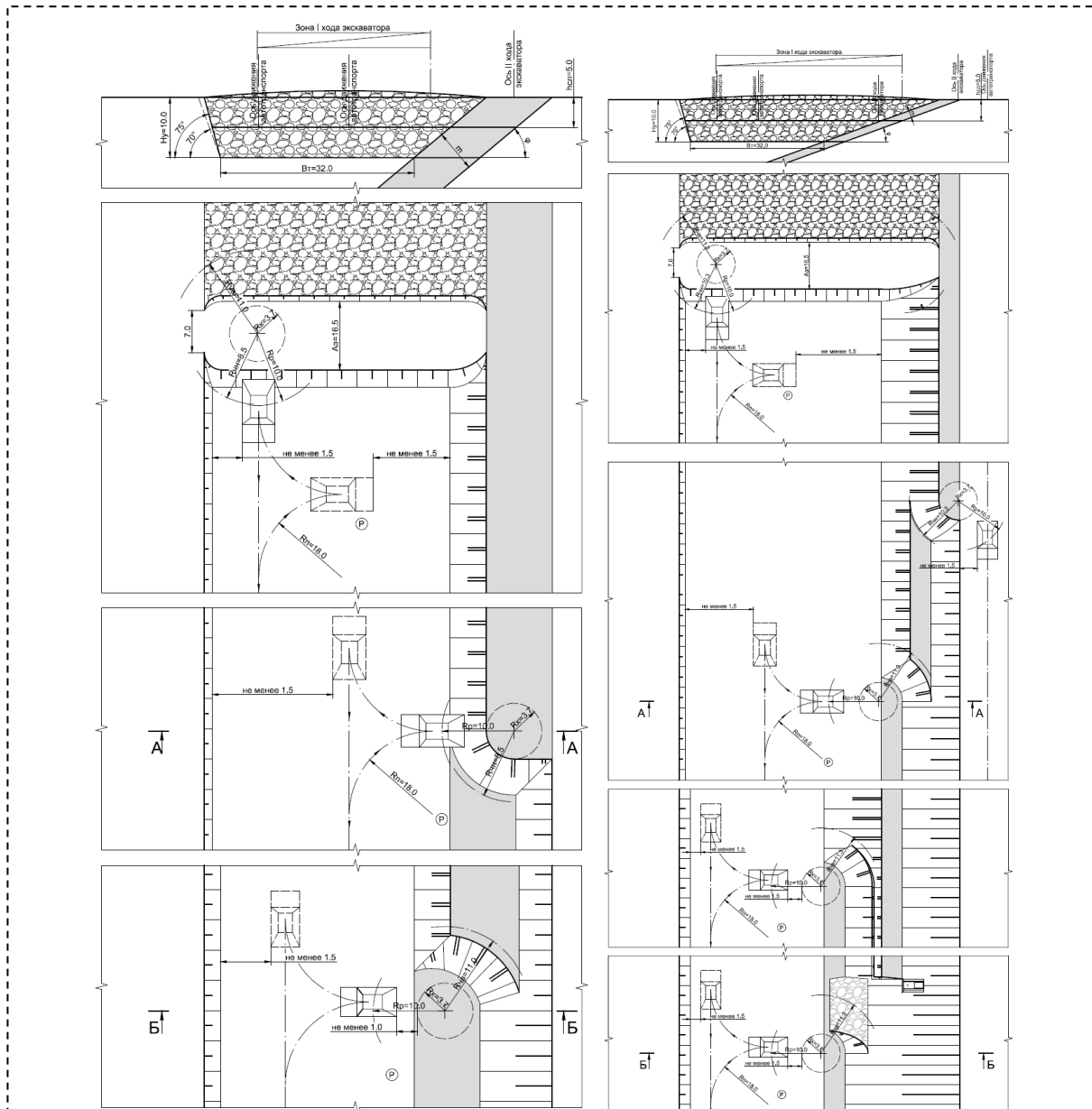


Рис. 9. Технологические схемы отработки угольного пласта при угле падения более 35° (слева) и менее 35° (справа)

Fig. 9. Technological schemes of coal seam mining at an angle of incidence of more than 35° (left) and less than 35° (right)

при отработке 1, 2, 3, n-го блока.

### Выводы

1. При работе экскаватора с нижней погрузкой зависимость падения производительности АТП от увеличения угла поворота носит более интенсивный характер, чем при работе с погрузкой верхней или на уровне стояния. В то же время с увеличением угла поворота экскаватора при нижней погрузке интенсивность падения производительности АТП уменьшается.

2. Для работы с погрузкой на уровне стояния падение производительности несколько ниже, интенсивность падения производительности не изменяется. Для работы экскаватора с верхней

погрузкой зависимость падения производительности от увеличения угла поворота еще меньше, чем при работе с погрузкой нижней или на уровне стояния. В то же время с увеличением угла поворота экскаватора при верхней погрузке интенсивность падения производительности увеличивается. Таким образом, мы видим, что уровень установки АТП под погрузку (по отношению к уровню установки экскаватора) оказывает влияние не только на величину падения производительности, но и на изменение интенсивности такого падения.

3. Данные обстоятельства позволяют управлять интенсивностью ведения горных работ на конкретном участке горных работ не только

Таблица. 2. Результаты численного эксперимента  
Table. 2. Results of numerical experiment

Значение параметра Relevance	Эквивалентные напряжения по Мизесу, МПа	Эквивалентные деформации, 10 <sup>4</sup> м/м
0	187,9	9,3949
40	187,01	9,3504
60	187,009	9,3499
80	187,008	9,3496
100	187,008	9,3495

изменением лишь числа автосамосвалов, как это повсеместно принято на действующих предприятиях, но и изменением уровня их установки под погрузку. Несомненно, это приведет к изменению производительности экскаватора, что, в свою очередь, приведет к решению задачи оптимизации работы экскаваторно-автомобильного комплекса оборудования. Поэтому потребуются разработка новых технологических схем, привязываемых не только к горно-геологическим условиям, но и к текущим требованиям к производительности участка ведения горных работ и всего предприятия в целом. Это требует дальнейших исследований и будет описано в последующих работах авторского

коллектива.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-20 19-034 от 22.11.2019 г. с ПАО «КАМАЗ» по комплексному проекту «Разработка и создание высокотехнологичного производства автономных тяжелых платформ для безлюдной добычи полезных ископаемых в системе «Умный карьер», при участии ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в части выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Единые нормы выработки на открытые горные работы для предприятий горнодобывающей промышленности. Часть IV. Экскавация и транспортирование горной массы автосамосвалами / Центральное бюро нормативов по труду Государственного комитета СССР по труду и социальным вопросам. Утв. 3 февраля 1988 // М., НИИТ. – 1989. – 82 с.
2. Смирнов, В.П. Теория карьерного большегрузного автотранспорта / В.П. Смирнов, Ю.И. Лель // Екатеринбург. – 2002. – 355 с.
3. Горев, А.Э. Грузовые автомобильные перевозки // М.: Издательский центр «Академия». – 2004. – 288 с.
4. Шешко, Е. Е. Горно-транспортные машины и оборудование для открытых работ: Учеб. пособие для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. // М.: МГГУ. – 2003. – 260 с.
5. Васильев, М.В. Транспортные процессы и оборудование на карьерах // М.: Недра. – 1986. – 240 с.
6. Зырянов, И.В. Нормирование скоростей движения карьерных автосамосвалов в зависимости от ровности дорожного полотна / И.В. Зырянов, А.А. Кулешов, Н.В. Зырянов, В.Ф. Терентьев // Горный журнал. – 1995. – № 4. – С. 53.
7. Лель, Ю.И. Систематизация условий эксплуатации карьерного автотранспорта по энергетическому критерию / Ю.И. Лель, И.А. Глебов, Р.С. Ганиев, О.А. Иванова // Проблемы недропользования. – 2017. – № 2 (13). – С. 16-25.
8. Зырянов, И.В. Производительность выемочно-погрузочного оборудования / И.В. Зырянов, Ю.И. Лель, Д.Х. Ильбульдин, Н.В. Мартынов, Р.С. Ганиев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2016. – № 8. – С. 11-20.
9. Лель, Ю.И. Технологические схемы перехода на новые модели автосамосвалов при доработке глубоких карьеров / Ю.И. Лель, А.В. Глебов, Д.Х. Ильбульдин, О.В. Мусихина, С.А. Дунаев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2015. – № 8. – С. 4-12.

10. Галкин, В.А. Горизонтальный эквивалент вертикального перемещения горной массы карьерными автосамосвалами / В.А. Галкин, Г.А. Караулов, В.Н. Сидоренков // Известия вузов. Горный журнал. – 1983. – № 7. – С. 14-18.
11. Вашлаев, И.И. Определение горизонтального эквивалента перемещения горной массы автомобильным транспортом по энергетическому критерию при движении на уклонах / И.И. Вашлаев, А.В. Селиванов // Известия вузов. Горный журнал. – 1997. – № 9-10. – С. 78-80.
12. Стенин, Ю.В. К вопросу об учете технологического риска при планировании производительности экскаваторно-автомобильного комплекса карьера / Ю.В. Стенин, Р.С. Ганиев // Проблемы недропользования. – 2014. – № 2 (2). – С. 135-141.
13. Ташкинов, А.С. К оценке использования грузоподъемности большегрузных автосамосвалов на разрезах Кузбасса / А.С. Ташкинов, А.В. Бирюков, Г.П. Останин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2001. – № 2 (21). – С. 33-36.
14. Сандригайло, И.Н. Анализ эффективности применения шарнирно-сочлененных автосамосвалов при разработке месторождений с малыми запасами / И.Н. Сандригайло, С.А. Арефьев, Х.С. Мойсиев, И.А. Глебов, Д.А. Шлохин // Известия УГГУ. – 2015. – № 2. – С. 23-27.
15. Яковлев, В.Л. Основные аспекты формирования и новые научные направления исследований транспортных систем карьеров / В.Л. Яковлев, Ю.А. Бахтурин, А.Г. Журавлев // Наука и образование. – 2015. – № 4. – С. 67-72.
16. Анистратов, К.Ю. Исследование закономерностей изменения показателей работы карьерных автосамосвалов в течение срока их эксплуатации / К.Ю. Анистратов, М.С. Градусов, В.Я. Стремилев, М.В. Тетерин // Горная промышленность. – 2006. – № 6. – С. 30-34.
17. Гавришев, С.Е. Повышение эффективности использования автосамосвалов в условиях карьеров на открытых горных работах / С.Е. Гавришев, А.Д. Кольга, И.А. Пыталев, Т.М. Попова // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2019. – № 3. – С. 161-170.
18. Литвин, О.И. Обоснование рациональных технологических параметров производства вскрышных работ обратными гидравлическими лопатами на разрезах Кузбасса: дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2012. – 119 с.
19. Litvin O. Study of the backhoe's digging modes at rock face working-out / O. Litvin, V. Makarov, A. Strelnikov, E. Tyuleneva // E3S Web of Conferences. – 2019. – Vol. 105. – Article no. 01024.
20. Дубинкин, Д.М. Влияние горнотехнических факторов на производительность беспилотных карьерных автосамосвалов / Д.М. Дубинкин, В.В. Аксенов, М.А. Тюленев, С.О. Марков // Техника и технология горного дела. – 2020. – № 4 (11). – С. 42-69.
21. Тюленева, Е.А. Исследование технологии отработки угленасыщенных зон на разрезах Кузбасса простыми и сложными забоями / Е.А. Тюленева, Ю.В. Лесин, Я.О. Литвин // Техника и технология горного дела. – 2019. – № 1 (4). – С. 35-50.
22. Кантович, Л.И. Опыт и перспективы применения гидравлических экскаваторов при отработке угленасыщенных зон на разрезах Кузбасса / Л.И. Кантович, О.И. Литвин, А.А. Хорешок, Е.А. Тюленева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № 4. – С. 152-160.
23. Дубинкин, Д.М. Обоснование необходимости создания тяжелых платформ для открытых горных работ // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 4 (150). – С. 59-64.

## REFERENCES

1. Edinye normy vyrabotki na otkrytye gornye raboty dlya predpriyatij gornodobyvayushchej promyshlennosti. Chast' IV. Ekskavaciya i transportirovanie gornoj massy avtosamosvalami / Central'noe byuro normativov po trudu Gosudarstvennogo komiteta SSSR po trudu i social'nyim voprosam. Utv. 3 fevralya 1988 // М., НИИТ. – 1989. – 82 с.
2. Smirnov, V.P. Teoriya kar'ernogo bol'shegruznogo avtotransporta / V.P. Smirnov, YU.I. Lel' // Ekaterinburg. – 2002. – 355 s.
3. Gorev, A.E. Gruzovye avtomobil'nye perevozki // М.: Izdatel'skij centr «Akademiya». – 2004. – 288 s.
4. Sheshko, E. E. Gorno-transportnye mashiny i oborudovanie dlya otkrytyh rabot: Ucheb. posobie dlya vuzov. – 3-e izd., pererab. i dop. // М.: MGGU. – 2003. – 260 s.
5. Vasil'ev, M.V. Transportnye processy i oborudovanie na kar'erah // М.: Nedra. – 1986. – 240 s.
6. Zyryanov, I.V. Normirovanie skorostej dvizheniya kar'ernyh avtosamosvalov v zavisimosti ot rovnosti dorozhnogo polotna / I.V. Zyryanov, A.A. Kuleshov, N.V. Zyryanov, V.F. Terent'ev // Gornyj zhurnal. – 1995. – № 4. – С. 53.
7. Lel', Yu.I. Sistematizaciya uslovij ekspluatatsii kar'ernogo avtotransporta po energeticheskomu kriteriyu / Yu.I. Lel', I.A. Glebov, R.S. Ganiev, O.A. Ivanova // Problemy nedropol'zovaniya. – 2017. – № 2 (13). – С. 16-

25.

8. Zyryanov, I.V. Proizvoditel'nost' vyemochno-pogruzochnogo oborudovaniya / I.V. Zyryanov, Yu.I. LeI', D.H. Il'bul'din, N.V. Martynov, R.S. Ganiev // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Gornyj zhurnal. – 2016. – № 8. – S. 11-20.

9. LeI', Yu.I. Tekhnologicheskie skhemy perekhoda na novye modeli avtosamosvalov pri dorabotke glubokih kar'erov / Yu.I. LeI', A.V. Glebov, D.H. Il'bul'din, O.V. Musihina, S.A. Dunaev // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Gornyj zhurnal. – 2015. – № 8. – S. 4-12.

10. Galkin, V.A. GorizontaI'nyj ekvivalent vertikal'nogo peremeshcheniya gornoj massy kar'ernymi avtosamosvalami / V.A. Galkin, G.A. Karaulov, V.N. Sidorenkov // Izvestiya vuzov. Gornyj zhurnal. – 1983. – № 7. – S. 14-18.

11. Vashlaev, I.I. Opredelenie gorizontaI'nogo ekvivalenta peremeshcheniya gornoj massy avtomobil'nyim transportom po energeticheskomu kriteriyu pri dvizhenii na uklo nah / I.I. Vashlaev, A.V. Selivanov // Izvestiya vuzov. Gornyj zhurnal. – 1997. – № 9-10. – S. 78-80.

12. Stenin, Yu.V. K voprosu ob uchete tekhnologicheskogo riska pri planirovani i proizvoditel'nosti ekskavatorno-avtomobil'nogo kompleksa kar'era / Yu.V. Stenin, R.S. Ganiev // Problemy nedropol'zovaniya. – 2014. – № 2 (2). – S. 135-141.

13. Tashkinov, A.S. K ocenke ispol'zovaniya gruzopod'emnosti bol'shegruznyh avtosamosvalov na razrezah Kuzbassa / A.S. Tashkinov, A.V. Biryukov, G.P. Ostanin // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2001. – № 2 (21). – S. 33-36.

14. Sandrigajlo, I.N. Analiz effektivnosti primeneniya sharnirno-sochlenennyh avtosamosvalov pri razrabotke mestorozhdenij s malymi zapasami / I.N. Sandrigajlo, S.A. Aref'ev, H.S. Mojsiev, I.A. Glebov, D.A. SHlohin // Izvestiya UGGU. – 2015. – № 2. – S. 23-27.

15. Yakovlev, V.L. Osnovnye aspekty formirovaniya i novye nauchnye napravleniya issledovaniy transportnyh sistem kar'erov / V.L. Yakovlev, Yu.A. Bahturin, A.G. Zhuravlev // Nauka i obrazovanie. – 2015. – № 4. – S. 67-72.

16. Anistratov, K.Yu. Issledovanie zakonomernostej izmeneniya pokazatelej raboty kar'ernyh avtosamosvalov v techenie sroka ih ekspluatatsii / K.Yu. Anistratov, M.S. Gradusov, V.Ya. Stremilov, M.V. Teterin // Gornaya promyshlennost'. – 2006. – №6. – S. 30-34.

17. Gavrishev, S.E. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya avtosamosvalov v usloviyah kar'erov na otkrytyh gornyh rabotah / S.E. Gavrishev, A.D. Kol'ga, I.A. Pytalev, T.M. Popova // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle. – 2019. – № 3. – S. 161-170.

18. Litvin, O.I. Obosnovanie racional'nyh tekhnologicheskikh parametrov proizvodstva vskryshnyh rabot obratnymi gidravlichesкими lopatami na razrezah Kuzbassa: dis. ... kand. tekhn. nauk. – Kemerovo, 2012. – 119 s.

19. Litvin O. Study of the backhoe's digging modes at rock face working-out / O. Litvin, V. Makarov, A. Strel'nikov, E. Tyuleneva // E3S Web of Conferences. – 2019. – Vol. 105. – Article no. 01024.

20. Dubinkin, D.M. Vliyanie gornotekhnicheskikh faktorov na proizvoditel'nost' bespilotnyh kar'ernyh avtosamosvalov / D.M. Dubinkin, V.V. Aksenov, M.A. Tyulenev, S.O. Markov // Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela. – 2020. – № 4 (11). – S. 42-69.

21. Tyuleneva, E.A. Issledovanie tekhnologii otrabotki uglenasyschennyh zon na razrezah Kuzbassa prostymi i slozhnymi zaboyami / E.A. Tyuleneva, YU.V. Lesin, YA.O. Litvin // Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela. – 2019. – № 1 (4). – S. 35-50.

22. Kantovich, L.I. Opyt i perspektivy primeneniya gidravlicheskih ekskavatorov pri otrabotke uglenasyschennyh zon na razrezah Kuzbassa / L.I. Kantovich, O.I. Litvin, A.A. Horeshok, E.A. Tyuleneva // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal). – 2019. – № 4. – S. 152-160.

23. Dubinkin, D.M. Obosnovanie neobhodimosti sozdaniya tyazhelyh platform dlya otkrytyh gornyh rabot // Gornoe oborudovanie i elektromekhanika. – 2020. – №4 (150). – S. 59-64.

Поступило в редакцию 10.01.2021

Received 10 January 2021