

**Ю.Т. Разумный, д-р техн. наук, А.В. Рухлов, А.С. Довгань**  
(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

## **ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА КОНВЕЙЕРНОМ ТРАНСПОРТЕ ШАХТЫ "ЮБИЛЕЙНАЯ" ГХК "ПАВЛОГРАДУГОЛЬ"**

В соответствии с Законом Украины "Об энергосбережении" экономия электроэнергии является важнейшей проблемой как для народного хозяйства страны в целом, так и для топливно-энергетического комплекса в частности. В этой связи особенность угольных шахт – большая энергоемкость добычи полезного ископаемого и существенные непроизводительные расходы электроэнергии основными мощными электроприемниками, к которым относится и конвейерный транспорт.

К настоящему периоду известны методические и научные разработки по определению емкости бункеров (механизированных и горных), используемых непосредственно для сглаживания углетококов, а, следовательно, и повышения загрузки магистральных конвейеров. Однако отсутствуют рекомендации по определению места расположения бункеров для максимального снижения непроизводительных расходов электроэнергии на конвейерном транспорте. Поэтому цель настоящей работы – обосновать возможность корректного определения емкости и места расположения бункеров для снижения потребления электроэнергии на примере системы конвейерного транспорта шахты "Юбилейная" ГХК "Павлоградуголь".

В настоящее время доставка угля от очистных забоев до околоствольного двора вышеуказанной шахты осуществляется при помощи системы полной конвейеризации основного грузопотока. По выемочным штрекам установлены ленточные конвейеры с шириной ленты 800 мм, по магистральным горизонтальным выработкам – 1000 и 1200 мм, которые работают независимо от того, идет ли уголь большим потоком или малым. При недогрузке происходит непроизводительный расход электроэнергии, изнашивается конвейерная лента и ролики, расходуется ресурс механизмов. Выход из строя хотя бы одного из конвейеров, даже на короткое время, приводит к остановке всей линии, в т.ч. и очистного забоя.

На рисунке приведена принципиальная схема конвейерного транспорта шахты, а в табл. 1 - техническая характеристика самих конвейеров.

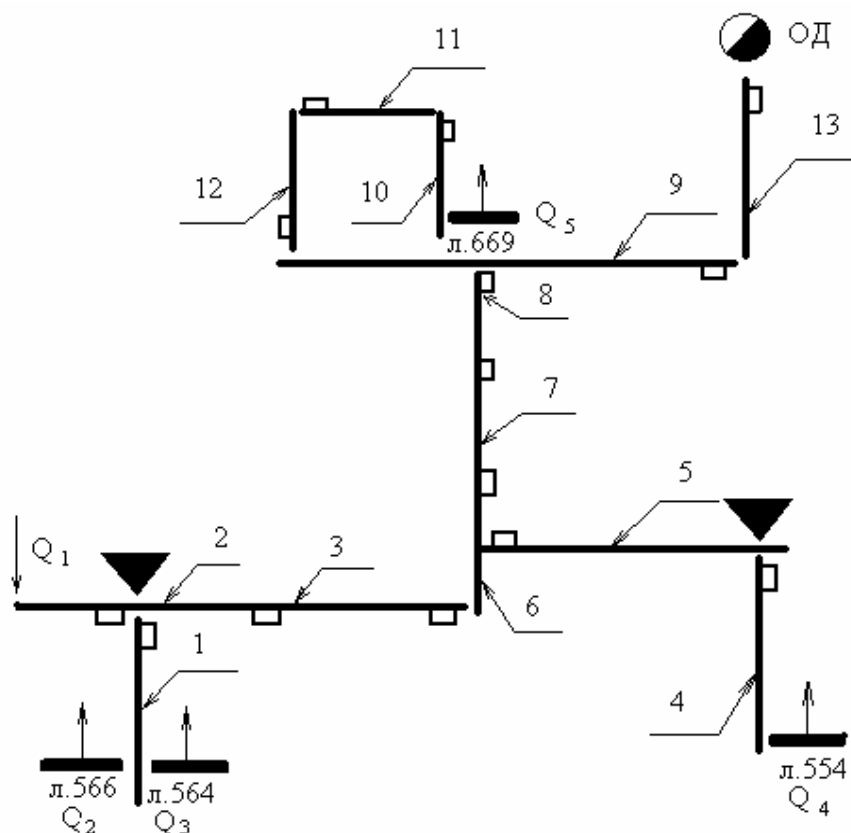
Таблица 1

**Техническая характеристика конвейеров шахты «Юбилейная»**

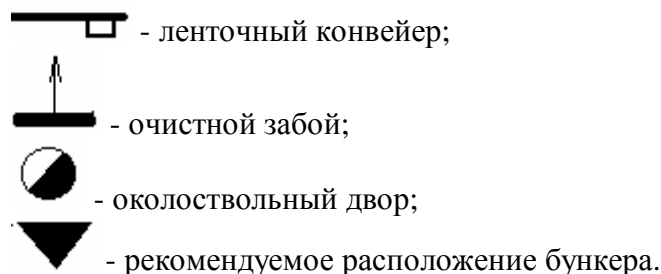
№ конвейера	Тип конвейера	Длина, м	Угол наклона выработки, град.	Производительность паспортная, т/ч	Приемная способность, м <sup>3</sup> /мин	Скорость ленты, м/с	Суммарная мощность двигателей (паспортная), кВт
1	2ЛТ80У-01	700	2-5	520	10,2	2,5	55x2

2	<i>ЛЛ100У-01</i>	700	0	680	13,4	2,0	75x2
3	<i>ЛЛ100</i>	820 540	0	420	11,0	1,6	100x2
4	<i>ЛЛ100К</i>	520	2-5	420	11,0	1,6	100
5	<i>2ЛЛ100У</i>	600	0	850	16,8	2,5	110x2
6	<i>ЛЛ120</i>	740	5-15	850	25,0	2,0	4x125
7	<i>ЛЛ120</i>	1330	5-15	850	25,0	2,0	4x125
8	<i>ЛЛ120</i>	970	5-15	850	25,0	2,0	4x125
9	<i>ЛЛУ120</i>	1040	0	850	25,0	2,0	4x125
10	<i>2ЛТ80</i>	625	2-5	420	8,2	2,0	55x2
11	<i>ЛЛ100</i>	185	0	420	11,0	1,6	100x2
12	<i>ЛЛ100К</i>	970	4-6	420	11,0	1,6	100
13	<i>ЛЛУ120</i>	970	0	850	25,0	2,5	4x125

Регулировать мощность, потребляемую приводом конвейера, можно изменением скорости движения ленты, однако такой способ влечет за собой неполное использование конвейеров по производительности. Одно из эффективных мероприятий по регулированию потребляемой мощности и экономии электроэнергии - сокращение времени холостой работы конвейерных линий. Время запуска и остановок конвейерных линий в смену является функцией количества конвейеров в линии и их длины. Поэтому конвейерные линии небольшой протяженности при перерыве поступления груза останавливают с помощью специальных устройств автоматического контроля, а линии большой протяженности – в основном только при длительных перебоях в работе участков.



Принципиальная схема конвейерного транспорта шахты "Юбилейная" (номер конвейера на схеме соответствует номеру в табл. 1 и 2):



Кроме того, нецелесообразно останавливать конвейерные линии, имеющие сложный многодвигательный привод, т.к. остановка и пуск занимают значительное время и приводят к преждевременному износу ленты и элементов самого конвейера. Из вышеизложенного следует, что регулировать потребляемую мощность можно только за счет скорости ленты с использованием регулируемого привода.

В соответствии с требованием ПБ аппаратура автоматизированного управления конвейерными линиями должна обеспечивать включение каждого последующего конвейера в линии только после установления номинальной скорости движения тягового органа предыдущего конвейера (в направлении, обратном движению груза). Это условие исключает возможность загрузки остановившегося или не достигшего нормальной рабочей скорости конвейера транспортной цепи.

Используемый в настоящее время комплекс автоматизированного управления конвейерами АУК.1м предусматривает автоматический последовательный пуск конвейеров в порядке, обратном направлению движения грузопотока, с необходимой выдержкой времени между пусками отдельных приводов (Руководство по эксплуатации комплекса АУК.1м, 1982 г.)

Такая последовательность запуска автоматизированной конвейерной линии, особенно при значительной ее протяженности и большой единичной мощности конвейеров, влечет за собой неоправданный расход электрической энергии на холостой ход незагруженных конвейеров.

С целью исключения длительной работы конвейерной линии вхолостую заслуживает внимания предлагаемый принципиально новый подход к вопросу запуска протяженной конвейерной линии, в частности, последовательность запуска в направлении движения грузопотока. При этом к началу пуска конвейера 1 последующая конвейерная цепочка должна быть свободной от груза.

Непременным условием в данном случае является предотвращение поступления груза на конвейер 1 (и далее на конвейеры 2,3,4) до последовательного их включения и разгона до номинальной скорости. В случае наличия груза на последующей (от запускаемого конвейера) части конвейерной линии следует предварительно освободить ее от груза, осуществляя последовательность запуска в направлении, обратном движению грузопотока.

Такой гибкостью обладает разработанная учеными Национального горного университета система автоматизированного управления конвейерными линиями (САУКЛ). Эта система предназначена для автоматизированного

управления разветвленными конвейерными линиями шахт с общим количеством конвейеров до 60 единиц. САУКЛ обеспечивает все функции управления согласно «Требованиям к автоматизации шахтных конвейеров и конвейерных линий».

Удельный расход электрической энергии на подземном транспорте в общешахтном расходе по данным работы [1] составляет 12%. Поэтому с точки зрения возможности использовать его в качестве потребителя-регулятора для снижения максимальной мощности угольного предприятия в часы максимума энергосистемы подземный транспорт представляет значительный интерес. Результаты расчетов мощности двигателей приводных станций ленточных конвейеров, осуществляющих транспортирование горной массы от забоев до околоствольного двора, приведены в табл. 2.

Анализ результатов расчета потребляемой мощности приводов и их сравнения с номинальными значениями паспортной мощности свидетельствуют о том, что в большинстве случаев (конвейеры 2,3,5,8,9,11,13) установленная мощность необоснованно завышена, а это ведет к перерасходу электроэнергии. Следует по возможности заменить приводы на менее мощные, что частично на шахте уже осуществлено.

Таблица 2

**Результаты расчетов мощности двигателей конвейеров**

№ конвейера	Тип конвейера	Место установки	Расчетная мощность двигателей, кВт	Паспортная мощность двигателя, кВт
1	2ЛТ80У-01	Сборный 566 штрек	128	165
2	1Л100У-01	Восточный групповой конвейерный штрек №2	96,5	150
3	1Л100	Восточный групповой конвейерный штрек №2	134/79	200
4	1Л100К	Сборный 554 штрек	74	100
5	2Л100У	Западный групповой конвейерный штрек №2	86	220
6	1Л120	Конвейерный квершлаг	380	500
7	1Л120	Конвейерный квершлаг	412	500
8	1Л120	Конвейерный квершлаг	197	500
9	1ЛУ120	Магистральный квершлаг	314	500
10	2ЛТ80	Сборный 669 штрек	114	110
11	1Л100	Восточный конвейерный <i>штрек</i> бремсбергового поля	61	200
12	1Л100К	Участковый штрек бремсбергового поля	82	100
13	1ЛУ120	Магистральный конвейерный штрек	190	500

Значительные потери времени работы очистных забоев а, следовательно, и производительности наблюдаются на транспорте угля с использованием конвейеров. При сплошной конвейеризации основного грузопотока выход из строя одного из цепи конвейеров ведет к остановке всей линии и очистного забоя. Для исключения простоев или их максимального снижения по продолжитель-

ности применяют аккумулирующие бункера, которые “защищают” от простоев надбункерные линии и очистные забои, уменьшают затраты энергии на транспорте, износ конвейерной ленты и роликов, и, соответственно, энергозатраты и себестоимость угля.

В идеальном случае бункера следовало бы устанавливать под лавой и принимать в них поступающий из забоя уголь. После заполнения бункера необходимо включать конвейерную линию и передавать уголь к стволу, освобождая его для новой порции угля. Однако стесненные условия выемочных штреков и постоянное перемещение пункта сопряжения лавы с конвейерным штреком исключают возможность использования этого решения.

Размещение аккумулирующих участков бункеров существенно влияет на расход электрической энергии в процессе транспортировки полезного ископаемого. Запишем выражение для определения экономии электроэнергии в транспортной конвейерной цепи от очистного участка до скипового ствола шахты:

$$DW = SNk_1t_1 - (SN_1k_1t_1 + SN_2k_2t_2) - N_6k_6t_6,$$

где  $DW$  – снижение затрат электроэнергии на транспортировку полезного ископаемого в сутки, кВт·ч;

$SN$  – суммарная установленная мощность приводов конвейерной линии от очистного участка до ствола шахты, кВт,  $SN = SN_1 + SN_2$ ;

$SN_1$  – суммарная установленная мощность приводов конвейерной линии от участка до аккумулирующего бункера (надбункерная линия), кВт;

$SN_2$  – суммарная установленная мощность приводов конвейерной линии от аккумулирующего бункера до ствола шахты (подбункерная линия), кВт;

$N_6$  – установленная мощность в аккумулирующем бункере, кВт;

$k_1, k_2, k_6$  – коэффициенты использования мощности, соответственно, в надбункерной, подбункерной линии и аккумулирующем бункере;

$t_1, t_2, t_6$  – время работы в сутки, соответственно, надбункерной, подбункерной линии и бункера, ч.

Исследование вышеприведенного уравнения на экстремум показывает, что эта функция монотонно возрастает и не имеет минимума.

Максимальная экономия электроэнергии будет в том случае, если аккумулирующий бункер расположен в непосредственной близости от очистного участка, поскольку в этом случае максимальное количество конвейеров может быть отключено на период заполнения бункера.

Однако по мере подвигания очистного забоя бункер необходимо было бы переносить (в случае механического бункера) или сооружать новый (при горном бункере), что нереально. Поэтому наиболее рациональным является расположение бункера на стыке участковой линии конвейеров по сборному штреку с магистральными конвейерами по конвейерному штреку горизонта. В этом случае вместе с оборудованием очистного участка будет одновременно включаться только небольшая часть общей конвейерной линии (от участка до бункера) и ее длина по мере отработки столба будет уменьшаться. Эти конвейеры работают с

небольшой нагрузкой (0,3 – 0,5 от установленной мощности), но продолжительность их работы составляет практически полную смену. В тоже время конвейеры на линии от аккумулирующего бункера до ствола могут быть остановлены на периоды заполнения бункера. Во время их включения (30-40% от продолжительности смены) их загрузка составляет 0,75-0,95% от установленной мощности. Таким образом, чем ближе к стволу будет размещен аккумулирующий бункер, тем менее эффективным будет его применение по сравнению с безбункерной схемой. Экономия электроэнергии может составить до 20% от суточного расхода.

Для подтверждения этого рассмотрим предлагаемый вариант установки аккумулирующего бункера на пересечении сборного 566 штрека с Восточным групповым конвейерным 2 штреком. Для определения возможной экономии электроэнергии сравним два варианта вида транспорта: с бункером и без бункера, причем конвейеры в обоих вариантах будут одни и те же. В базовом варианте (без бункера) все конвейеры работают от участка до ствола без остановок 15 часов в сутки (5 часов в смену), при этом загрузка их по мощности не превышает 40% (фактически – даже меньше, т.к. нагрузка на две лавы, работающие на этот штрек, – 1500-2000 т/сут. или 130-180 т/ч, пропускная способность конвейерной линии, определенная по наиболее «узкому» конвейеру, - 450-500 т/ч).

В предлагаемом варианте при таком режиме должен работать лишь конвейер выемочного штрека 1Л100К. Остальные конвейеры и питатель аккумулирующего бункера будут работать в смену не более двух часов (шесть часов в сутки) с загрузкой по мощности 80%.

Краткие расчетные характеристики установленных конвейеров на выбранном участке конвейерной линии приведены в табл. 3.

Расход электроэнергии определяется по формуле

$$W = \sum N t_p K_b,$$

Для базового варианта

$$W_b = 2275 \cdot 15 \cdot 0,4 = 13650 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

а предлагаемого

$$W_n = 2295 \cdot 6 \cdot 0,8 = 11100 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Экономия электроэнергии для одного аккумулирующего бункера будет:

$$\Delta W_c = 13650 - 11100 = 2550 \text{ кВт}\cdot\text{ч/сут},$$

а за год

$$\Delta W_{год} = 2550 \cdot 300 = 765 \cdot 10^3 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Таким образом, имея аккумулирующий бункер между участковой и магистральной конвейерными выработками, можно экономить более 700 тыс. кВт·ч электроэнергии в год.

Кроме того, наличие аккумулирующего бункера позволяет сместить время работы магистральных конвейеров с «часов пик» – времени максимальной нагрузки в энергосистеме, совместив это время с остановками магистральных

конвейеров. Следовательно, только на экономии электроэнергии и уменьшении оплаты за нее можно ежегодно "сохранять" для шахты более 50 тыс. грн.

Применение бункеров достаточно большой емкости обеспечивает независимость режимов работы транспортных средств и очистных и подготовительных забоев, что позволяет значительно снизить себестоимость угля, затраты на электроэнергию и повысить производительность участков и шахты в целом.

Теоретически основы расчета аккумулирующих технологических бункеров достаточно полно разработаны с использованием теорий вероятностей, систем массового обслуживания и математической статистики [2 - 5]. Практически бункера применяются на всех шахтах и рудниках. Конструкции и схемы их также достаточно известны. Широко применяются горные бункера в тех местах, где позволяет разность высот загрузочных конвейеров и приемных устройств после бункера. Если эта разность высот недостаточна, то она создается специально при помощи дополнительно проводимых выработок. В противном случае рекомендуется применять механизированные разборные (переносные) бункера.

Таблица 3

Расчетные характеристики конвейеров

Место установки конвейера	Тип конвейера	Длина конвейера, м	Мощность привода, кВт	Базовый вариант		Предлагаемый вариант	
				Время работы в сутки, ч	Коэффициент загрузки	Время работы в сутки, ч	Коэффициент загрузки
Сборный 566 штрек	1Л100К	500	75	15	0.4	15	0.4
Аккумулирующий бункер	Питатель ПК 2,6-10	10	20	-	-	6	0.8
Восточный групповой конвейерный штрек №2	1Л100	820	200	15	0.3	6	0.8
Магистральный конвейерный квершлаг	1Л120№1	740	500	15	0.4	6	0.8
	1Л120№2	1330	500	15	0.4	6	0.8
	1Л120№3	970	500	15	0.4	6	0.8
Магистральный конвейерный штрек	1ЛУ120 №1	1040	500	15	0.4	6	0.8
<b>Итого</b>			<b>2275/2295</b>	<b>15</b>	<b>0.4</b>	<b>6</b>	<b>0.8</b>

Преимущества стационарных горных бункеров - невысокая энергоемкость (только на питатель), полезное использование объема горных выработок, низкая стоимость эксплуатации, длительный срок службы, простота устройства. Недостатки - переизмельчение материала, возможность его зависания, дополнительный значительный объем горных работ.

Механизированные бункера могут быть установлены при небольшом перепаде высот между пунктами загрузки и разгрузки с минимальным объемом

горных работ, могут разбираться и перемонтироваться вслед за перемещением горных работ; переизмельчение груза в них незначительно, отсутствует зависание угля. Недостатком их является значительная первоначальная стоимость и необходимость обслуживания. Выбирают вид бункера в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий в соответствии с принятыми схемами вскрытия и подготовки пластов, а также системой транспорта. Горные бункера размещают вблизи скипового ствола на сопряжении магистральных горизонтальных и капитальных наклонных выработок, уклонов, бремсбергов, наклонных стволов, на сопряжениях сборных выработок выемочного участка с магистральными выработками. Механизированные бункера по возможности размещают ближе к добычным участкам в местах сопряжений участковых и магистральных выработок или в местах перегрузок на участковых выработках.

На одном маршруте рекомендуется иметь не более двух последовательно расположенных аккумулирующих бункеров.

Вместимость аккумулирующих бункеров определяется в зависимости от производительности участков (загрузочных конвейеров) и требуемого уровня снижения простоев или надежности работы транспортной схемы. В соответствии с имеющимися рекомендациями при проектировании транспортных линий [4] следует принимать надежность (уровень снижения простоев) не ниже 95%.

В общем случае емкость бункера определяется из выражения

$$V_{ак.б} \geq c \times A_{см.б}, \quad (1)$$

где  $V_{ак.б}$  - вместимость аккумулирующего бункера, т;

$c$  – расчетный коэффициент, учитывающий надежность работы подбункерной части конвейерной линии ( $\geq 95\%$ ) и количество расположенных в этой части конвейеров;

$A_{см.б}$  – суммарная производительность всех транспортных потоков, проходящих через бункер с учетом их неравномерности, т/смену.

В условиях шахты “Юбилейная” на бункер работает одна конвейерная линия (в перспективе - не более двух); а в конвейерной подбункерной цепи находится до восьми конвейеров, поэтому коэффициент  $c=0,12$  [4].

Емкость бункера следует выбирать не менее

$$V_{ак.б} \geq \frac{1000 \cdot 1,5}{3} \cdot 0,12 = 60 \text{ т,}$$

где 1000 – среднесуточная производительность конвейерной линии, т/сутки;

1,5 - коэффициент неравномерности;

3 - количество смен;

0,12 - расчетный коэффициент.

Оптимизация вместимости бункера - это отдельная задача. Его следует изготавливать значительно больших размеров, чтобы принимать 30-50% смен-



ной производительности участка. В этом случае будет реализована возможность отнесения периода разгрузки бункера вне пиков потребления электроэнергии. Тогда вместимость бункера

$$V_{ак.б} \geq \frac{1000 \cdot 1,5}{3} \cdot (0,3 \div 0,5) = 100 - 160 \text{ т, что не противоречит выражению (1).}$$

Производительность разгрузки аккумулирующего бункера, когда подбункерный конвейер загружается только от него, должна приниматься равной эксплуатационной производительности подбункерного конвейера, т.е.

$$A_{ак.б} = A_k, \text{ т/смену}$$

При загрузке сборного конвейера в нескольких точках через аккумулирующие бункера производительность разгрузки каждого из них

$$A_{би} = A_k \frac{A_{смi}}{\sum A_{см}}$$

где  $A_{би}$  – производительность разгрузки  $i$ -го бункера, т/ч;  $A_k$  – производительность подбункерного конвейера, т/ч;  $\sum A_{см}$ ,  $A_{смi}$  – суммарный сменный грузопоток, поступающий на конвейер, и сменные грузопотоки через  $i$ -тые бункера, т/смену.

Производительность разгрузки бункера равна производительности подбункерного конвейера и регулируется с помощью питателя, расположенного под бункером.

Экономическая эффективность использования подземных бункеров рассчитана в сравнении с базовым вариантом – транспортированием угля конвейерами без аккумулирующих бункеров (вариант 1).

Расчет экономического эффекта выполнен при использовании двух типов аккумулирующих бункеров:

- разборного переносного механизированного бункера (вариант 2а);
- стационарного горного бункера, размещённого в породном массиве (вариант 2б).

Годовой экономический эффект определяем по формуле:

$$\mathcal{E} = I_{б} - I_n - \frac{K}{t},$$

где  $I_{б}$  и  $I_n$  – текущие издержки по базовому и предлагаемому вариантам, тыс. грн/г.;

$K$  – капитальные вложения по вариантам, тыс. грн;

$t$  – срок службы оборудования, лет.

Тогда срок окупаемости капитальных вложений:

$$T = \frac{K}{I_{\text{б}} - I_{\text{н}}}.$$

Годовой экономический эффект в расчёте на один очистной забой по варианту 2а равен 769,5 тыс. грн, а 2б – 862,2 тыс. грн.

С учетом того, что на магистральном конвейерном квершлагае происходит объединение грузопотоков и часть магистральных конвейеров работает на общий грузопоток, годовой эффект от одной транспортной цепи следует удвоить, т. е. по варианту 2а он составит 1539, а 2б – 1724 тыс. грн в год.

Срок окупаемости капитальных вложений по варианту 2а – 0,9 года, а 2б – 0,2 года.

Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности использования бункеров (механизированных и горных), учитывая корректное определение их емкости и места расположения, для непосредственного сглаживания углетотоков, а, следовательно, и снижения непроизводительных расходов электроэнергии на конвейерном транспорте путем полной загрузки магистральных конвейеров.

#### Список литературы

1. Волощенко Н.И. Экономия энергоресурсов в угольной промышленности. // Уголь. - 1985. - №10. - С.18-20.
2. Моделирование и оптимизация производственных процессов при добыче угля / С.А. Кариман, А.В. Брайцев, В.М. Шрамко и др. - М.: Наука, 1975. - 135 с.
3. Хартман К., Лецкий Э., Шефер В. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1997. - 552 с.
4. Основные положения по проектированию подземного транспорта для новых и действующих шахт. - М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1986. -356 с.
5. Подземный транспорт шахт и рудников: Справочник. М.: Недра, 1985. - 565 с.