

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК.
УрО, ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ**

Лыхин П.А.

**ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ДОБЫЧИ РУДЫ КОМБАЙНОВЫМ
КОМПЛЕКСОМ**

ПЕРМЬ - 2000

УДК 622.232. 622.272

Лыхин П.А.

Теория и практика добычи руды комбайновым комплексом. Пермь:

Кн.изд. 2000 – 24 с., 2 рис.

В монографии излагаются теория и практика применения комбайнового комплекса в очистной камере, и влияние организации работ в забое и на руднике на трудоемкость добычи руды. Для обоснования теоретических положений выбора параметров организации работ и технических средств используется закон циклических процессов.

В ней описывается динамика процесса функционирования комбайна и технических средств доставки в очистной камере на различных её участках, изменение характера цикла, производительности комплекса, и средних показателей эффективности добычи руды.

По наиболее высокой средней производительности комплекса в расчете на тонну добытой из камеры руды рекомендуется выбор параметров технических средств комплекса, определяются естественные границы возможного совершенствования данной технологии, и делается прогноз увеличения производительности добычи руды.

Монография рассчитана на инженеров горных предприятий, сотрудников научно-исследовательских и проектных институтов, преподавателей и студентов горных вузов и факультетов.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Общие положения	5
2. Динамика процесса работы комбайнового комплекса в забое на различных участках камеры	7
3. Оптимальные соотношения параметров технических средств комплекса	14
4. Производительность комплекса в смену в забое камеры	16
5. Закон циклических процессов и эффективность использования комплекса	18
6. Комплексы повышенной производительности (основные принципы функционирования комплекса)	20
7. Производительность и трудоемкость добычи руды	21
8. Основные положения теории и практики эффективного использования комплекса	23
Использованные источники	24

ВВЕДЕНИЕ

За семидесятилетний период эксплуатации калийных месторождений на Верхней Каме технология добычи руды существенно изменилась. На рудниках перешли с буровзрывного метода разрушения породы на способ использования для этих целей комбайнов. За счет внедрения комбайнов для выемки руды частично решены вопросы повышения производительности и облегчения труда в очистном забое.

Однако на калийных рудниках не избежали ошибок, характерных для планового хозяйства Советского Союза. Комбайны внедрялись волевым способом, без экономического обоснования их внедрения и, что главное, без изменения организации работ, как в забоях, так и в целом на руднике. По известным причинам в проектных и исследовательских институтах страны не уделялось должного внимания совершенствованию организации работ при внедрении новой техники, и тем самым, часто нарушался один из основополагающих законов экономики, а дополнительные расходы обычно списывались. Подобные пробелы в научных исследованиях в полной мере относятся к тематике калийной промышленности. В результате применения комбайнов, трудозатраты добычи тонны руды на руднике остались почти без изменения, а себестоимость товарной продукции даже увеличилась.

В исследованиях часто игнорировалось также положение, что если первичным при выборе системы разработки служат горно-геологические условия залегания месторождения, то вторичным аргументом выбора элементов системы являются параметры технических средств, при безусловном соблюдении условий безопасности работ.

Очевидно, без знания законов функционирования комплекса технических средств нельзя рекомендовать рациональные параметры организации работ и делать прогнозы совершенствования технологии на базе принятой техники и применения более совершенных технических средств.

В данной работе рассматриваются теоретические положения выбора параметров организации работ и технических средств. В ней применительно к условиям рудников и в соответствии с законами циклических процессов описывается динамика работы комбайнового комплекса и организация работ в забое, рекомендуются рациональные параметры технических средств и производственные циклы в забое.

Впервые в технической литературе в данном исследовании определяются естественные границы возможного совершенствования технологии выемки руды комбайновыми комплексами с самоходными вагонами и бункер перегружателями, и рекомендуются меры, проведение которых необходимо для повышения эффективности принятой на рудниках технологии и внедрения прогрессивных для добычи руды технических средств и организации работ.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Комбайновый комплекс. Выемочный комбайн при камерной системе разработки может входить в комплексе с самоходным вагоном (СВ), с самоходным вагоном и бункер перегружателем (БП) или удлиняющимся конвейером специальной конструкции.

На калийных рудниках Верхней Камы обычно применяются комплексы: комбайн – СВ - БП или комбайн и СВ. Комбайновые комплексы, как правило, работают в очистных камерах длиной до двухсот метров.

В зависимости от принятого варианта системы разработки и схемы доставки горной массы из забоя СВ доставляет руду от комбайна до конвейера на транспортном штреке (ленточного, скребкового, заглубленного или на почве выработки) или до рудо спускной скважины (гезенка).

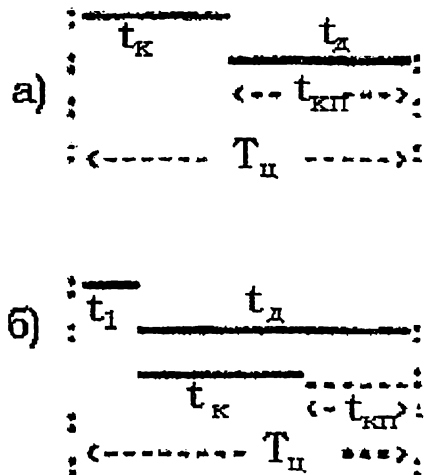
Цикличность. Процесс работы комбайнового комплекса цикличен. повторяющимися при выемке руды операциями и перерывами, и его структурные изменения подчиняются основному закону таких процессов [1, 2].

Цикл работы комплекса в забое может быть последовательным или параллельным. Последовательный цикл характерен для работы комбайна с СВ. Цикл включает время последовательных операций выемки руды комбайном с одновременной её загрузкой в СВ и доставки руды. При параллельном цикле, характерном для комплекса, включающего комбайн, СВ и БП, время выемки руды комбайном частично или полностью совмещается со временем её доставки (рис. 1).

Рис. 1. Рабочие циклы комплекса:

- а) – последовательный цикл,
б) – параллельный цикл.

Время: t_k - выемки комбайном руды в забое и её погрузки в СВ или в БП (б);
 t_d - доставки руды; t_1 - погрузки руды из БП в СВ; $t_{кп}$ - простоя комбайна; $T_{ц}$ - цикла.



Производительность комплекса за цикл определяется объемом или массой доставляемой СВ руды и временем цикла, т.е.

$$P_{ц} = W/T_{ц},$$

где $P_{ц}$ - производительность комплекса за цикл, т/мин;
 W - масса руды, доставляемая СВ, т;
 $T_{ц}$ - время цикла, мин.

При анализе работы комплекса и расчете его производительности необходимо учитывать, что в состав его входят различные по назначению, конструкции и производительности машины (комбайн, БП, доставочные средства).

Как известно, производительность комбайна в забое определяется его технической производительностью, временем работы по выемке и погрузки руды и технологических и организационных простоев.

Производительность доставки руды зависит от массы доставляемой руды, расстояния доставки и, соответственно, времени движения СВ до разгрузочного пункта и обратно, разгрузки СВ и маневровых операций в этом пункте, т.е.

$$P_d = W v_{cp} / (2L_d + t_m v_{cp}),$$

- где P_d – производительность доставки руды СВ, т/мин;
 v_{cp} – средняя скорость движения СВ с учетом времени тормозного пути, м/мин;
 L_d – расстояние доставки, м;
 t_m – среднее время конечных маневровых операций СВ на пунктах погрузки и разгрузки руды, мин.;
- $$v_{cp} = v_m k_d L_d / (L_d + 2l_T),$$
- v_m – средняя скорость движения СВ (порожнего и груженого) по техническому паспорту, м/мин;
 k_d – коэффициент снижения скорости движения СВ по условиям дороги (принимается равным 0,8);
 l_T – средний тормозной и разгонный путь, м.

Средняя скорость движения СВ значительно меняется в зависимости от расстояния доставки и тормозного и разгонного пути. Её следует принимать по данным практики или для усредненных расчетов – табличным данным (табл.1).

Таблица 1

Средняя скорость движения СВ и производительность доставки руды из камеры

L_d , м	v_{cp} , м/мин	P_d , т/мин, при времени маневров t_m , мин.:			
		1,4	1,7	2,35	2,55
30	84	5,94	5,2	4,09	7,68
40	92,60	5,52	4,87	3,89	7,31
50	97,65	5,15	4,59	3,70	6,99
80	104	4,55	4,11	3,38	6,42
100	109	3,88	3,55	2,99	5,71
130	112,80	3,37	3,12	2,68	5,15
170	115,48	2,88	2,69	2,36	4,55
200	116,80	2,59	2,44	2,16	4,18

В таблице: v_m принята 125 м/мин (по паспорту), l_T – 7 м, $W = 12,5$ т.

В последнем столбце таблицы данные при $W = 22$ т, $k_d = 1$.

Эффективность использования выемочного комбайна за смену или за время выемки очистной камеры заданного объема (длины и сечения) зависит не только от производительности комплекса, но значительно снижается по причине различных простоев комбайна (технологических и организационных, включая выход из строя машин и оборудования) /3, 4/.

Эффективность использования комбайна во времени может быть оценена относительным соотношением его практической и технической производительности в забое за смену или за период выемки всей камеры или за другой интересующий производителя период.

При фактической производительности комбайна за шестичасовую смену, например, 300 т и его технической производительности (по паспорту) 5 т/мин коэффициент использования его во времени K_3 равен:

$$K_3 = P_{ск} / Q_k T_{см} = 300 / 5 \cdot 360 = 0,166,$$

где

$P_{ск}$ – производительность комбайна в составе комплекса за смену, т/см;

Q_k – техническая, по паспорту, производительность комбайна, т/мин;

$T_{см}$ – время смены, мин.

Коэффициент эффективности K_3 всегда меньше единицы, и при ПОСТОЯННОЙ технической производительности (принятого комбайна) позволяет оценить использование комбайна во времени в любых условиях его эксплуатации, и выделить из общей величины простоев их отдельные составляющие.

2. ДИНАМИКА РАБОТЫ КОМБАЙНОВОГО КОМПЛЕКСА В ЗАБОЕ НА РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКАХ КАМЕРЫ

Работа комплекса при параллельном цикле /2/. После операции зарубки комбайна на практике производительность доставки руды обычно выше, чем техническая производительность комбайна, т.е. $P_d > Q_k$.

На этом первом участке камеры, при коротких расстояниях доставки руды и небольшом времени отсутствия СВ у БП комбайн не успевает заполнить БП на его техническую емкость W . В этих условиях время погрузки СВ не постоянно. Оно изменяется в зависимости от объема руды ΔW , магазинируемой в БП и период доставки руды СВ, и соотношения производительности донного конвейера БП и комбайна.

Если БП пустой (например, в начале смены), то время погрузки СВ через пустой БП будет зависеть только от производительности комбайна в забое, практически мало отличающейся от технической по паспорту Q_k , т.е.

$$t_k = W / Q_k.$$

Наоборот, при полном заполнении рудой БП (за период доставки руды) время разгрузки БП в пустой СВ снижается до

$$t_1 = W / P_{\text{бп}}$$

где

$P_{\text{бп}}$ - производительность донного конвейера БП, т/мин.

Например, при $W = 12,5$ т, $Q_k = 5$ т/мин и $P_{\text{бп}} = 10$ т/мин $t_k = 12,5/5 = 2,5$ мин., а $t_1 = 12,5/10 = 1,25$ мин., в два раза меньше.

Очевидно, в зависимости от расстояния L_d и времени t_d доставки находятся промежуточные значения времени $t_{\text{п}}$ погрузки СВ через БП. При этом часть руды будет грузиться комбайном в СВ через мало нагруженный конвейер БП, а часть руды – донным конвейером БП, работающим за счет накопленной в БП её массы (погрузки руды комбайном и её магазинирование в БП в период доставки горной массы СВ, отсутствия СВ у БП).

Масса руды в БП, достаточная для работы донного конвейера с максимальной производительностью. Допустим, что за время отсутствия СВ (при доставке горной массы) в БП комбайном магазинируется масса руды $\Delta W = 4$ т.

При подходе СВ для погрузки и включения донного конвейера БП комбайн продолжает работать, непрерывно пополняя рудой кузов БП.

Примем $Q_k = 5$ т/мин, а $P_{\text{бп}} = 10$ т/мин. Тогда $\Delta W = 4$ т конвейер БП перегрузит в СВ за время $t_{\text{п1}} = 4/10 = 0,4$ мин, но за время $t_{\text{п1}}$ комбайн дополнительно погрузит в БП $\Delta W_1 = t_{\text{п1}} Q_k = 0,4 \cdot 5 = 2$ т, ΔW_1 конвейер заберет за 0,2 мин, а комбайн за эти 0,2 мин дополнит БП на 1 т и т.д.

Условно разделим работу донного конвейера БП и комбайна по погрузке СВ через БП, рассмотрев её в динамике (СВ всегда грузится до объема равного его технической емкости W).

Объем руды, грузимый донным конвейером, определится равным:

$$\Delta W_{\text{бп}} = \Delta W + \Delta W_1 + \Delta W_2 + \dots + \Delta W_n = 4 + 2 + 1 + 0,5 + 0,25 + 0,125 + 0,0025 + \dots + 0.$$

Очевидно этот объем $\Delta W_{\text{бп}}$ будет погружен в СВ за время

$$t_{\text{п1}} = \Delta W_{\text{бп}} / P_{\text{бп}}$$

Остальная часть руды, находящаяся и поступающая в БП при работе комбайна, $\Delta W_k = W - \Delta W_{\text{бп}}$ будет грузиться в СВ комбайном через БП при слабо нагруженном его донном конвейере.

Если к моменту подхода СВ к погрузке в бункер перегружателя (БП) накоплено ΔW руды, то динамика изменения объема руды в БП может быть описана геометрическим рядом:

$$\Delta W_{\text{бп}} = \Delta W + \Delta W Q_k / P_{\text{бп}} + \Delta W (Q_k / P_{\text{бп}})^2 + \dots + \Delta W (Q_k / P_{\text{бп}})^n$$

или

$$\Delta W_{\text{бп}} = \Delta W / (1 - Q_k / P_{\text{бп}}).$$

Остальная часть руды, как выше отмечено, будет грузиться за время, определяемого производительностью комбайна в забое:

$$\Delta W_k = W - \Delta W_{\text{бп}}, \quad t_{\text{п2}} = \Delta W_k / Q_k = (W - \Delta W_{\text{бп}}) / Q_k.$$

Тогда время погрузки СВ

$$t_{п} = t_{п1} + t_{п2} = \Delta W_{бп}/P_{бп} + (W - \Delta W_{бп})/Q_{к}.$$

Продолжительность цикла работы комплекса в данном случае равна:

$$T_{ц1} = t_{п1} + t_{п2} + t_{д} = t_{к},$$

где

$t_{к}$ – суммарное время работы комбайна по погрузке СВ, т.е. в период операции доставки руды $t_{д}$ и, затем, загрузки СВ через БП.

Очевидно, масса руды, магазинируемая комбайном в БП за время доставки руды СВ, равна:

$$\Delta W = t_{д} Q_{к} = (t_{к} - t_{п})Q_{к}.$$

С увеличением расстояния $L_{д}$ растет время $t_{д}$ доставки и, соответственно, увеличивается объем магазинируемой руды. Наступает момент, когда объем ΔW увеличивается настолько, что $t_{п2}$ становится равным нулю. В этом случае работа комбайна, непрерывно пополняющего рудой кузов БП, обеспечивает работу донного конвейера БП с расчетной максимальной его производительностью при наполнении СВ до расчетной технической емкости W .

Как следует из предыдущего, если в уравнении $\Delta W_{бп} = \Delta W/(1 - Q_{к}/P_{бп})$ принять $\Delta W = W$, магазинируемая масса руды, достаточная $\Delta W_{д}$ для работы донного конвейера БП с максимальной его производительностью при $\Delta W_{бп} = \Delta W_{д}$,

$$\Delta W_{д} = W(1 - Q_{к}/P_{бп}),$$

т.е. масса руды в БП, достаточная для работы его донного конвейера с максимальной производительностью, зависит от емкости СВ и соотношения производительности комбайна и донного конвейера БП.

В частности, при $W = 12,5$ т $\Delta W_{д}$ изменяется:

$Q_{к}/P_{бп}$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$\Delta W_{д},$ т	10	8,75	7,5	6,25	5

Длина первого участка камеры с производительностью комплекса, равной производительности комбайна. После зарубки комбайна и начала работы комплекса с БП длина участка камеры, на котором производительность доставки выше производительности комбайна, т.е. $P_{д} > Q_{к}$, рассчитывается по $\Delta W_{д}$.

На границе первого и второго участков

$$Q_{к} = P_{д} = \Delta W_{д} / (2L_{11}/v_{ср} + t_{м}).$$

Откуда

$$L_{11} = v_{ср} (\Delta W_{д}/Q_{к} - t_{м})/2,$$

где

$t_{м}$ – время на маневры СВ при доставке руды (при погрузке и разгрузке), мин.

Здесь L_{11} включает длину зарубки L_3 и расстояние транспортировки СВ от устья камеры до погрузочного пункта.

Если в полученном уравнении для L_{11} $\Delta W_d = W(1 - Q_k/P_{6п})$,

где $P_{6п} = W/t_1$, или $t_п = t_1 = W/P_{6п}$, то

$$L_{11} = v_{ср}[W/Q_k - (t_m + t_1)]/2.$$

При $v_{ср} = v_m k_d L_d / (L_d + 2l_T)$ (см. выше), а $L_d = L_{(11)}$,

$$L_{(11)} = v_m (W/Q_k - t_m - t_1)/2 - 2l_T.$$

За минусом длины зарубки L_3 первый участок равен

$$L_1 = L_{(11)} - L_3.$$

Таким образом, на первом участке камеры (после зарубки) изменяется не только производительность доставки горной массы, но соотношение времени $t_{п1}$ и $t_{п2}$ и, соответственно, время $t_п$ погрузки СВ. На этом участке производительность комбайнового комплекса может оставаться постоянной, равной в пределе технической производительности комбайна:

$$P_d = W/T_d = W/t_k = W/W/Q_k = Q_k.$$

Примечание. При расчетах Q_k снижают, учитывая потери руды при выемке её комбайном в забое.

С увеличением расстояния доставки в камере больше $L_{(11)}$ (длина зарубки и первого участка) производительность комплекса $P_{к2}$ на втором участке камеры снижается обратно пропорционально сумме времени разгрузки БП в СВ, t_1 , и доставки: $t_d = 2L_1/v_{ср} + t_m$, и при $P_d < Q_k$ не зависит от технической производительности комбайна, т.е.

$$P_{к2} = W/(t_1 + t_d).$$

Очевидно, в камере длиной 200 м при определенном сочетании производительности комбайна и средств доставки (после операции зарубки) возможно выделить два участка камеры с различной производительностью комплекса.

Длина участков камеры с различной производительностью комплекса и характером цикла. С увеличением расстояния доставки в камере (табл. 2), изменением производительности комбайна и параметров средств доставки руды меняется соотношение времени погрузки и доставки, время, характер цикла и производительность комплекса.

В начале камеры (при работе с БП), при производительности доставки больше технической производительности комбайна технологический цикл может быть с полным совмещением выемки руды комбайном, доставки руды СВ, погрузки её в БП и из БП в СВ (рис. 2, а). Возможен цикл с совмещением наполнения рудой бункера и доставки горной массы СВ, но разгрузки БП в СВ после

остановки комбайна (см. рис. 2, б). При цикле с совмещением всех операций (укороченном) производительность комплекса в пределе равна производительности комбайна в забое, $P_{к1} = Q_k$.

Во втором случае (простом цикле)

$$P_{к11} = W/(t_1 + t_k) = Q_k P_{бп}/(P_{бп} + Q_k).$$

Таблица 2

Время цикла и производительность комбайнового комплекса в камере

ΔW	$t_{п1}$	$t_{п2}$	$t_{п}$	$t_{д}$	$T_{ц}$	$P_{д}$	$P_{к}$	$L_{д}$
$Q_k = 2,5 \text{ т/мин}, W = 12,5 \text{ т}, \Delta W_{д} = 9,37 \text{ т}$								
7	0,525	2,9	3,42	1,57	5	7,90	2,5	-
9,37	0,7	2,2	2,90	2,10	5	4,46	2,5	33
12,5	1,25	-	1,25	3,75	5	3,33	2,5	100
12,5	1,25	-	1,25	4,64	5,9	2,36	2,1	170
12,5	1,25	-	1,25	5,70	7	2,16	1,78	200
$Q_k = 3 \text{ т/мин}, W = 12,5 \text{ т}, \Delta W_{д} = 8,75 \text{ т}$								
3	0,428	2,73	3,16	1	4,16	12,5	3	-
4,3	0,614	2,12	2,73	1,43	4,16	8,74	3	-
6	0,857	1,31	2,16	2	4,16	6,25	3	-
8	1,14	0,36	1,50	2,66	4,16	4,68	3	13,5
8,75	1,25	-	1,25	2,91	4,16	4,29	3	55
10	1,25	-	1,25	3,33	4,58	3,75	2,7	83
12,5	1,25	-	1,25	4,16	5,41	3	2,3	117
$Q_k = 5 \text{ т/мин}, W = 22 \text{ т}, \Delta W_{д} = 16,5 \text{ т}$								
6	0,4	2,8	3,20	1,2	4,4	18,3	5	-
10	0,66	1,73	2,44	2,0	4,16	11	5	-
14	0,93	0,66	1,59	2,8	4,4	7,85	5	42
16,5	1,1	-	1,10	3,3	4,4	6,66	5	60
22	1,1	-	1,10	4,4	5,5	5	4	120

В таблице: ΔW – начальная масса руды в БП, т. Время, мин.: $t_{п1}$ – погрузки конвейером БП, $t_{п2}$ – погрузки комбайном, $t_{п}$ – суммарное погрузки из БП в СВ, $t_{д}$ – доставки руды, $T_{ц}$ – цикла. Производительность, т/мин: $P_{д}$ – доставки, $P_{к}$ – комплекса. $L_{д}$ – расстояние доставки, м; Q_k – техническая производительность комбайна, т/мин; W – грузоподъемность СВ и БП, т; $\Delta W_{д}$ – масса руды в БП, достаточная для максимальной производительности донного конвейера (по паспорту), т.

При сравнении этих циклов, коэффициент роста производительности k_3 комплекса при укороченном цикле может быть значительным.

$$k_3 = P_{к1}/P_{к11} = 1 + Q_k/P_{бп} = 1 + t_1/t_k.$$

Если, например, $Q_k/P_{бп} = 0,5$, то $k_3 = 1,5$.

При укороченном цикле длина первого участка в камере больше и, следовательно, время работы комбайна в камере при большей производительности комплекса.

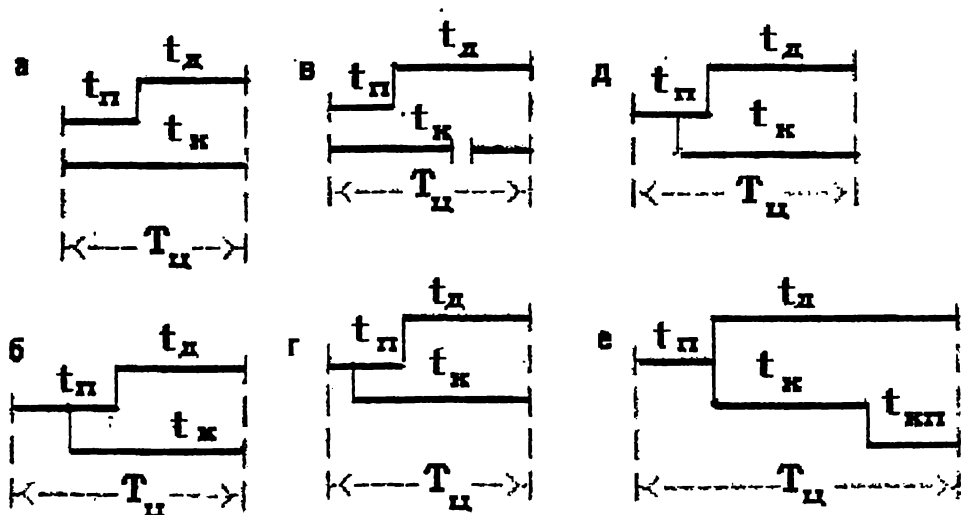


Рис. 2. Параллельный цикл: а – укороченный цикл; б – простой цикл; в, г – циклы с вынужденными или технологическими остановками комбайна; д – при $P_d > Q_k$ но $L_1 < L_d$; е – при $P_d < Q_k$

Так, при простом цикле $L_{1п} = v_{ср} [W/Q_k - (t_1 + t_m)]/2$, а при укороченном цикле $L_{1у} = v_{ср} (W/Q_k - t_m)/2$, и соотношение длины участков при различных типах цикла :

$$L_{1п}/L_{1у} = 1 - t_1 Q_k / (W - t_m Q_k).$$

На практике в начале камеры применяют менее уплотненные по времени работы комбайна циклы, с остановкой комбайна по различным причинам (см. рис. 2, в), часто технологически оправданным. Например, при недостаточно совершенной конструкции БП с целью полной очистки его донного конвейера и исключения просыпания руды на почву выработки перед отправкой руды на разгрузку комбайн на момент останавливают (см. рис. 2, г).

При относительно низкой технической производительности комбайна (например, $W = 12,5$ т и $Q_k = 2,5$ т/мин) первый участок камеры с практически одинаковой производительностью комплекса и комбайна, может, быть соизмерим с длиной камеры (см. табл. 2). Меняется характер цикла. После первых 30 метров камеры (при $Q_k < W/t_d = P_d$ но при $L_d < L_1$) комбайн успевает нагрузить СВ до необходимого объема, при котором достигается наибольшая производительность донного конвейера БП, и после прибытия СВ к БП догружает СВ до полного объема W (рис. 2, д) при одновременной разгрузки БП в СВ.

С дальнейшим увеличением расстояния доставки L_d , при $P_d < Q_k$, выемка руды комбайном и погрузка бункер перегружателя совмещается с доставкой руды СВ (см. рис. 2, е).

При таком характере параллельного цикла, при $P_d < Q_k$, увеличение технической производительности комбайна не приводит к повышению производительности комплекса, увеличивается только время простоя комбайна в ожидании порожнего СВ. Нерационально также совмещение погрузки СВ из БП с работой комбайна.

Изменение производительности донного конвейера при разгрузке БП и её влияние на параметры процесса работы комплекса.

В исследованиях Пинского В.Л. процесса разгрузки БП установлено, что производительность донного конвейера падает на конечной стадии этого процесса. Падение производительности происходит от наибольшей (по паспорту) до нуля в прямой зависимости от объема горной массы в бункере в конце его разгрузки:

$$P_{бпх} = b \Delta W_x$$

где $P_{бпх}$ – производительность донного конвейера БП в конце периода его разгрузки, т/мин;

ΔW_x – оставшийся при разгрузке БП объем горной массы в бункере, т;

b – коэффициент пропорциональности, 1/мин.

Для БП грузоподъемностью 12,5 т падение производительности донного конвейера наблюдается с объема меньше W/n . Тогда

$$W/n = 12,5/3 = 4,16 \text{ т.}$$

При объеме горной массы больше 4,16 т производительность донного конвейера максимальная, равная 10 т/мин, а при снижении объема горной массы до нуля она также равна нулю.

Очевидно $b = P_{бпх}/W/n = 10/4,16 = 2,4 \text{ мин}^{-1}$.

При совместной работе комбайна и донного конвейера производительность БП не может быть меньше Q_s , т.е. в данном случае средняя производительность донного конвейера при горной массе в нем меньше 4,16 т не меньше 7,5 т/мин.

С учетом падения производительности донного конвейера при совместной работе комбайна и БП изменится объем горной массы, достаточный для производительной работы донного конвейера БП:

$$\Delta W_d = W \{ 2/3 (1 - Q_s/P_{бп}) + 1/3 [1 - 2Q_s/(P_{бп} + Q_s)] \}.$$

Однако изменение производительности донного конвейера практически не оказывает влияния на расчеты параметров процесса работы комплекса. В абсолютных значениях объем горной массы ΔW_d снижается всего на 10%, что во времени погрузки определяется около 4 с.

Поскольку длина первого участка вычисляется по наибольшей производительности БП (по паспорту, при достаточной горной массе в нем) и фактической производительности комбайна в забое снижение производительности донного конвейера при малых объемах руды в нем не окажет влияния на конечные результаты расчета параметров работы комплекса.

Время разгрузки БП, как известно, и, соответственно, производительность БП (по паспорту) определяется с учетом особенностей работы донного конвейера.

3. ОПТИМАЛЬНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ КОМПЛЕКСА

Время выемки горной массы на единицу длины камеры. При различной производительности агрегатов на разных участках камеры длиной L_k , м, и сечением S , m^2 , за один ход комбайна, время выемки горной массы на условную единицу длины камеры T^1 , мин/м, находится по уравнению:

$$T^1 = \rho S \{L_3/P_3 + L_{от}/P_{от} + L_1/Q_k + [L_k - (L_1 + L_3)]/P_d\}/L_k, \quad (1)$$

где

ρ - объемная масса породы, т/м³;

L_3 - длина зарубки, м;

P_3 - средняя производительность зарубки в камере, т/мин;

$L_{от}$ - длина отгона, м;

$P_{от}$ - условная производительность комбайна при отгоне, т/мин;

Q_k - техническая производительность комбайна, т/мин;

P_d - производительность доставки, т/мин.

При средней производительности комплекса в камере P_k^1 , т/мин, его производительность в расчете на единицу длины камеры $P_1 = P_k^1 \cdot T^1$, т/м.

Анализ уравнения (1) позволяет сделать заключение, что при определенных соотношениях параметров технических средств и длины камеры находятся их значения, при которых может быть достигнута наиболее высокая производительность комплекса при выемке руды из камеры.

Очевидно также, что экстремальные решения функции производительности комплекса находятся в интервале граничных значений параметров, от нулевых их величин до технологически оправданных конструкцией технических средств и ограничений, связанных с технологией.

По технологии эксплуатации комплекса (комбайн, СВ, БП) при заданных параметрах технических средств доставки горной массы увеличение технической производительности комбайна целесообразно только до величин, определяемых значениями этих заданных параметров (см. табл. 2).

Граничные значения производительности средств доставки и комбайна.

При заданных параметрах технических средств доставки, например, $W = 12,5$ т, наиболее высокая производительность комплекса определяется при технической производительности комбайна Q_k равной около 3,5 т/мин (табл. 3).

Условная средне взвешенная производительность комплекса P_k^1 учетом различной её величины на отдельных участках камеры определится:

$$P_k^1 = [L_1 Q_k + P_{ср}(L_k - L_{11})]/L_k$$

В таблице 3, например, при $Q_k = 3$ т/мин и длине первого участка камеры, включая зарубку в 20 м, $L_{11} = 59$ м, а $L_1 = 39$ м. На этом первом участке производительность комплекса в пределе равна $P_{к1} = Q_k = 3$ т/мин или на длину первого участка камеры условного сечения $1 m^2 - Q_k L_1 = 117$ (т м/мин условных единиц). На втором участке камеры (длина камеры за минусом длины первого участка с

учетом зарубки) $L_k - L_{11} = 141$ м производительность комплекса зависит от производительности средств доставки. В начале этого участка $P_{д1} = Q_k = 3$ т/мин, в конце камеры при расстоянии доставки 200 м $P_{дк} = 2,02$ т/мин и среднее значение производительности комплекса на этом участке $P_{ср} = 2,51$ т/мин или на всю длину этого участка

$$E = (L_k - L_{11}) P_{ср} = 354 \text{ (тм/мин)}, Z = L_1 Q_k + E = 471 \text{ (тм/мин)}.$$

Средне взвешенная производительность комплекса на единицу длины камеры в 180 м (за минусом зарубки) $P^1_k = 2,62$ т/мин.

Таблица 3

Средняя производительность комплекса в камере в зависимости от Q_k

Q_k	L_{11}	L_1	$Q_k L_1$	$L_k - L_{11}$	$P_{д1}$	$P_{дк}$	$P_{ср}$	E	Z	P^1_k
3	59	39	117	141	3	2,02	2,51	354	471	2,62
3,25	39	19	62	161	3,25	2,02	2,63	423	485	2,69
3,5	23	3	10	177	3,5	2,02	2,76	488	498	2,77
3,6	17	-3	0	180	3,56	2,02	2,79	-	446	2,48

В данном примере (табл. 3) при $Q_k = 3,5 > P_d$ дальнейшее увеличение производительности комбайна ведет к снижению производительности комплекса.

Второе, что следует из анализа зависимостей функционирования комплекса в забое камеры, оптимальные значения технической производительности комбайна определяются равной ей производительности доставки в начале первого участка (после зарубки), которая зависит от емкости СВ и БП и скорости движения СВ при доставке руды от БП. Учитывая, что интегральная средняя скорость движения СВ в камере практически мало изменяется, возможно рассмотреть зависимость производительности доставки горной массы в начале камеры от W в пределах от 12,5 т до теоретической, равной бесконечно большой величине (табл. 4).

Таблица 4

Зависимость $P_{дк}$ от W_x

W_x	$W_x v_{ср}$	Y	$Y v_{ср}$	$2 L_d + Y v_{ср}$	$P_{дк}$
12,5	1000	2,65	212	272	3,67
25	2000	3,9	312	372	5,37
37,5	3000	5,15	412	472	6,35
50	4000	6,4	512	582	7,8
100	8000	11,4	912	972	8,77
200	16000	21,4	1712	1772	9,3
400	32000	41,4	3312	3372	9,48

За начальное расстояние доставки условно примем 30 м, полагая, что в этих условиях производительность доставки соизмерима с оптимальной технической производительностью комбайна. Очевидно, с увеличением W пропорционально растет время разгрузки СВ при доставке руды и время погрузки СВ из БП.

Полагаем

$$P_{\text{дх}} = W_{\text{х}} v_{\text{ср}} / [2L_{\text{д}} + (t_1 W_{\text{х}} / W_1 + t_{\text{м}}) v_{\text{ср}}], \quad t_1 W_{\text{х}} / W_1 + t_{\text{м}} = Y,$$

где

$P_{\text{дх}}$ - производительность доставки, соизмеримая с оптимальной производительностью комбайна, т/мин;

$W_{\text{х}}$ - грузоподъемность СВ и БП, т;

$W_1 = 12,5$ т.

Таким образом, зависимость предельного значения технической производительности комбайна, близкого к производительности доставки в начале камеры, от емкости СВ описывается гиперболой, асимптота которой определяет величину этого предельного значения и технологические возможности данной технологии.

В приведенном нами примере предельное значение $P_{\text{дх}} = Q_{\text{кп}}$ при $W_{\text{х}} = \infty$ равно 10 т/мин. Практически уже при грузоподъемности СВ близкой к 40 т, т.е. технической производительности комбайна равной 6 – 6,5 т/мин, данная технология трудно применима на практике.

4. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КОМПЛЕКСА В СМЕНУ В ЗАБОЕ КАМЕРЫ

Производительность комплекса в забое (см. уравн. 1) зависит не только от производительности комбайна и средств доставки, но и технологических и нетехнологических простоев комбайна, коэффициента использования его во времени (см. выше).

Производительность комбайнового комплекса в забое в расчете на смену P , т/мин, описывается законом циклических процессов:

$$P = 1 / (1/Q_{\text{к}} + X^1),$$

где

$Q_{\text{к}}$ - производительность комбайна в забое, т/мин;

X^1 - суммарная величина простоев комбайна в течение смены, мин/т.

Производительность комбайна в забое принимается по техническим данным паспорта комбайна, с учетом потерь руды на почве камеры при работе комплекса в забое.

Суммарная величина простоев комбайна определяется по известному или заданному коэффициенту использования комбайна во времени. По данным практики K_3 изменяется от 0,15 до 0,3.

$$K_3 = P/Q_{\text{к}} \quad \text{или} \quad K_3 = 1 / (1/Q_{\text{к}} + X^1) Q_{\text{к}}.$$

Откуда

$$X^1 = (1/K_3 - 1) / Q_{\text{к}}.$$

По приведенным выше данным оптимального соотношения технических параметров комплекса, БП $W_1 = 12,5$ т, $Q_{\text{кп}} = 3,67$ т/мин и заданном $K_3 = 0,2$,

$$X^1 = 1,09 \text{ мин/т.}$$

В этих условиях производительность комплекса за шестичасовую смену $P = 1/(1/3,67 + 1,09) = 0,734$ т/мин или за 360 мин смены - 264 т.

Из суммы X^1 существенную часть составляют простои комбайна при доставке руды, ожидания порожнего СВ.

Эти простои определяются: $t_{дп} = 1/P_{дсп} - 1/Q_{кп}$.

В нашем случае при средней производительности доставки $P_{дсп} = 2,86$ мин/т в камере длиной 200 м $t_{дп} = 0,07$ мин/т, составляя в данном случае около 6,4 % от общей величины простоев.

При большой величине простоев изменение мощности технических средств комплекса и уменьшение расстояния доставки руды (длины камеры) не приводит к существенному повышению производительности комплекса в забое (табл. 5, 6).

Таблица 5

Параметры технических средств и производительность комплекса в забое

Наименование показателей	Грузоподъемность СВ и БП, т:		
	12,5	25	37,5
Простои X^1 , мин/т	1,08	0,74	0,63
Производительность:			
Комбайна, предельная, т/мин	3,67	5,37	6,35
Комплекса, т/мин	0,73	1,09	1,27
Комплекса, т/смену	266	388	457
Рост производительности	1	1,45	1,7

Таблица 6

Изменение производительности доставки с уменьшением длины камеры

Длина камеры, м	Средняя производительность доставки, т/мин, при W:			Коэффициент роста
	12,5	25	37,5	
200	2,86	4,39	5,36	1
100	3,23	4,85	5,86	1,13 - 1,08
50	3,53	5,22	6,21	1,23 - 1,16

Наиболее рациональным при данной технологии является снижение неоправданных простоев, связанных с дефектами организации работ в забое, на участке, на руднике (табл. 7). Снижение простоев чаще всего не связано с дополнительными капитальными и эксплуатационными затратами средств.

Теоретически с уменьшением расстояния доставки, например, при работе на скважину (50 м) производительность доставки увеличивается (на 16 - 23 %). Однако при значительных простоях уменьшение этого расстояния практически не приводит к повышению производительности комплекса.

Таблица 7

Влияние простоев комбайна в забое на производительность комплекса

Простои, мин/т	Снижение, %	Производительность комплекса		Коэффициент роста
		Р, т/мин	Р _{см} , т/смену	
При СВ и БП равном 12,5 т				
1,090	0	0,739	266	1
0,864	20	0,876	315	1,18
0,540	50	1,285	462	1,73
При СВ и БП равном 25 т				
0,740	0	1,08	388	1
0,592	20	1,28	462	1,19
0,352	50	1,85	669	1,72

5. ЗАКОН ЦИКЛИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСА

В соответствии с законом циклических процессов (закон гиперболы) находятся рациональные пределы параметров технических средств и, соответственно, ограничения в выборе параметров, эффективность использования данной технологии.

1. Взаимосвязь между техническими параметрами комплекса (комбайн, СВ и БП) описывается гиперболической зависимостью:

$$P_{дх} = W_x v_{ср} / [2L_d + (t_1 W_x / W_1 + t_m) v_{ср}],$$

где

$P_{дх} = Q_{кп}$ - предельная техническая производительность комбайна, соответствующая параметрам и производительности технических средств доставки в начале камеры (после зарубки).

Данная зависимость позволяет определять не только рациональные соотношения между техническими параметрами комплекса, но и предельную техническую производительность комбайна, выше которой производительность комплекса (при заданных параметрах средств доставки) не растет, оставаясь постоянной (см. табл. 4).

Положение асимптоты гиперболы позволяет выявить граничные параметры технических средств совершенствования технологии.

2. Законом циклических процессов описывается влияние технологических и нетехнологических простоев на производительность комплекса:

$$P = 1 / (1/Q_k + X^1),$$

где

$1/X^1$ - положение асимптоты гиперболы, определяющее пределы развития технологии при данном сочетании параметров комплекса. Такие пределы определяются при значении $1/Q_k$, стремящимся к нулю, или при любом большом значении Q_k .

В частности, производительность комплекса при $W = 12,5$ т и $X^1 = 1,09$ достигла предела, т.е. $1/X^1 = 0,8/1,09 = 0,73$ (в 0,8 величины Q_k , близкой к бесконечно большой), и только снижение простоев открывает перспективы совершенствования технологии. То же имеет место при $W = 25$ т, но в большем времени простоев.

3. Коэффициент эффективности, использования комбайна во времени также описывается законом циклических процессов:

$$K_3 = P/Q_k \quad \text{или при } P = 1/(1/Q_k + X^1) \\ K_3 = 1/(1 + X^1 Q_k).$$

K_3 всегда меньше положения асимптоты, т.е. меньше $1/X^1 Q_k$. Чем больше время простоев, особенно при большом Q_k , тем меньше эффективность использования комбайна.

Комплекс с комбайнами барабанного типа. Выемка породы комбайнами барабанного типа (ПКЦ) в отличие от комбайна типа Урал прерывна, циклична. Цикл выемки породы такого комбайна состоит из операций зарубки, отбойки, зачистки почвы, подъема барабана (холостой ход). Производительность этих операций различна. Наиболее высокая производительность отбойки породы и нулевая – операции подъема.

Цикл рассчитывается таким образом, чтобы комбайн за этот цикл отбил руду массой, достаточной для загрузки СВ грузоподъемностью W . Эта масса зависит от глубины зарубки барабана j и сечения выработки S .

Производительность выемки руды комбайном

$$Q_6 = W/T_{\text{цк}}$$

где

$T_{\text{цк}}$ – время цикла выемки руды комбайном, за которое вынимается W руды, мин.;

$$j = V/S, \quad V = KW/\rho,$$

K – коэффициент кратности емкости самоходного вагона;

При $W = 12,5$ т, $\rho = 2,07$ т/м³ $K = 1$.

$$T_{\text{цк}} = \rho j D_6 B/Q_3 + (S - D_6 B) j \rho/Q_0 + t_b,$$

где

D_6 – диаметр барабана комбайна, м;

B – ширина выработки, м;

Q_3 – производительность комбайна при зарубке, т/мин;

Q_0 – производительность комбайна при отбойке, т/мин;

t_b – время вспомогательных работ (холостой ход, зачистка), мин.

При использовании комбайна барабанного типа также рационально применять БП.

Длина первого участка камеры при $P_d > Q_{\text{кц}}$ вычисляется из условия

$$P_d = Q_{\text{кц}};$$

$$L_1 = v_1 W/2Q_{\text{кц}}; \quad v_1 = 2 L_d v_{\text{ср}} / (2L_d + t_m v_{\text{ср}}).$$

При коротких расстояниях доставки, $P_d > Q_{\text{кш}}$, и применении БП специальных конструкций (с частичной бункеризацией руды в нем при разгрузке бункера) рационально совмещение работы комбайна и разгрузки руды.

При $P_d < Q_{\text{кш}}$ рационален только цикл без совмещения операций выемки руды с разгрузкой БП.

Производительность комплекса $P_6 = (1/Q_6 + X^1)$. Здесь суммарные простои увеличиваются по причине двойного цикла (цикла в цикле), что значительно снижает производственные возможности комбайнов барабанного типа. Жесткая взаимосвязь производительности комбайна с емкостью СВ также ограничивает совершенствование технологии выемки горной массы. По этим причинам комбайны подобной конструкции не имеют перспектив успешного их применения с целью увеличения производительности очистной выемки руды.

6. КОМПЛЕКСЫ ПОВЫШЕННОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ (основные принципы функционирования комплекса)

Комбайн с удлиняющимся конвейером. Комплекс включает комбайн с непрерывно удлиняющимся конвейером, рассчитанным на всю длину камеры (50, 75, 100, 150 м). Производительность такого комплекса P_y зависит от производительности Q_k комбайна, выбор которой может ограничить в забое большое время простоев X^{11} :

$$P_y = 1/(1/Q + X^{11}), \text{ где } P_y \text{ всегда меньше } 1/X^{11}$$

Поэтому основным условием успешного применения такого комплекса является резкое снижение простоев комбайна в забое.

Естественно, техническим параметрам и производительности комплекса должны соответствовать система разработки и её параметры.

При снижении простоев и благоприятных горно-геологических условиях выбор производительности комбайна и комплекса зависит от производительности средств транспорта на руднике, подъемной установки шахты, мощности обогажительной фабрики.

Производственные возможности комплекса большие. Выбран, например, комбайн, обеспечивающий производительность в забое $Q = 10$ т/мин. Организация работ на руднике предусматривает: 2 смены в сутки, 25 рабочих дней в месяц и 10 месяцев работы рудника в год. Если комбайн в шестичасовую смену простаивает 2 часа, т.е. $X^{11} = 0,05$ мин/т, то

$$P_y = 1/(1/Q + X^{11}) = 1/(1/10 + 0,05) = 6,66 \text{ т/мин или в смену}$$

$$P_{\text{см}} = 360 \cdot 6,66 = 2400 \text{ т/см.}$$

Годовая производительность одного комплекса:

$$P_{\text{Г}} = P_{\text{см}} \cdot 2.25 \cdot 10 = 2400 \cdot 2.25 \cdot 10 = 1 \text{ млн. } 200 \text{ тыс. тонн руды.}$$

Для успешной работы комплекса необходимо, очевидно, предусматривать комбайны для нарезки панелей и подготовки к очистной выемке камер и запасные забои.

Бункер поезда. Применение бункер поездов так же позволяет значительно увеличить производительность комплекса в забое. Для создания бункер поезда могут быть использованы применяемые на рудниках СВ. В конструкции поезда предусматривается управление поездом из одной кабины, а также применение вагонов поезда в расцепленном виде, при коротких расстояниях доставки маневров при разгрузке и погрузке.

Бункер-поезд, конструированный из трех СВ грузоподъемностью 15 т, и мере длиной 200 м, рационально применять двумя составами: один у комбайна в качестве бункера, другой как доставочное средство.

Расчет производительности комплекса аналогичен расчету комплекса: комбайн, СВ, БП. Основным условием успешного применения бункер поезда является также значительное снижение простоев комбайна в забое.

Последовательный цикл. Эффективность комплекса комбайн, СВ ограничивается производительностью средств доставки. В соответствии с законом циклических процессов его производительность не может быть выше $P_{ки} = 1/T_{д}^1$. $T_{д}^1$ - время доставки в расчете на 1 т доставляемой горной породы, мин/т. Комплекс может быть эффективен при коротких расстояниях доставки и высокопроизводительных средствах транспорта (например, бункер поезд).

7. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И ТРУДОЕМКОСТЬ ДОБЫЧИ РУДЫ

Производительность труда в забое. Средняя производительность отработки камеры P_k , т/смену, длиной L_k , м, и сечением S , м²:

$$P_k = \rho L_k S / (T_{пр} + T_3 + T_{от}),$$

где

$T_{пр}$, T_3 , $T_{от}$ - число смен, соответственно, на проходку, зарезку и отгон при отработке камеры, смен.

Средняя производительность труда на одного члена звена забойной бригады при отработке камеры, т/чел.смену:

$$L_c = P_k / n_{зв},$$

где

$n_{зв}$ - численность звена в очистном забое камеры.

Трудоемкость добычи одной тонны руды на руднике. Трудоемкость добычи одной тонны руды на руднике определяется затратами труда на весь цикл добычи, затрат труда во всех службах рудника, включая затраты на переработку руды на обогатительной фабрике или солемельнице.

Трудоемкость работ на руднике в расчете на 1 т добытой руды, L^1 , чел.смен/т, может быть выражена суммой:

$$L^1 = L^1_1 + L^1_2 + L^1_3 + \dots + L^1_n,$$

где

$L^1_1 + L^1_2 + L^1_3 + \dots + L^1_n$ - трудоемкость работ по отдельным подразделениям на руднике, чел. смен/т.

Очевидно, чтобы снизить трудоемкость работ на руднике в n раз, необходимо уменьшить трудоемкость по одному или многим подразделениям на руднике в m раз, т.е.

$$L^1/n = L^1_1/m_1 + L^1_2/m_2 + L^1_3/m_3 + \dots + L^1_n/m_n.$$

Если L^1_1 - трудоемкость добычи руды в очистных забоях рудника, то для снижения трудоемкости на руднике в n раз необходимо уменьшить трудозатраты в забоях в m_1 раз, или

$$m_1 = L^1_1 n / [L^1 - n(L^1_2/m_2 + L^1_3/m_3 + \dots + L^1_n/m_n)].$$

В приведенном уравнении

$$L^1 > n(L^1_2/m_2 + L^1_3/m_3 + \dots + L^1_n/m_n),$$

т.е. n не может быть больше предельного n_n

$$n_n < L^1 / (L^1_2/m_2 + L^1_3/m_3 + \dots + L^1_n/m_n).$$

Пользуясь данной методикой, возможно, делать прогноз эффективности любых организационных или технических мер в подразделениях рудника и в целом на руднике.

Очевидно, вместо трудоемкости в данном уравнении возможно оперировать себестоимостью, затрат материалов в расчете на одну тонну добытой руды и других затрат.

В качестве примера могут быть приведены расчеты по данным одного из рудников. Статистические данные по подразделениям рудника собирались ежедневно в течение месяца.

В частности, трудозатраты по таким подразделениям на руднике как руддвор, гидрозакладка, хозяйственная служба, подъем, транспорт, солемельница и т.д. составляли в сумме 0,0338 чел.смен на тонну добытой руды; по другим подразделениям, как геологическая, маркшейдерская службы, ламповая, вентиляция и им подобным, трудозатраты составляли в сумме 0,0034 чел. смен на тонну. Затраты, связанные непосредственно с добычей руды, составляли 0,0156 чел. смен на тонну.

В этих условиях при очень больших трудовых затратах на всех служебных подразделениях рудника снижение трудозатрат в очистных забоях, например на одну треть, приведет к снижению трудозатрат в целом по руднику не более 10% от фактической их величины.

Таким образом, любым организационным или техническим мерам, снижающим трудозатраты в забоях рудника, должны сопутствовать меры уменьшения трудозатрат в подразделениях рудника.

Предлагаемая методика может быть использована для создания простейших компьютерных программ оперативного, ежесуточного контроля деятельности рудника, трудоемкости и себестоимости добычи руды.

8. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСА

Рабочий процесс комбайнового комплекса в очистном забое камеры цикличен, и изменения характера цикла при работе комплекса подчиняются закону циклических процессов.

Эффективность использования комбайна в забое во времени определяется его фактической производительностью в забое в течение смены (или другого периода) по отношению к технической производительности комбайна, вычисленной за этот же период времени.

Производительность комбайнового комплекса зависит от объема горной массы, доставляемой из забоя к транспортным средствам рудника в единицу времени рабочего цикла комплекса.

По длине камеры после операции зарубки могут быть выделены два участка, различающиеся по производительности комплекса.

В начале камеры, при $P_d > Q_k$, производительность комплекса определяется производительностью комбайна. С увеличением расстояния доставки, при $P_d < Q_k$, производительность комплекса снижается пропорционально этому расстоянию и зависит от технических параметров средств доставки.

Характер рабочего цикла комплекса меняется с увеличением расстояния доставки в камере и, соответственно, изменения соотношения производительности комбайна и технических средств доставки.

В начале камеры, при $P_d > Q_k$, наиболее рационален цикл с полным совмещением во времени операций погрузки БП и СВ и доставки горной массы. При этом, при одновременной работе донного конвейера БП и комбайна, пополняющего БП рудой, время погрузки СВ из БП непостоянно, изменяясь от $t_k = W/Q_k$ до $t_1 = W/P_{бп}$. Характер цикла меняется также с увеличением горной массы в БП до объема, при котором достигается максимальная производительность донного конвейера БП.

При $P_d < Q_k$ увеличение технической производительности комбайна и совмещение во времени заполнения комбайном БП и погрузки горной массы в СВ из БП не ведут к повышению производительности комплекса. Для цикла в этом случае характерно полное совмещение погрузки БП комбайном с доставкой руды СВ.

Эффективность и средняя производительность комплекса при добыче руды из камеры зависит от выбора соотношения технической производительности комбайна и параметров транспортных средств.

Техническую производительность комбайна следует выбирать равной производительности технических средств доставки в начале камеры (после зарубки). При таком соотношении производительности длина первого участка, когда $P_d > Q_k$, близка к нулю.

С увеличением производительности технических средств доставки рациональная производительность комбайна растет по гиперболической зависимости. Этот рост ограничен асимптотой гиперболы, что определяет естественные границы совершенствования технологии с использованием комплекса: комбайн, СВ и БП. В таком комплексе при грузоподъемности СВ от 12 до 100 т и выше увеличение технической производительности комбайна более 8 – 9 т/мин не приводит к повышению средней производительности выемки руды в камере.

На калийных рудниках основным резервом повышения производительности комбайнового комплекса является снижение технологических и организационных простоев комбайна в забое, повышение коэффициента использования выемочной машины во времени.

С уменьшением простоев комбайна в забое (до двух часов в смену) производительность комплекса с БП увеличивается в полтора - два раза, и становится рациональным переход на более прогрессивные технологии выемки руды в камере (например, с само удлиняющимися конвейерами).

Снижение трудозатрат выемки руды на руднике и себестоимости товарной продукции возможно только при полном соответствии степени механизации работ в забое уровню организации работ на руднике, начиная от забоя до обогатительной фабрики. При больших трудозатратах в отдельных подразделениях и, в целом, на руднике техническое совершенствование добычи руды в забое практически не приводит к снижению трудоемкости и себестоимости единицы товарной продукции.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Лыхин П.А. Прогнозирование технологических параметров технических средств и организации проходческих работ в крепких породах. Екатеринбург: УИФ Наука, 1994. – 150 с.

2. Лыхин П.А. Динамика цикла при работе комбайнового комплекса в очистной камере калийного рудника. // Изв. Вузов. Горный журнал, 1996, N 2. – С. 29 – 33.

3. Лыхин П.А. Технологические параметры и производительность комбайнового комплекса. // Изв. Вузов. Горный журнал, 1994, N 2. – С. 93 – 96.

4. Лыхин П.А. Основы методики выбора оптимальных параметров комбайнового комплекса и расчета его производительности при камерной системе разработки в калийных рудниках. / Отчет по теме за 1997 г. Пермь, 1998. 35 с. М: ВНТИЦентр, инв. N 02.9.8000220.