

УДК 622.23

*В.А. Соловьев*

**РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ ВЕДЕНИЯ ОЧИСТНЫХ И ПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТ С ПРИМЕНЕНИЕМ САМОХОДНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Семинар №11

Основываясь на результатах массовых хронометражных наблюдений, проведенных на рудниках черной металлургии Кривого Рога, Урала и Казахстана, калийных рудниках Верхнекамского месторождения и кимберлитовом руднике Республики Саха-Якутия (около 1000 смен наблюдений за работой бурового оборудования – 8 типов, погрузочно-транспортной техники – 13 типов, сечение выработок от 8 до 130 м<sup>2</sup>, коэффициент крепости пород по шкале проф. М.М. Протоdjяконова от 3 до 18) с использованием метода статистического имитационного моделирования произведено воспроизведение процессов ведения очистных и проходческих работ в разнообразных горно-геологических, горнотехнических условиях. При этом изменялась технология и организация ведения очистных и проходческих работ.

Рассмотрим некоторые результаты моделирования, опытно-промышленных и промышленных работ, связанные с применением самоходного оборудования.

***Проходческие работы в одном забое***

Проходческий цикл в одном забое представляет собой сумму времени выполнения отдельных приемов и операций, выполняемых людьми и машинами, которые имеют вероятностную природу и могут быть представлены в виде статистических рядов или законов распределений. В результате воспроизведения производственного цикла и времени очистной выемки камеры (блока) или проходки выработки установлено, что при всем своем многообразии распределений времени выполнения приемов и операций, составляющих производственный цикл и имеющих в подавляющем большинстве правостороннюю асимметрию, результирующие распределения имеют форму

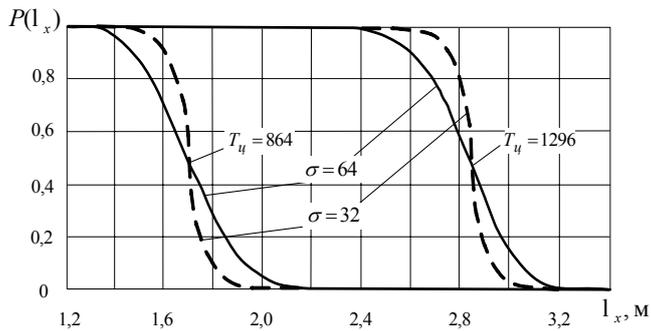
со слабо выраженной правосторонней асимметрией, приближающейся к нормальному распределению. Распределение времени ведения очистных работ в камере или проходки подготовительной выработки имеет ярко выраженную правостороннюю асимметрию.

В связи с тем, что продолжительность цикла имеет вероятностную природу процесса, с известным интервалом распределения возможных случайных величин, возникает необходимость в принятии рациональных параметров проходки выработки, например, в случае ведения взрывных работ в междусменный перерыв. Совершенно очевидно, что если расчет продолжительности цикла вести по средним величинам, то для завершения 50 % циклов необходимо будет выделить следующую целую смену. Возникает вопрос минимизации потерь рабочего

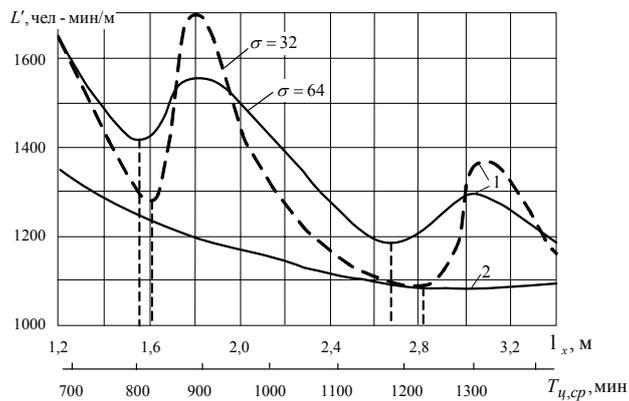
времени, связанных с вероятностной природой производственных процессов. Минимизацию потерь рабочего времени можно осуществить за счет изменения глубины комплекта шпуров и соответственного изменения объема работ за цикл.

На основании результатов имитационного моделирования продолжительности цикла для разных величин глубины комплекта шпуров и конкретных условий проходки выработки с использованием функции Лапласа построен график вероятности завершения проходческого цикла в установленное время (рис. 1) и произведен расчет трудоемкости работ от глубины комплекта шпуров (рис. 2).

Из графика видно, что при значениях глубины шпуров равных 1,6 и 2,7 м имеют место случаи локальных экстремумов. С уменьшением ( $\sigma$ ) величины среднего квадратического отклонения с 64 до 32 мин (пунктирная кривая)



**Рис. 1.** Вероятность завершения проходческого цикла в 864 и 1292 мин. ( $P$ ) от глубины комплекта шпуров ( $I_x$ ) условия проходки:  $S = 7,65 \text{ м}^2$ ;  $f = 14-16$ ;  $K-1$ ; ППН-2; ВГ-3;  $n_{\text{зв}} = 2$



**Рис. 2.** График изменения трудоемкости работ ( $L$ ) от глубины комплекта шпуров ( $I_x$ ) при фиксированной длительности цикла (1) и точной организации работ (2) условия проходки:  $S = 7,65 \text{ м}^2$ ;  $f = 14-16$ ;  $K-1$ ; ППН-2; ВГ-3;  $n_{\text{зв}} = 2$

без изменения средней длительности операций и процессов (при фиксированной длительности цикла) зависимость изменения трудоемкости работ от глубины комплекта шпуров имеет более ярко выраженные экстремальные области с меньшими абсолютными величинами трудоемкости. Характерно, что экстремальные значения трудоемкости достигаются при вероятностях завершения цикла в установленное графиком время равных 0,8.

При проектировании проходческого цикла по средним значениям длительности операций и процессов для минимизации потерь рабочего времени, вызванных вероятностной природой процессов и необходимостью ведения взрывных работ в междусменный перерыв, целесообразно планировать 5 % запаса времени цикла (от его средней величины) на завершение работ (для 80 % циклов) в течение регламентированного времени. Несоблюдение этого условия приводит к снижению производительности труда проходчиков на 8–15 %. При хорошей организации работ в забое величина запаса времени может быть снижена до 3 %. При поточной органи-

зации работ (ведение взрывных работ в любое время смены) обеспечиваются лучшие показатели проходки.

**Одновременное проведение двух выработок одним комплексом оборудования** позволяет значительно поднять производительность труда и использование проходческой техники. Особенно это эффективно при использовании мобильных технических средств. Производительность труда проходчиков растет до 30 %, коэффициент использования оборудования повышается в 1,5 раза.

Как и при проведении одиночной выработки, для двухзабойной проходки характерно нормальное распределение продолжительности проходческих процессов и цикла. По мере подвигания забоев, средняя продолжительность процесса уборки горной массы растет. Однако вследствие значительного разрыва в показателях производительности погрузочно-доставочной машины МПДН-1 и бурильной установки СБКН-2П и неиспользуемых возможностей у первой, подвигание забоев не вызывает значительных изменений

Таблица 1

Показатели проходческих процессов при одновременном проведении двух выработок  
( $S = 7,0 \text{ м}^2, f = 14 - 16, L_x = 2,2 \text{ м}$ )

Наименование показателей	Значения показателей по циклам с начала проходки выработок				
	10	19	28	37	46
Продолжительность проходческого цикла, час	20,3	20,9	20,9	21,0	21,2
Продолжительность простоев технических средств за цикл, час:					
СБКН-2П	1,00	1,40	1,36	1,34	1,90
МПДН-1	11,30	11,00	10,90	10,90	9,80
Продолжительность простоев забоя в ожидании обслуживания установкой СБКН-2П, час*:					
первый забой	1,73	1,85	1,57	1,53	1,34
второй забой	1,87	1,77	1,92	1,49	1,50

\* – простоев забоев в ожидании обслуживания погрузочно-доставочной машиной МПДН-1 – нет.

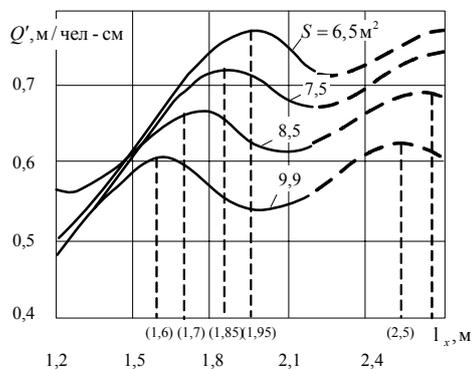


Рис. 3. Изменение производительности труда проходчиков ( $Q'$ ) от глубины комплекта шпуров ( $l_x$ ) при одновременном проведении двух выработок равных сечений ( $S$ )

в продолжительности проходческого цикла (табл. 1).

Для двухзабойной проходки характерно появление областей с локальными экстремумами, обеспечивающими наиболее высокие показатели производительности труда проходчиков и коэффициентов использования

оборудования при определенных значениях глубины комплекта шпуров (рис. 3 и 4).

В общем виде характер зависимостей повторяет изменение показателей производительности труда проходчиков при однозабойной проходке. Экстремальные значения производительности труда проходчиков при проведении выработок разного сечения связаны той же зависимостью, что и при однозабойной проходке. При невоз-

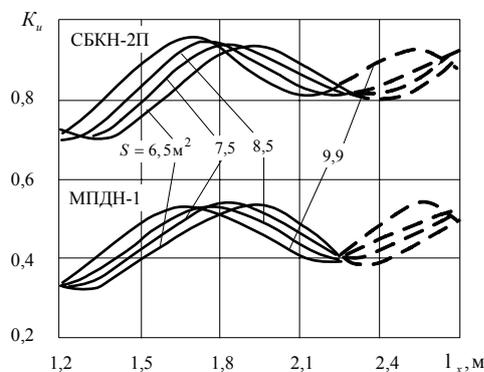


Рис. 4. Изменение коэффициентов использования оборудования ( $K_u$ ) от глубины комплекта шпуров ( $l_x$ ) при одновременном проведении двух выработок равных сечений ( $S$ )

можности обеспечить оптимальные значения глубины комплекта шпуров в одном из проводимых забоев, следует принимать наиболее близкую величину, а во втором забое – рациональную для данного типа сечений (при двухзабойной проходке). В целом организация работ по одновременному проведению двух выработок обеспе-

чивает при любых соотношениях глубин комплектов шпуров значительно лучшие показатели, чем при однозабойной проходке.

При выборе оборудования для одновременной проходки двух выработок предпочтительнее следует руководствоваться принципом равенства показателей работы средств бурения и уборки, выражаемых через длительность соот-

ветствующих процессов. При этом предпочтение следует отдавать погрузочно-транспортным машинам.

*Одновременное проведение трех выработок одним комплектом оборудования* харак-

теризуется дальнейшим ростом производительности труда рабочих и использования самоходного оборудования. Однако одновременная проходка трех вы-

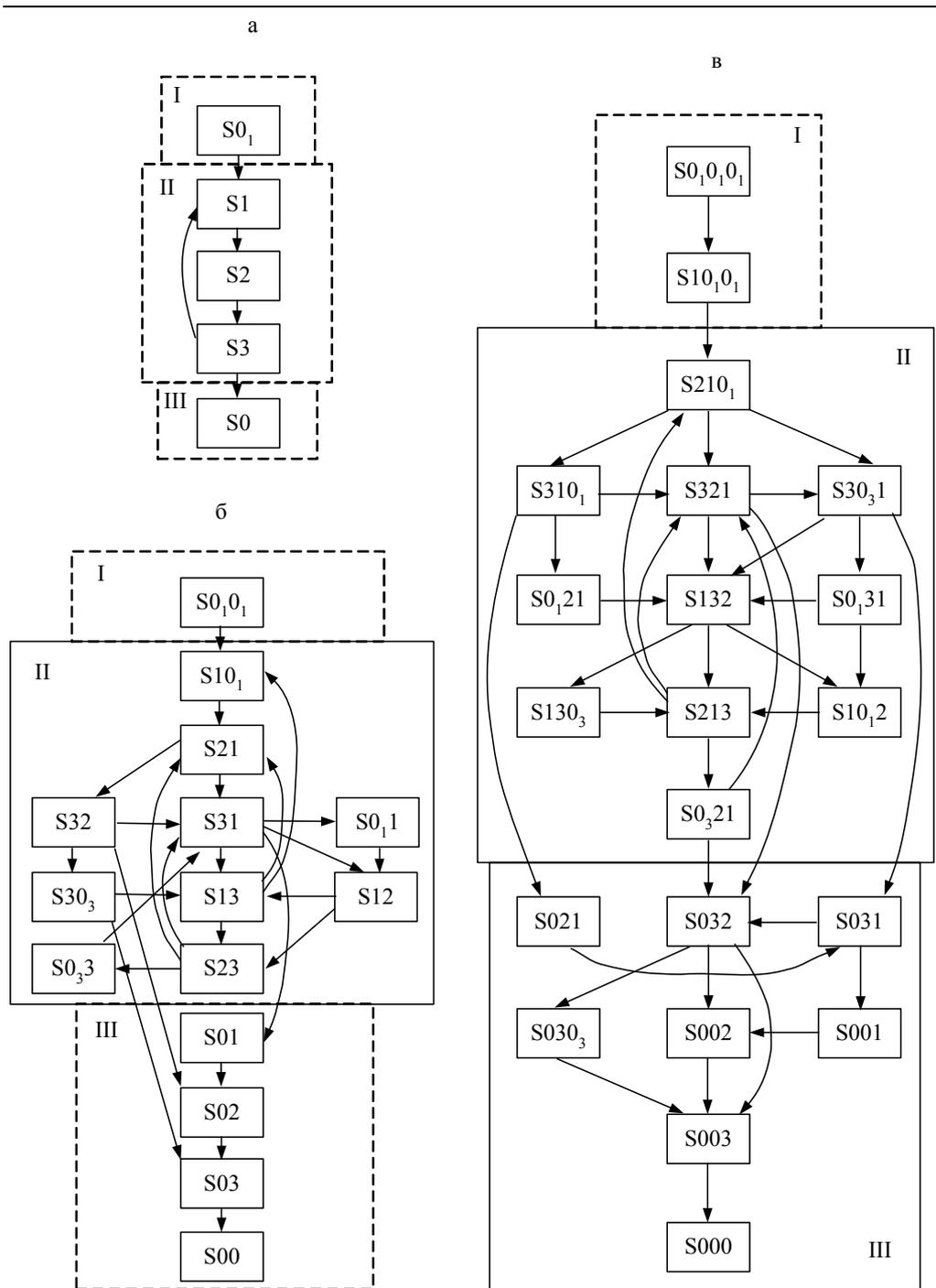


Рис. 5. Графы состояний системы при однозональной (а), двухзональной (б) и трехзональной (в) организации проходческих работ

работок значительно усложняет производственные процессы. На рис. 5 приведены графы состояния системы «проходческие забои» при одно-, двух- и трехзабойной проходке. Для удобства понимания состояния системы отдельные звенья пронумерованы в зависимости от числа забоев в работе соответственно одним, двумя и тремя цифровыми индексами; первый означает состояние первого забоя:

- 1 – процесс бурения;
- 2 – зарядание, взрывание проветривание;
- 3 – оборка заколов и уборка горной массы;

0, 01, 02, 03 – работы в забое не производятся (простой забоя) по причине, соответственно, выработка пройдена, ожидание прибытия звена бурильщиков, ожидание зарядания – взрывания, ожидание прибытия звена по уборке горной массы; второй индекс – те же состояния для второго забоя; третий – для третьего. Например, обозначение *S10,3* означает: в первом забое осуществляется процесс бурения, во втором – простой в ожидании начала процесса бурения, в третьем – производится уборка горной массы.

Для многозабойной системы характерно наличие трех стадий состояния:

1 – начальная, система только один раз находится в подобном состоянии – при развитии работ;

2 – основная, т.е. возможно многократное пребывание системы в любом состоянии;

3 – заключительная, т.е. возможен только разовый переход в конечное состояние по одному каналу переходов.

Продолжительность пребывания системы в любом состоянии есть величина случайная, зависящая от предыдущих состояний системы, ряда параметров и множества случайных факторов и величин и не может быть определена заранее. Случайным является и направление перехода системы из состояния в состояние.

Если учесть, что по мере подвигания забоев меняется продолжительность отдельных процессов, вызванная увеличением объема работ (рост расстояния транспортировки горной массы), а кроме того, наличие различных ограничений, то становится ясной сложность процессов протекающих в системе «проходческие забои». Причем чем больше выработок находится в одновременной проходке, тем сложнее исследуемая система.

В этой связи задачи, связанные с одновременной проходкой трех и более выработок ре-

шаются с использованием основных положений теории массового обслуживания.

В результате воспроизведения процессов одновременного проведения трех выработок установлено, что трехзабойная проходка обеспечивает в сравнении с двухзабойной проходкой увеличение производительности труда на 20 % и сокращение простоев оборудования (табл. 2).

В результате статистического имитационного моделирования процессов ведения проходческих работ по одновременному проведению трех выработок комплексом, состоящим из двух единиц оборудования не равной производительности установлено, что дальнейшее увеличение числа забоев в проходке не приведет к росту производительности труда. Приrost производительности может быть обеспечен при включении в состав комплекса второй бурильной установки, что позволит осуществить некоторое выравнивание производительности процессов бурения и уборки горной массы.

*Одновременное проведение одним комплексом оборудования неограниченного числа забоев* является наиболее сложным вариантом организации работ. Этот вариант имеет место при разработке пластовых залежей с регулярным оставлением столбчатых целиков и применением комплексов самоходного оборудования. На рис. 6 приведена схема отработки 5-ой восточной панели рудника Первого Березниковского рудоуправления ПО «Уралкалий». Состав комплекса включал следующее оборудование:

- бурильную установку типа ПЕС.24.1FR.D6.E60;
- установку для крепления кровли винтовыми анкерами ПЕС.24.1BR.D6.E60;
- механический оборщик кровли на базе ПДМ ST-8V;
- машина для зарядания забоев «Муллифт-синхро-7,5»;
- погрузочно-транспортная машина ST-8V – 2 шт.

В табл. 3 приведены результаты статистического моделирования процессов ведения очистных работ с использованием основных положений теории массового обслуживания для 6–13 забоев в работе. Состав комплекса сформирован с близкими по производительности машинами, в расчете на объем подготовленной по процессу руды.

Таблица 2

**Показатели проходческих процессов при одновременном проведении трех выработок**  
( $S = 7,0 \text{ м}^2$ ,  $L_x = 2,2 \text{ м}$ )

Наименование показателей	Значения показателей по циклам с начала проходки выработки				
	10	19	28	37	46
Средняя продолжительность цикла, час	23,0	22,8	22,8	23,2	23,2
Средняя продолжительность простоев технических средств за цикл, час:					
СБКН-2П	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
МПДН-1	14,6	13,6	13,7	12,9	11,2
Средняя продолжительность простоев забоев в ожидании обслуживания установкой СБКН-2П, час:*					
первый забой	8,70	8,25	7,60	8,30	7,65
второй забой	8,21	8,00	7,20	8,30	7,25
третий забой	8,37	7,80	7,55	7,50	6,40

\* – простоев забоев в ожидании обслуживания погрузочно-доставочной машиной МПДН-1 – нет.

Из табл. 3 видно, что при равной производительности машин по процессам увеличение числа забоев превышающее число машин в комплексе приводит к дальнейшему повышению производительности комплекса до количества забоев в одновременной работе, равного 2-х кратному числу машин в работе.

Данный вывод позволяет сделать следующее предположение, что такой же рост

производительности работы комплекса можно обеспечить и за счет другого технического решения – многократного увеличения площади забоя в очистной камере с обеспечением возможности одновременного ведения работ несколькими типами машин, например, в одной камере создать несколько рабочих зон. Приме-

ром такого технического приема может служить вариант технологии, приведенный на рис. 7.

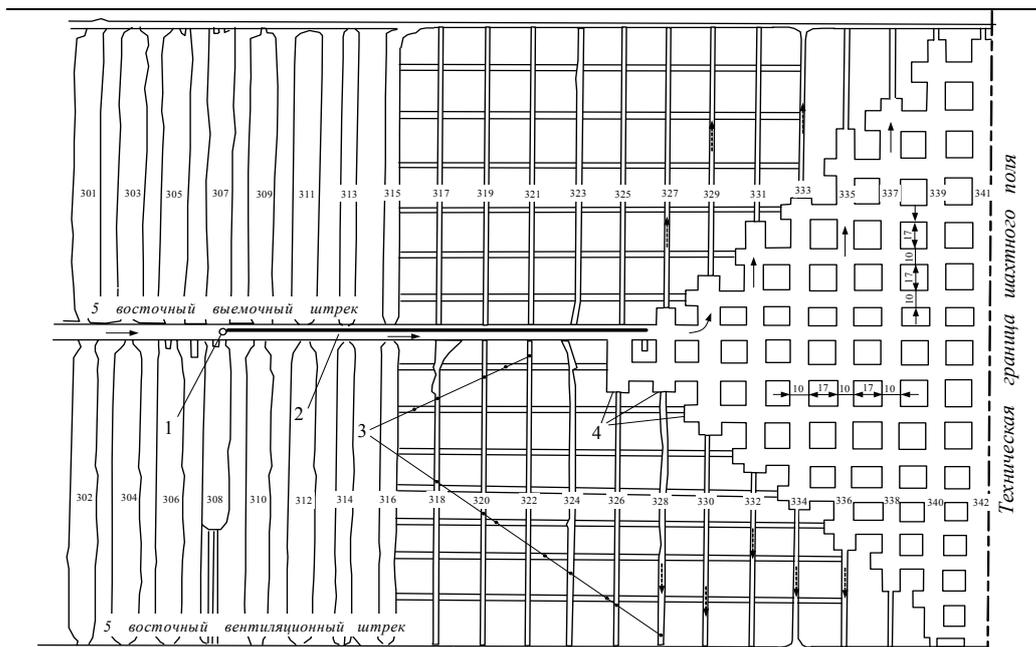
Данная технологическая схема ведения работ косвенным образом увеличивает площадь очистного забоя в 3–4 раза и позволяет совместить в одной камере работу 2-х или 3-х единиц оборудования, что предоставляет возможность сокращения необходимого числа забоев в одновременной работе с 12 до 4. Кроме того, расположение разрезной выработки, пройденной комбайновым комплексом у края камеры и на полную мощность пласта, как это показали результаты опытных работ, позволяет улучшить условия погрузки руды и, самое главное, увеличить скорость движения погрузочно-транспортных машин в 1,5 раза и довести

Таблица 3

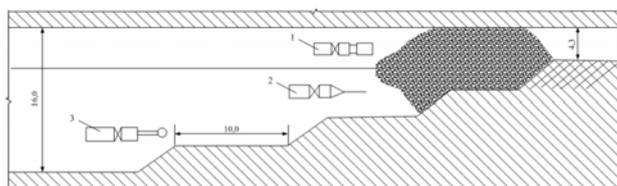
**Результаты статистического моделирования процессов ведения очистных работ одновременно в большом количестве забоев с использованием основных положений теории массового обслуживания**

Число забоев в работе	Производительность комплекса, т/смену	Коэффициент использования оборудования по процессам				
		бурение шпуров	заряжание шпуров	оборка кровли	уборка руды*	крепление кровли
6	1162	0,58	0,75	0,71	0,80	0,69
7	1240	0,62	0,80	0,75	0,85	0,73
8	1279	0,63	0,82	0,77	0,88	0,75
9	1315	0,64	0,84	0,78	0,91	0,76
10	1347	0,65	0,86	0,80	0,93	0,78
11	1348	0,66	0,87	0,81	0,94	0,79
12	1350	0,67	0,87	0,81	0,94	0,79
13	1350	0,67	0,87	0,81	0,93	0,79

\* – в работе две машины ST-8V.



**Рис. 6.** Схема ведения очистных работ на 5-ой восточной панели рудника БКПРУ-1 с регулярным оставлением столбчатых целиков с применением самоходного оборудования: 1 - рудоспуск; 2 - скребковый конвейер СП-80К; 3 - разрезные выработки, пройденные комбайном Урал-10КС; 4 - проинвентаризированные выработки. —→ - свежая струя воздуха; - - - - - отработанная струя воздуха



**Рис. 7.** Схема ведения очистных работ в камере полосами и одновременно на всю ширину: 1 - СТ-8V; 2 - механический оборотчик кровли; 3 - установка для крепления кровли анкерами

т/чел.-смену при ведении работ по схеме приведенной на рис. 6.

ее сменную производительность до 750 т при длине доставки 100 м.

Результаты аналитического моделирования показали, что по своим показателям данная технологическая схема ведения очистных работ полосами и одновременно на всю ширину камеры позволяет поднять производительность комплекса на 17 % и довести сменную нагрузку до 1580 т, а производительность труда рабочих бригады до 250 т/чел.-смену при достигнутых 226

Таким образом, можно заключить, что статистическое имитационное моделирование (в том числе и с использованием основных положений теории массового обслуживания), позволяет с достаточной достоверностью воспроизводить реальные производственные процессы, оценивать и принимать необходимые технические и организационные действия для снижения отрицательного воздействия дестабилизационных факторов.

### Коротко об авторах

Соловьев Вячеслав Алексеевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Уральского научно-исследовательского и проектного института «Галургии» (ОАО «Галургия»), г. Пермь.