

ной вязкости, называемое наименьшей ньютоновской вязкостью. Снижение реологических параметров полимерных растворов при добавлении электролитов объясняется уменьшением способности воды растворять полимер ввиду связывания её молекул гидратирующимися ионами электролита. Поэтому необходимо использовать анионные полимеры с молекулярной массой 15–17 млн ед., концентрация в растворе не менее 0,5...1 масс. %. К производственным исследованиям можно реко-

мендовать полимеры следующих торговых марок: EZ-MUD-DR, Праестол 2540 и А1530 с добавками нитрата калия. Отметим, что применение полимерных растворов с простыми солями приводит к дополнительному расходованию дорогостоящих полимеров. Поэтому в последующих исследованиях авторы продолжают исследования по использованию полимерных растворов без добавок солей для бурения скважин комплексами ССК в глинистых отложениях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник инженера по бурению геологоразведочных скважин / под ред. Е.А. Козловского. – М.: Недра, 1984. – 437 с.
2. Грей Дж.Р., Дарли Г.С.Г. Состав и свойства буровых агентов (промывочных жидкостей). – М.: Недра, 1985. – 509 с.
3. Маковей Н. Гидравлика бурения. – М.: Недра, 1986. – 536 с.
4. Малкин А.Я., Исаев А.И. Реология: концепции, методы, приложения. – СПб.: Профессия, 2007. – 560 с.
5. Тагер А.А. Физикохимия полимеров. – М.: Химия, 1978. – 544 с.
6. Clark R.K. Polyacrylamide/Potassium-Chloride Mud for Drilling Water Sensitive Shales // Journal of Petroleum technology. – 1976. – № 28. – P. 719–727.
7. Виноградов Г.В., Малкин А.Я. Реология полимеров. – М.: Химия, 1977. – 438 с.
8. Неверов А.Л., Гусев А.В., Рожков В.П., Минеев А.В. Реологические свойства растворов акриловых полимеров для бурения скважин комплексами ССК // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – 2012. – Т. 40. – № 1. – С. 86–96.
9. Савицкая М.Н., Холодова Ю. Д. Полиакриламид. – Киев: Техника, 1969. – 188 с.

Поступила 28.03.2013 г.

УДК 622.02

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕМПОВ ПРОХОДКИ ГОРНО-РАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК, СООРУЖАЕМЫХ КАЖДЫМ ПРОХОДЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ, ПРИ ОДНО- И МНОГОЗАБОЙНОЙ РАБОТЕ

В.А. Шмурыгин, А.В. Панкратов, В.Г. Лукьянов

Томский политехнический университет  
E-mail: shvladsv@tpu.ru

*Рассмотрены вопросы эффективного использования дорогостоящего самоходного оборудования, темпов подвигания забоев основных выработок, схем организации производства работ при ведении горно-разведочных работ.*

#### Ключевые слова:

*Проходческие комплексы, горные работы, горные выработки, комплексы оборудования, эффективность, производственные процессы.*

#### Key words:

*Tunneling systems, mining operations, mining, equipment systems, efficiency, production.*

Необходимость проведения исследований в целях повышения проходческого оборудования за счет совершенствования ведения горных работ вызвана необходимым сокращением как в отрасли в целом, так и на остальных золоторудных месторождениях Северо-Востока страны, объемов производства подземных горнопроходческих работ (ГПР) из-за резкого удорожания последних. Между тем в общем комплексе работ при разведке сложных коренных месторождений цветных, редких и благородных металлов (и в частности, золота при детальной разведке) проходка подземных горных выработок является почти единственным

средством получения достоверной геологической информации.

В сложившейся ситуации одним из способов улучшения финансового положения геологоразведочной организации является совмещение разведки месторождения с попутной добычей минерального сырья (проходя основные вскрышные выработки эксплуатационным сечением). При этом на первый план выдвигается задача эффективного использования дорогостоящего самоходного оборудования как на протяжении всего предусмотренного проектом срока разведки месторождения, так и в течение каждой смены.

Однако традиционные методы проектирования, планирования и организации производства подземных горных работ не позволяют решить поставленную задачу, поскольку проведенные в типовых и индивидуальных проектах расчеты численности проходческой бригады, количественного и качественного состава закрепленного за ней оборудования, темпов продвижения забоев основных выработок и т. д. еще слабо увязываются со специфическими особенностями расположения проектируемых выработок на соответствующих горизонтах разведываемых месторождений. Следовательно, повышение эффективности использования парка основной проходческой техники на основе оптимального планирования годовой ее загрузки с учетом структуры проектируемой сети горизонтальных выработок и многозабойной организации работы оборудования в течение смены является актуальной научной задачей.

Самым распространенным типом золоторудных месторождений являются жильные, а среди них месторождения золотокварцевой формации во флишеидных толщах с незначительным содержанием сульфидов. В основном это средние по масштабам месторождения с протяженными и разоб-щенными телами.

Преобладающая часть объемов подземных горноразведочных работ на месторождениях подобного типа приходится на системы с боковыми выработками (ствол штольни или штрек с квершлагами и рассечками), как правило, включающими в себя более или менее протяженную вскрывающую (проходную) выработку и одну или несколько прослеживающих выработок, в свою очередь, проходятся обычно короткие выработки – рассечки или орты.

На некоторых месторождениях встречаются и более сложные и разветвленные системы горных выработок, например, из штреков основной системы проходятся квершлаг на новые рудные тела со штреками и рассечками из них. Отдельные совокупности таких выработок можно рассматривать как самостоятельные системы с выходом в выработку основной системы. Таким образом, система горизонтальных горноразведочных выработок на месторождениях жильного тела имеет в наиболее общем случае древовидную структуру. Причем по мере развития фронта горных работ неизменно возникает задача выбора очередности проходки выработок разведочной системы с целью концентрации горных работ на том или ином разведочном направлении. Поэтому еще на стадии проектирования горных работ необходимо определить, какой уровень развития горных работ считать оптимальным, наиболее полно реализующим возможность использования ограниченных материально-технических и людских ресурсов при сооружении выработок данной разведочной сети.

Существующие способы решения поставленной задачи, кроме полного периода вариантов, являются трудноразрешимой задачей. И эта задача еще более усложняется, когда по мере развития

фронта горных работ из головной выработки проходятся боковые выработки первой очереди, из них – выработки второй очереди и т. д.

Когда в работе постоянно находится только один забой, то максимальный объем проходки, численно равный всему запроектированному на горизонте объему ГПР, выполняется одним комплексом оборудования, а выработки сооружаются последовательно одна за другой. В этом случае время сооружения всей системы выработок будет максимальным и определяется только производительностью машин соответствующего проходческого комплекса.

При расчетах коэффициентов загрузки оборудования каждого из действующих на горизонте проходческих комплексов (комплектов), а также максимальных объемов ГПР в одном разведочном направлении, приходящихся на один из них и определяющих собой максимально-возможный срок сооружения всей системы запроектированных выработок, примем за основу организации работы комплексного проходческого звена, последовательно выполняющего все операции цикла в каждом из действующих забоев. Закрепленный за звеном комплект основного проходческого оборудования постоянно находится в забое до окончания сооружения соответствующей выработки, т. е. в каждом из действующих забоев находится комплект оборудования, который после завершения проходки данной выработки перемещается в очередной из действующих забоев и т. д. Таким образом, каждый комплект оборудования можно рассматривать как своего рода интегральный ресурс, при изменении которого меняются и технико-экономические показатели проходки.

Последовательно увеличивая число действующих комплектов оборудования и соответственно уменьшая нагрузку на каждый из них, мы тем самым сокращаем общий срок разведки. В этом случае важно правильно оценить объемы проходки, приходящиеся на каждый комплекс, максимальный объем горных работ, выполняемый в одном разведочном направлении, а также предел насыщения оборудованием выработок данной разведочной (сети) системы, при превышении которого общий срок разведки больше не уменьшается, а остается постоянным, сколько бы мы не насыщали забой оборудованием сверх этого допустимого предела.

Для любой разведочной (выработки) системы подземных горизонтальных горных выработок существует свой предельный уровень развития горных работ, зависящий как от планируемых на горизонте объемов проходки, так и от взаимосвязи выработок в проектируемой разведочной сети. Очевидно, что превышать этот предельный уровень, насыщая проходческие забои техникой и рабочей силой, нецелесообразно, поскольку независимо от этого объема проходки по цепочке выработок максимальной длины (связывающей в данном случае устье вскрывающей выработки с наиболее удаленной от нее на плане горных работ тупиковым забо-

ем прослеживающей выработки) останутся без изменения. В конечном итоге не изменится и продолжительность сооружения всей системы запроектированных на разведочном горизонте выработок. Игнорирование данного факта приведет лишь к резкому снижению эффективности использования бригадного рабочего места (забоя) и основной горнопроходческой техники.

Сложность решения поставленной задачи состоит в установлении вида зависимости – выбора предельного числа действующих на горизонте проходческих комплексов. Необходимо найти способ, позволяющий разбить множество связанных в единую разведочную сеть выработок непересекающихся между собой цепочек (технологических потоков) так, чтобы объемы проходки по цепочке, начинающейся от устья и заканчивающейся забоем последней из сооружаемых выработок, были минимальными.

В зависимости от горно-геологических условий и технической оснащенности проведение горно-разведочных выработок может быть организовано по одной из трех схем организации производства работ:

- 1) последовательное выполнение основных производственных процессов проходческого цикла в одном забое без совмещения их во времени;
- 2) параллельное выполнение основных производственных процессов проходческого цикла с совмещением их во времени в одном забое;
- 3) комбинированное выполнение основных производственных процессов проходческого цикла в нескольких забоях.

Очевидно, что при многозабойном ведении горных работ на разведочном горизонте предпочтительнее 3-я схема организации производства работ. В связи с этим следует определить предельное число действующих на разведочном горизонте проходческих комплексов.

В многочисленных исследованиях [1–10], затрагивающих различные аспекты проектирования и сооружения разведочных систем горизонтальных горных выработок, нередки случаи, когда воздействующие на этот процесс случайные параметры заменяются фиксированными значениями (обычно средними). Такая замена случайных величин нередко приводит к существенным погрешностям и, более того, может повлечь за собой снижение эффективности всей системы в целом.

На взгляд авторов работы, в подобных случаях необходимо применить аппарат статистического моделирования, что позволит сделать работу системы более надежной.

Идея применения метода статистического (имитационного) моделирования для оценки показателей (планируемые объемы проходки по цепочке выработок максимальной длины для одного комплекса в среднем и на разведочном горизонте в целом, предельное число действующих на горизонте комплексов, средний коэффициент загрузки оборудования одного комплекса и т. д.), характери-

зующих эффективность разделения проектируемой на горизонте сети на ряд технологических потоков, состоит в имитации длин всех входящих в разведочную сеть выработок (согласно титульному списку) с последующим расчетом для полученной таким образом сети значений искомых показателей, в многократном повторении процедуры имитации разведочной сети и, в конечном итоге, в оценке вероятных характеристик полученного эмпирического распределения этих показателей.

Трудность решения поставленной задачи состоит в том, что в различных условиях производства подземных работ из-за недостаточности и неопределенности геологической информации об истинном расположении прослеживаемых на горизонте тел пройденная система горных выработок может существенно отличаться от проектной (первоначально запланированной к проходке).

В работах [11–15] справедливо отмечается, что опыт проектирования горно-разведочных работ и сопоставление проектных данных с фактическими показывает значительное расхождение между количественными значениями горнотехнологических факторов и параметров сети выработок, используемыми в проекте и измененными после окончания работ. В значительной мере изменяются параметры сети выработок: общая длина сети, протяженности длинных штреков и т. д. Имеются также значительные расхождения между проектными и фактическими характеристиками условий производства горных работ: свойствами пород массива, устойчивости кровли и стенок выработок, длинами простираения (рудных тел) рудной зоны, мощностями и т. д.

Поэтому решать поставленную задачу, основываясь только на проектной схеме расположения горных выработок на разведочном горизонте (план горных работ с указанием длины каждой выработки, намечаемой к проходке), вряд ли целесообразно из-за недостаточной достоверности получаемых результатов (выражающейся в отклонении уже пройденных выработок от проектных).

Чтобы учесть фактор случайности предлагается использовать метод статистического моделирования развития горно-проходческих работ на разведочном горизонте, позволяющий получать интересные нас статистические характеристики (математическое ожидание и дисперсию) и гистограммы распределения, чтобы в дальнейшем на их основе с некоторой доверительной вероятностью оценить объективно-необходимое, т. е. соответствующее данной разведочной структуре, число комплексов в одновременной работе.

Процесс моделирования разведочной сети осуществляется по мере следования выработок на составленном геолого-маркшейдерской службой плане горных работ горизонта. Причем выбор длины каждой выработки зависит от длины предшествующей цепочки выработок (накопленной по результатам моделирования длин отдельных выработок, вошедших в нее), начинающейся от устья

вскрывающей выработки разведочного горизонта и приводящей в начало моделируемой выработки.

Последовательно моделируя (в соответствии с принятым законом распределения) длину каждой выработки разведочной сети, необходимо учитывать, что по мере удаления от устья вскрывающей выработки, т. е. при перемещении проектируемой выработки на фланги разведочного горизонта, неопределенность геологической информации о параметрах, характеризующих действительное расположение прослеживаемого данной выработкой рудного тела, возрастает. В процессе моделирования это приводит к увеличению вероятности отклонения (в ту или иную сторону) длины выработки от своего проектного положения.

Как показывает практика производства горных работ (отчетные показатели производственно-технических отделов соответствующих партий и экспедиций), несмотря на случайный характер отклонений параметров фактически пройденной системы выработок от проектной, запланированные на горизонте объемы проходки на ближайшую перспективу (месяц, квартал, год), как правило, выполняются, поскольку за выполнение и перевыполнение месячного плана, подрядного задания, рассчитанного на несколько месяцев, а также годового плана, бригаде проходчиков и инженерно-технических работников горного участка начисляются доплаты (в зависимости от процента перевыполнения плана).

При долгосрочном же планировании подземных работ (в особенности на этапе детальной разведки крупных месторождений цветных, редких и благородных металлов) нередко наблюдаются довольно значительные отклонения от предусмотренных первоначальным проектом объемов работ, которые уточняются впоследствии при принятии дополнений к основному проекту.

Сравнивая проектные (титульный список проектируемых подземных горных выработок) и фактические (маркшейдерские замеры, сделанные в процессе производства горных работ) параметры разведочной сети, следует отметить, что разброс длин выработок относительно своих проектных значений подчиняется определенным законам распределения.

Упорядочив процесс сооружения выработок для каждого из работающих на горизонте комплексов, необходимо рассчитать минимально-допустимые темпы проходки выработок (вошедших в соответствующие технологические цепочки), обеспечивающие выполнение запланированных объемов ГПР как для отдельно взятого комплекса, так и на разведочном горизонте в целом в установленный срок.

С целью решения поставленной задачи в соответствии с приведенной на рис. 1 блок-схемой следует увязать отдельные технологические потоки (ТП) (цепочки выработок, сооружаемых определенным комплексом) в единую систему путем создания ограничений на общую продолжительность

сооружения выработок и на время начала проходки очередной выработки каждой технологической цепочки.

Основные положения методики [16. § 1.2] выбора ресурсосберегающей технологии проведения горизонтальных горных выработок, позволяющей учитывать в типовых и индивидуальных проектах на производство ГПР основные параметры проектируемой разведочной сети, взаимосвязь выработок и их длины. Сечения, планируемые объемы проходки на горизонте в целом и т. д. изображены на рис. 1 в виде блок-схемы. Условные обозначения, принятые в блок-схеме:  $D(P, \nu)$  – граф-схема расположения проектируемых выработок на разведочном горизонте;  $P$  – множество вершин графа  $D$ : точки соприкосновения выработок или тупиковые забои ( $P_0$  – начальная вершина проектируемой разведочной сети – устье вскрывающей выработки);  $\nu$  – множество проектируемых выработок, объединенных в единую разведочную сеть  $D: j_1 < j_2$  – отношения предшествования выработок в разведочной сети (проходке выработки с номером  $j_2$  предшествует на плане горных работ проходка выработки с номером  $j_1$ );  $L_j$  – проектная длина  $j$ -й выработки, м;  $L_{T_i}, L_{T_j}, L_r$  – планируемые объемы  $i$ -го комплекса, по одному комплексу в среднем и на разведочном горизонте в целом, м;  $L_0$  – расстояние по проектному плану горных работ от устья вскрывающей (подходной) выработки до наиболее удаленного от нее тупикового забоя прослеживаемой выработки, м;  $L_{0F}$  – объем проходки по цепочке выработок, связывающей на диаграмме загрузки оборудования начальную ее вершину ( $P_0$ ) с тупиковым забоем последней (в соответствии с принятой очередностью проходки) из сооружаемых выработок (при  $F \geq F^*$ ,  $L_{0F} = L_{0F} = L_0$ ), м;  $F^*$  – предельное число действующих на разведочном горизонте проходческих комплексов (характерное для рассматриваемой сети), при котором объем проходки  $L_{0F}$  (по цепочке выработок максимальной длины) не превышал бы величины  $L_0 (L_{0F} = L_0)$ ;  $F_{\max}, F$  – максимальное число действующих на горизонте проходческих комплексов соответственно для исходной (без простоев,  $F = F_{\max}$ ) и расчетной ( $F < F_{\max}$ ) диаграмм загрузки оборудования;  $F_{opt}$  – оптимальное число комплексов, при котором приведенные затраты на сооружение системы запроектированных на разведочном горизонте выработок минимальны;  $K_{T_i}, K_{T_j}$  – коэффициент загрузки оборудования соответственно  $i$ -го комплекса и одного комплекса в среднем (в период наибольшего развития фронта горных работ на горизонте работает  $F$  комплексов);  $P_{T_i}, P_{T_j}, SP_{T_i}$  – стоимости оборудования  $i$ -го комплекса, одного комплекса в среднем и суммарные по всем  $F$  комплексам, действующим на разведочном горизонте (в метрах проходки);  $P_{F_i}, SP_F$  – планируемая поддержка проходки выработок (простой забоев в ожидании начала работ по сравнению с исходной диаграммой загрузки оборудования), сооружаемых соответственно  $i$ -м комплексом и на разведочном горизонте в целом (по всем технологическим це-

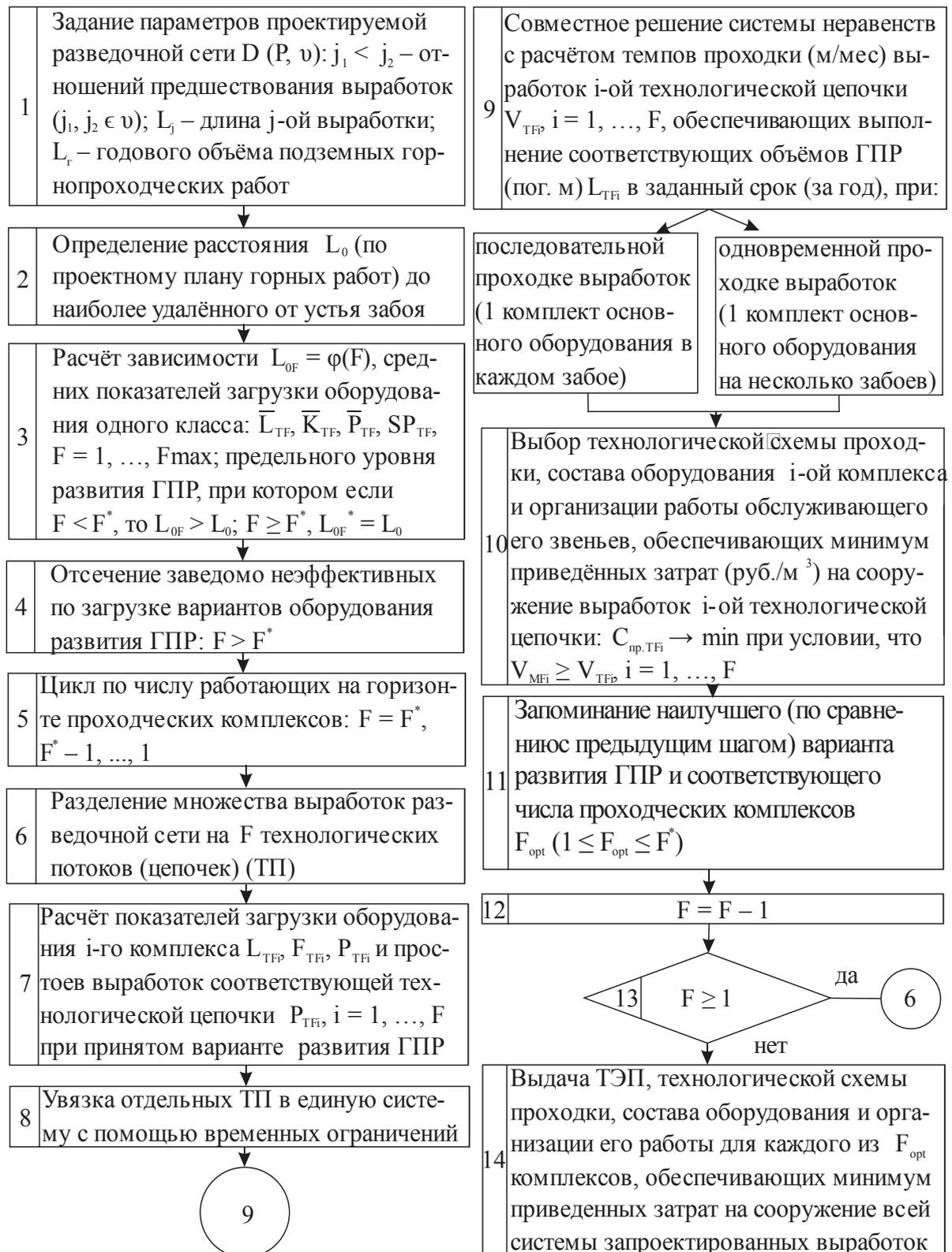


Рис. 1. Принципиальная блок-схема выбора оптимального числа, состава оборудования и организации работы проходческих комплексов

почкам), в метрах проходки;  $V_{TFP}$  – темпы проходки выработок  $i$ -го ТП, обеспечивающие выполнение соответствующих объёмов горных работ в заданный срок, м/мес.;  $V_{MFi}$  – скорость проходки вырабо-

ток  $i$ -го ТП машинами соответствующего комплекса при принятой организации работ, м/мес.;  $C_{пр.ТFi}$  – приведённые затраты на сооружение выработок  $i$ -й технологической цепочки (при общем числе про-

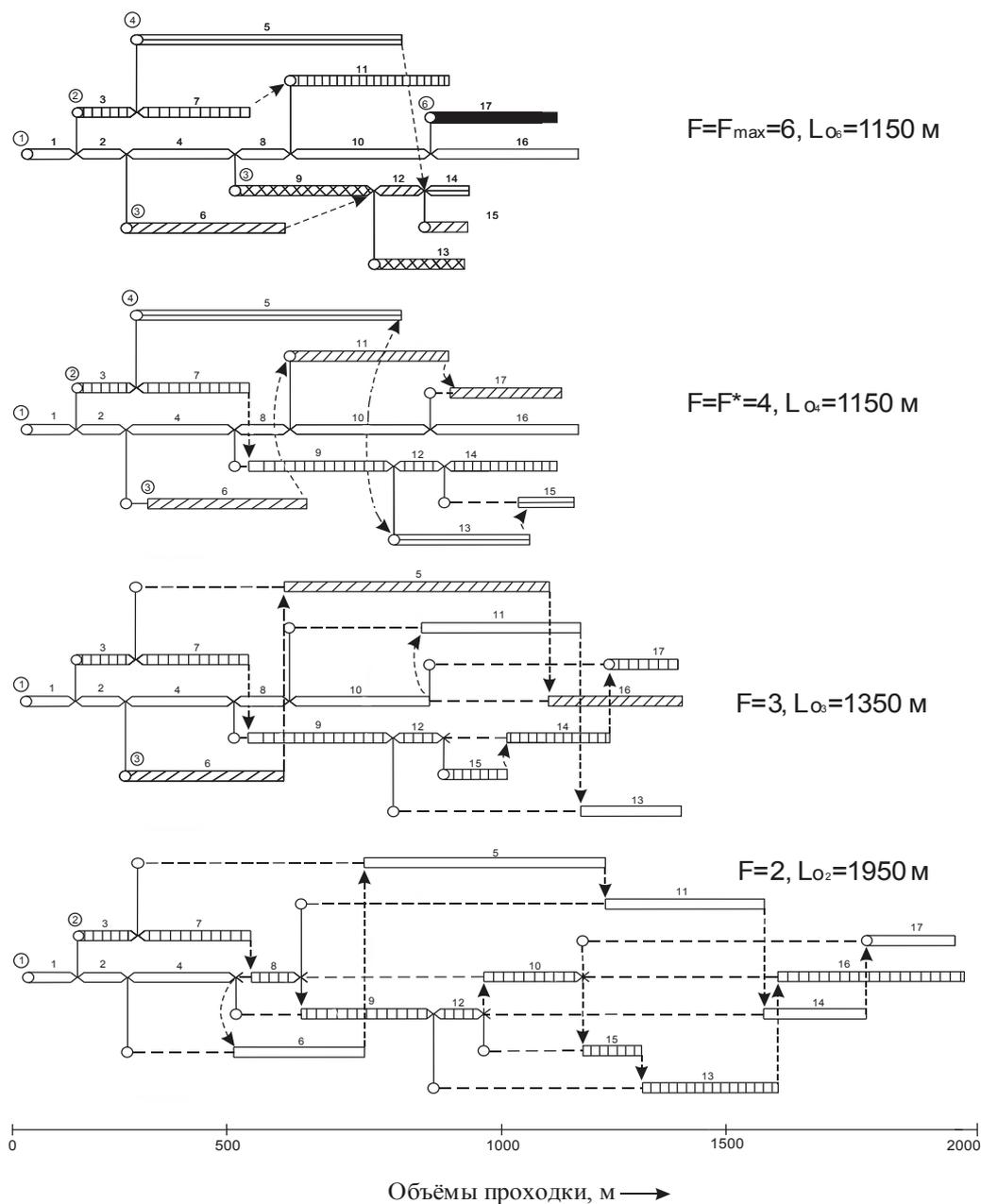


Рис. 2. Линейные диаграммы загрузки проходческих комплексов с переводом последних из забоя в забой

①, ..., ⑥ – номера комплексов;

□, □□, ▨, ▩, ⊠, ▮ – выработки, вошедшие в состав соответственно 1, 2, ... 6 ТП (сооружаемые с помощью 1, 2, ... 6 комплексов);

1, 2, ... 17 – номер сооружаемой выработки;

↑ – перевод комплекса в забой очередной выработки

ходческих комплексов, работающих на разведочном горизонте, равном  $F$ ),  $p/m^3$ .

Смысл ограничений становится ясным, если на линейных диаграммах загрузки оборудования показать взаимосвязь выработок (вертикальной чертой с кружком на конце) в проектируемой разведочной сети (рис. 2) и освободившегося оборудования (пунктирными стрелками) в забой следующей (согласно установленной очередности проходки) выработки (рис. 3).

В таблице для каждого из предложенных вариантов развития ГПР на рис. 3 (за исключением исходного) приведены соответствующие системы временных ограничений, смысл которых состоит в том, что:

- 1) время сооружения каждой технологической цепочки не превышало бы продолжительности проходки цепочки выработок максимальной длины, для данной линейной диаграммы загрузки оборудования (за вычетом времени про-



где  $j=1,2,\dots,n$ , рассчитываются минимально-допустимые темпы проходки выработок  $V_{T_{F_j}}$  соответствующих технологических цепочек ( $i=1,2,\dots,F$ ).

Следует заметить, что при расчете темпов проходки выработок каждой технологической цепочки необходимо учитывать два альтернативных варианта ведения горных работ:

- последовательная проходка выработок (комплект основного оборудования находится в каждом из действующих забоев);
- одновременная проходка выработок (комплект основного оборудования ежемесячно работает в двух и более забоях).

В соответствии с неравенствами (таблица), полученными в результате анализа линейных диаграмм загрузки проходческих комплексов (рис. 2), рассчитываем минимально допустимые темпы продвижения забоев каждой из выработок разведочной

сети и по одному забою в среднем, когда комплекс обслуживает в течение смены от одного до нескольких забоев.

### Выводы

Установлено, что для любой проектной схемы горизонтальных горных выработок существует свое предельное число предназначенных для их проходки комплексов оборудования, служащее своеобразной верхней границей, отсекающей при проектировании заведомо неэффективные варианты развития горно-проходческих работ.

Разработана теория оптимального разбиения системы запроектированных выработок на заданное число подмножеств — технологических потоков, критерием эффективности которых служит максимальная нагрузка каждого задействованного на проходке комплекса.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисович В.Т., Полежаев П.В., Тевзадзе Р.Н. Организация и планирование геологоразведочных работ. Управление геологоразведочным предприятием. — М.: Недра, 1987. — 332 с.
2. Лукьянов В.Г. Технология и организация проведения разведочных выработок. — М.: Недра, 1977. — 199 с.
3. Лыхин П.А. Механизация и организация проведения горизонтальных горных выработок. — М.: Недра, 1968. — 192 с.
4. Мухтаров Г.Г., Рогинский В.М. Проведение горизонтальных разведочных выработок. — М.: Недра, 1984. — 256 с.
5. Полежаев П.В., Лубенский Л.А. Сетевые методы планирования геолого-разведочных работ. — М.: Недра, 1968. — 80 с.
6. Попов Л.И. Организация горно-разведочных работ. — М.: Недра, 1979. — 143 с.
7. Рогов Е.И. Теория и методы моделирования производственных процессов в горном деле. — Алма-Ата: Наука, 1973. — 142 с.
8. Рогов Е.И., Шуруба М.Р. Выбор оптимальной технологии проведения горизонтальных горных выработок. — Алма-Ата: Наука, 1969. — 159 с.
9. Рогов Е.И. Системный анализ в горном деле. — Алма-Ата: Наука, 1976. — 208 с.
10. Цой С.И., Данилина Г.П. Синтез оптимальных систем горных выработок. — Алма-Ата: Наука, 1969. — 142 с.
11. Ахмет В.Х. Обоснование модели оптимизации параметров горно-разведочных объектов и выбор метода ее использования в практических целях / Техника и технология геолого-разведочных работ; организация производства. Экспресс-информ. — М.: ВИЭМС, 1982. — Вып. 2. — 31 с.
12. Ахмет В.Х., Грабчак Л.Г. Интенсификация горно-разведочного производства. — М.: Недра, 1987. — 248 с.
13. Ахмет В.Х., Питерский В.М., Грабчак Л.Г. Типизация, моделирование и комплексная оптимизация параметров горно-разведочных шахт и штолен / Техника и технология геолого-разведочных работ; организация производства. Обзор. — М.: ВИЭМС, 1984. — 61 с.
14. Ахмет В.Х. Оптимизация горно-разведочных процессов на основе типизации технологических подсистем геологоразведочных шахт / Техн. и техн. геол.-развед. работ; орг. пр-ва. Обзор. — М.: ВИЭМС, 1982. — 39 с.
15. Ахмет В.Х. Состояние и принципы совершенствования методов принятия решений при управлении горно-разведочным производством / Техника и технология геолого-разведочных работ; организация производства. Обзор. — М.: ВИЭМС, 1982. — 66 с.
16. Панкратов А.В. Повышение загрузки проходческого оборудования за счет совершенствования ведения горных работ на разведочных горизонтах: дис. ... канд. техн. наук. — Томск, 1999. — 281 с.

Поступила 22.03.2013 г.