

**The methods.** During systematization the factors that influence on the choice of equipment for the non-blasting rocks preparation due to action type the classification was developed, which allows selecting the necessary type of equipment in accordance with the mode of pit haulage equipment.

**Findings.** Prospective directions for the development of mining equipment for the non-blasting preparation rocks in the pit have been established, depending on the type of rocks and the geological-mining conditions of the deposit occurrence.

**The originality.** The dependences of the mining equipment productivity for rocks non-blasting preparation on the mining and geological parameters of the deposit have been established, which allow to recommend the necessary equipment depending on the required production capacity of the pit.

**Practical implications.** The obtained results can be applied at the choose equipment for non-blasting preparation according to operation which requires additional equipment for excavation, loading and haulage.

**Keywords:** *mining, non-blasting, mining equipment, systematization, hard rocks*

УДК 622.271

© Б.Е. Собко, В.В. Панченко, Д.В. Винивитин

## **ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ**

© B. Sobko, V. Panchenko, D. Vinivitin

## **SUBSTANTIATION OF TECHNOLOGICAL PRINCIPLES OF OPERATIONAL PLANNING OF SURFACE MINING**

**Цель работы** – технологическое обоснование принципов оперативного планирования открытых горных работ, как начального этапа создания его системной методологии и систем оперативного планирования для горно-геологических и горно-технических условий конкретных карьеров.

**Методика исследования** заключается в реализации системного подхода к формированию множества объектов выполнения технологических процессов в карьере, анализу их определяющих характеристик и особенностей, технологических закономерностей этих объектов, которые должны учитываться в методиках оперативного планирования, и формулировании принципов оперативного планирования открытых горных работ, как начального этапа создания его системной методологии.

**Результаты исследования.** Систематизировано множество объектов выполнения технологических процессов (операций) в карьере, для которых следует выполнять оперативное планирование. Произведено обоснованный выбор технологических закономерностей по ос-

новным объектам горной технологии, которые должны использоваться в методиках оперативного планирования открытых горных работ. Сформулированы требования к оперативному планированию открытых горных работ, которые вытекают из рекомендованных технологических закономерностей.

**Научная новизна.** Впервые обосновано и сформулировано технологические принципы оперативного планирования открытых горных работ, которые определяют для последующих этапов подходы к созданию системной методологии и систем оперативного планирования для горно-геологических и горно-технических условий конкретных карьеров.

**Практическое значение полученных результатов** заключается в обоснованном выборе технологических закономерностей по основным объектам горной технологии, которые должны использоваться в методиках оперативного планирования открытых горных работ, в обоснованных требованиях к оперативному планированию открытых горных работ и в рекомендованных подходах к созданию систем оперативного планирования для горно-геологических горно-технических условий конкретных карьеров.

**Ключевые слова:** *карьер, горные работы, оперативное планирование, технологические принципы, системная методология, системы оперативного планирования открытых горных работ*

**Введение и обоснование цели работы.** Практика свидетельствует, что необходимым условием эффективного оперативного планирования открытых горных работ является применение достаточно совершенного методического обеспечения. В рамках традиционной методологии планирования дальнейшее создание такого методического обеспечения практически невозможно из-за недостатков применяемой формализации функциональных задач (приоритет условий математического аппарата, а не технологических требований; ориентация на “объективные” математические модели), неспособности “объективных” математических моделей использовать пространственные данные и объекты и, как следствие, их проблематичная адекватность; недостаточного уровня реализации системного подхода (эмпирический характер формирования множества функциональных задач, недостаточная согласованность математических моделей по критериям оптимальности и ограничениям).

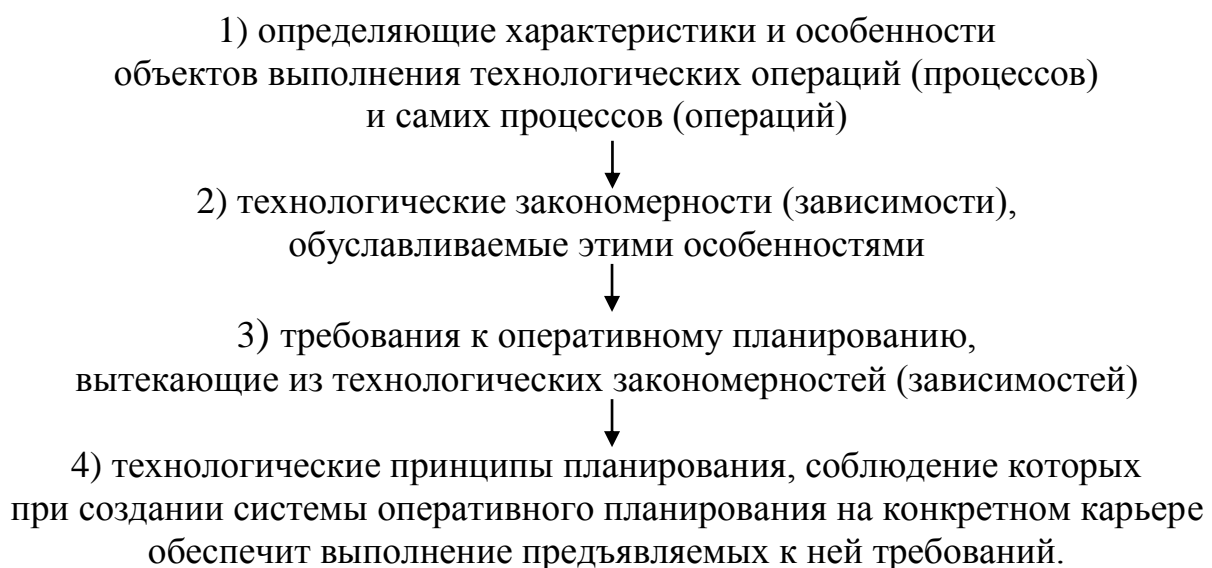
В связи с этим на современном этапе развития теории и практики планирования открытых горных работ проявляется тенденция к переходу от традиционной методологии к методологии, которую можно назвать системной, призванной реализовать достоинства традиционного, математического и геоинформационного подходов. Теоретической основой такой методологии, на наш взгляд, могут быть системный подход и теория принятия решений, а инструментарием – интеллектуальные системы подготовки принятия решений с использованием ресурсов геоинформационных систем.

Указанный переход к системной методологии планирования требует разработки всех системных вопросов, начиная от приведенной выше концепции и реализующих ее принципов до методик оперативного планирования с учетом конкретных горно-геологических и горно-технических условий карьера. В связи этим *целью данной работы* является обоснование технологических принципов оперативного планирования открытых горных работ. Актуальность именно

технологических принципов обуславливается приоритетностью технологических требований в концепции системной методологии.

**Изложение основного материала. Исходные положения.** Как уже отмечалось, необходимым условием эффективного оперативного планирования открытых горных работ является применение достаточно совершенного методического обеспечения. В свою очередь, уровень совершенства методического обеспечения зависит от полноты и достоверности учета определяющих характеристик и особенностей объектов выполнения технологических процессов (операций) и самих процессов (операций).

Исходя из этих предпосылок, в работе была принята следующая логическая последовательность исследований и выводов:



Практика оперативного планирования показывает, что наиболее существенными характеристиками и особенностями объектов выполнения технологических операций (процессов) в карьере является их *динамичность* и *пространственно-временная взаимосвязь*, а особенностью большинства процессов и операций – их *цикличность*.

По результатам системного анализа множества объектов выполнения технологических операций (процессов) в карьере они были разделены на две группы:

1) рабочие места – объекты, непосредственно в которых выполняются технологические операции и процессы;

2) объекты горной технологии – объекты, включающие совокупность технологически взаимосвязанных рабочих мест.

К первой группе были отнесены объекты таких классов:

а) забои уступов (выполняется технологический процесс выемочно-погрузочных работ, включающий операции выемки и погрузки горной массы);

б) места разгрузки горной массы по фронту сектора отсыпки на перегрузочных пунктах, отвалах и складах некондиционных и временно не перераба-

тываемых руд (выполняется операция отсыпки горной массы);

в) забой отгрузки на перегрузочных пунктах и складах (выполняется технологический процесс отгрузки горной массы, включающий операции выемки и погрузки).

В свою очередь, к объектам горной технологии были отнесены объекты таких классов:

а) уступы, заходки, выемочные блоки (выполняются выемочно-погрузочные работы, а также могут выполняться технологические процессы бурения и взрывания);

б) перегрузочные пункты (выполняется технологический процесс перегрузки горной массы, включающий операции отсыпки сектора склада и планирования поверхности, а также технологический процесс отгрузки сформированного сектора склада);

в) отвальные участки (выполняется технологический процесс отсыпки отвала, включающий операции отсыпки сектора участка и планирования поверхности);

г) склады некондиционных и временно не перерабатываемых руд (выполняется технологический процесс складирования руд, включающий операции отсыпки секторов участка хранения и планирования поверхности, а также технологический процесс отгрузки сформированных секторов склада (по мере необходимости));

д) вскрывающие и подготовительные выработки (выполняются технологические процессы бурения и взрывания, а также - выемочно-погрузочные работы).

Основным показателем динамичности указанных объектов была принята скорость их перемещения. Другие показатели динамичности рассматривались как функции скорости.

В качестве исходных технологических закономерностей (рис. 1, пункт 2) были приняты зависимости для определения скоростей рабочих забоев и уступов, которые в свое время были сформулированы как “законы формирования рабочей зоны карьера” [1, 2]:

- закон динамичности рабочих забоев (А.И. Узатис, 1843 г.; И.А. Кузнецов, 1932 г.);

- закон соразмерного развития горных работ на смежных рабочих уступах (И.А. Кузнецов, 1932 г. – частный случай; А.И. Арсентьев, 1973 г. - общее решение);

- закон взаимосвязи скоростей понижения горных работ и подвигания рабочих уступов (А.И. Арсентьев, 1958 г.).

**Принцип динамичности планирования.** Закон динамичности рабочих забоев представлен зависимостями:

$$v_3 = \frac{Q}{S}, \quad (1)$$

где  $v$  - скорость перемещения рабочего забоя, м/ед. времени;

$Q$  - производительность выемочного оборудования, м<sup>3</sup>/ед. времени;

$S$  - площадь забоя, м<sup>2</sup>;

или

$$v_3 = \frac{Q}{HA}, \quad (2)$$

где  $H$  - высота уступа, м;

$A$  - ширина заходки (по массиву или по развалу), м.

В этом же законе динамичности рабочих забоев были предложены формулы и для определения скорости подвигания рабочего уступа:

$$v = \frac{12Q}{(HL_{\text{бл}})}, \quad (3)$$

или

$$v = \frac{12Qn}{(HL_{\text{уст}})}, \quad (4)$$

где  $Q$  - производительности экскаватора, м<sup>3</sup>/месяц;

$L_{\text{бл}}$  - длина экскаваторного блока (фронта, отведенного для работы одному экскаватору), м;

$n$  - число экскаваторов, работающих на одном уступе;

$L_{\text{уст}}$  - длина фронта работ на рабочем уступе, м;

$v$  - годовая скорость перемещения фронта рабочего уступа, м/год.

Зависимости (1) - (4) формально выражают свойство динамичности рабочего забоя и уступа, т.е. только объектов классов а) первой и второй групп (другие объекты в данном законе не упоминаются). Очевидно также, что формулы упрощены (только валовая выемка; не оговорено, какая модель подвигания уступа принята: непрерывная или дискретная).

Тем не менее, несмотря на внешнюю простоту, из указанных зависимостей вытекает важное *технологическое требование* к оперативному планированию горных работ – учет зависимостей (1) - (4) в расчетных методиках оперативного планирования является обязательным. В противном случае, методика планирования не будет адекватной технологической сути объектов выполнения процессов (операций).

Соответственно сформулированному выше технологическому требованию, можно сформулировать *принцип динамичности* оперативного планирования горных работ в такой редакции: *рассчитываемые плановые параметры и показатели рабочих мест и объектов горной технологии должны задавать их необходимую пространственно-временную динамику.*

Таким образом, закон динамичности рабочих забоев, хотя и не охватывает все объекты выполнения процессов в карьере, является технологическим обоснованием принципа динамичности оперативного планирования, а сам принцип обеспечивает учет закономерностей, установленных законом.

**Принцип пространственно-временной согласованности планирования.**

Согласованность плановых параметров и показателей является обязательным принципом планирования любого производства. Но для открытой разработки этот принцип отображает дополнительное требование учета второй определяющей особенности объектов выполнения технологических операций (процессов) - технологической взаимосвязи динамики рабочих мест во времени и *пространстве*.

Как и в предыдущем случае, в качестве технологического обоснования этого принципа оперативного планирования служат “законы формирования рабочей зоны карьера”, но только не один из них, а два: закон соразмерного развития горных работ на смежных рабочих уступах и закон взаимосвязи скоростей понижения горных работ и подвигания рабочих уступов.

*Закон соразмерного развития горных работ на смежных рабочих уступах* представлен зависимостями:

$$B_i + t(v_i - v_{i+1}) \geq B_{0i} \quad (5)$$

или

$$v_i \geq v_{i+1} - \frac{1}{t}(B_i - B_{0i}). \quad (6)$$

где  $B_{0i}$  - минимальная расчетная ширина рабочей площадки  $i$ -го рабочего уступа;

$B_i$  - ширина рабочей площадки  $i$ -го рабочего уступа;и

$v_i, v_{i+1}$  - скорости подвигания соответственно  $i$ -го и нижележащего  $(i+1)$ -го уступов;

$t$  - период времени, необходимый для обеспечения равенства  $B_i = B_{0i}$ .

Зависимости (5), (6) формально выражают свойство *пространственно-временной взаимосвязи* объектов горной технологии первого класса (другие объекты горной технологии в данном законе не упоминаются). Формулы сравнительно очевидны: перемещение уступов рабочей зоны взаимосвязано, так как на каждом из них всегда необходимо иметь рабочие площадки определенной ширины для размещения горного оборудования и коммуникаций. Для нормальной работы оборудования на каждом уступе должны быть площадки шириной  $B_i$ , не меньшей минимальной расчетной величины, т.е. должно выполняться условие  $B_i \geq B_{0i}$ .

Для планирования открытых горных работ из закона соразмерного развития горных работ на смежных рабочих уступах тоже следует важное *технологическое требование* учитывать в расчетных методиках оперативного планирования зависимости (5), (6), например, при расчете плановых объемов выемки горной массы на смежных уступах, регулировании скоростей подвигания уступов и прогнозировании их положения для заданных интервалов планирования.

Аналогичное технологическое требование к методикам планирования горных работ вытекает из еще одного “закона формирования рабочей зоны карье-

ра” - закона взаимосвязи скоростей понижения горных работ и подвигания рабочих уступов (для объектов горной технологии первого и пятого классов).

Известно, что поддержание (регулирование) производственной мощности карьера, разрабатывающего крутопадающее месторождение, требует периодического вскрытия и подготовки новых горизонтов, т.е. углубки горных работ. Для этого необходимо определенное подвигание уступов на бортах карьера для создания нужных размеров дна карьера. Отсюда следует, что скорость углубки дна и скорость подвигания уступов взаимосвязаны.

Взаимосвязь этих скоростей описывается законом взаимосвязи скоростей понижения горных работ и подвигания рабочих уступов:

$$h_r = \frac{v}{ctg\varphi \pm ctg\beta} \quad (7)$$

где  $h_r$  - вертикальная скорость понижения горных работ, м;

$v$  - горизонтальной скорости подвигания рабочих уступов, м;

$\varphi$  - угол откоса рабочего борта;

$\beta$  - угол направления углубки карьера.

Знак плюс в знаменателе ставится при направлении подвигания уступов со стороны лежащего бока, а минус - при направлении подвигания уступов со стороны висячего бока.

Обобщая технологические требования к методикам планирования горных работ, вытекающие из двух последних законов, можно сформулировать *принцип согласованности* плановых параметров и показателей: *рассчитываемые плановые параметры и показатели динамики взаимосвязанных рабочих мест и объектов горной технологии (процессов) должны быть согласованы пространственно-временной увязкой.*

Таким образом, закон соразмерного развития горных работ на смежных рабочих уступах, хотя и не охватывает все объекты выполнения процессов в карьере, является технологическим обоснованием принципа пространственно-временной согласованности планирования, т.е. плановых параметров и показателей, а сам принцип обеспечивает учет закономерностей, установленных этим законом.

**Принцип согласованной цикличности планирования.** Как известно, по характеру протекания технологических процессов во времени различают *непрерывные* и *дискретные* процессы, а также их комбинацию – *дискретно-непрерывные* процессы.

В открытой разработке месторождений, в зависимости от горно-геологических, горно-технических и других условий имеют место технологические процессы всех указанных видов. При этом дискретные процессы, в подавляющем большинстве случаев, представлены их разновидностью - *циклическими* процессами (характерная особенность – сравнительно регулярная повторяемость технологических операций). Соответственно, различают *циклическую, цик-*

лично-поточную и поточную технологии открытой разработки месторождений.

Циклическими являются практически все технологические процессы (операции) при разработке железорудных месторождений: буровые, взрывные и выемочно-погрузочные работы, транспортирование автосамосвалами и железнодорожными составами, складирование и отвалообразование; текущее вскрытие и подготовка очередного горизонта.

Определяющее свойство (особенность) цикличности технологических процессов (операций) в [1] входило в “законы формирования рабочей зоны карьера”, а в [2] автор исключил его из состава “законов”. Тем не менее, это свойство (особенность) у технологических процессов (операций) есть и проявляется в определенных технологических закономерностях.

Например, на рабочем уступе каждому экскаватору обычно отведен определенный фронт работ - экскаваторный блок  $L_{\text{бл}}$ . После того, как экскаватор пройдет длину блока, он начинает обрабатывать следующую заходку (следующий цикл). Таким образом фронт уступа периодически “перескакивает” на ширину экскаваторной заходки  $A$ . Этот период (цикл)  $t_3$  можно оценить по выражению:

$$t_3 = \frac{L_{\text{бл}} H A}{Q} \quad (8)$$

где  $H$  - высота уступа, м;

$Q$  - эксплуатационная производительность экскаватора, м<sup>3</sup>/ед. времени.

Продолжительность этих циклов в практике несколько колеблется от цикла к циклу, но основная закономерность сохраняется.

Аналогично при обработке крутопадающего месторождения постоянной мощности продолжительность (цикл) отработки добычной зоны на рабочем уступе  $t_{\text{д.з}}$  можно определить как:

$$t_{\text{д.з}} = \frac{M}{v} = \frac{M H L_{\text{бл}}}{Q}, \quad (9)$$

где  $M$  - горизонтальная мощность рудного тела, м;

$v$  - скорость подвигания уступа, м/ед. времени.

Подобные закономерности (зависимости) были определены и для ряда других технологических процессов.

Планирование любого производства всегда циклично, т.к. среди факторов декомпозиции при формировании множества задач планирования, как правило, есть *временной* фактор. Поэтому на каждом временном уровне появляется *системный* цикл планирования, равный *интервалу* планирования этого уровня (результат декомпозиции по временному фактору). Минимальный системный цикл оперативного планирования – смена.

Для открытой разработки особое значение в аспекте методик оперативного планирования приобретают также *технологических* циклы процессов (операций), выполняемых по объектам горной технологии (выше приведены упрощенные примеры определения таких циклов (8), (9) для некоторых объектов



горной технологии первого и пятого классов). Эта особенность *требует* выполнения еще одного планирования - по объектам горной технологии с технологическими циклами, равными продолжительностям конкретных технологических процессов (они, как правило, разной величины и отличаются от системных). В конечном итоге *требуется* временное согласование обоих видов планирования путем привязки плановых параметров и показателей, рассчитанных для технологических циклов, к соответствующим системным циклам. Оба указанные требования к оперативному планированию, вместе с закономерностями, (8), (9) и подобными им, обосновывают *принцип согласованной цикличности планирования*:

Обобщая требования двух предыдущих принципов к методикам планирования горных работ, можно сформулировать *принцип цикличности* расчета плановых параметров и показателей: *рассчитываемые в пределах технологических циклов плановые параметры и показатели объектов горной технологии и выполняемых на них процессов должны быть согласованы временной увязкой с плановыми параметрами и показателями системных циклов планирования*.

#### **Выводы.**

1. Переход к системной методологии оперативного планирования открытых горных работ требует разработки всех системных вопросов, начиная с принципов (технологических и системных) создания системы оперативного планирования и заканчивая комплексом методик расчета плановых параметров и показателей с учетом конкретных горно-геологических и горно-технических условий конкретного карьера.

2. Технологические принципы должны основываться на определяющих характеристиках и особенностях объектов выполнения технологических процессов (операций): динамичности рабочих мест и технологической взаимосвязи динамики рабочих мест во времени и пространстве. В первом приближении, они описываются, так называемыми, законами формирования рабочей зоны карьера и закономерностями цикличности технологических процессов.

3. Реализация принятой в данной работе логической последовательности исследования: от определяющих характеристик и особенностей к закономерностям технологических процессов и формулировке требований к оперативному планированию горных работ, позволила впервые обосновать технологические принципы его создания - принцип динамичности планирования, принцип пространственно-временной согласованности планирования, принцип согласованной цикличности планирования.

4. Обоснованные технологические принципы оперативного планирования открытых горных работ имеют определенную научно-практическую значимость, поскольку определяют конкретные способы реализации системной методологии на последующих этапах создания системы оперативного планирования горных работ.

### Перечень ссылок

1. Арсентьев, А.И. (1986). Законы формирования рабочей зоны карьера Л. ЛГИ. 54.
2. Арсентьев, А.И. (2002). Производительность карьеров. – СПб. Санкт-Петербургский горный ин-т. 85.

### АНОТАЦІЯ

**Мета роботи** – технологічне обґрунтування принципів оперативного планування відкритих гірничих робіт, як початкового етапу створення його системної методології та систем оперативного планування для гірничо-геологічних та гірничо-технічних умов конкретних кар'єрів.

**Методика дослідження** полягає у реалізації системного підходу до формування множини об'єктів виконання технологічних процесів в кар'єрі, аналізу їх визначаючих характеристик та особливостей, технологічних закономірностей цих об'єктів, що повинні враховуватись в методиках оперативного планування, і формулювання принципів оперативного планування відкритих гірничих робіт, як початкового етапу створення його системної методології.

**Результати дослідження.** Систематизовано множини об'єктів виконання технологічних процесів (операцій) в кар'єрі, для яких слід виконувати оперативне планування. Виконано обґрунтований відбір технологічних закономірностей по основним об'єктам гірничої технології, які повинні використовуватись в методиках оперативного планування відкритих гірничих робіт. Сформульовано вимоги до оперативного планування відкритих гірничих робіт, що витікають з рекомендованих технологічних закономірностей.

**Наукова новизна.** Вперше обґрунтовано і сформульовано технологічні принципи оперативного планування відкритих гірничих робіт, що визначають для наступних етапів підходи до створення системної методології та систем оперативного планування для гірничо-геологічних та гірничо-технічних умов конкретних кар'єрів.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у обґрунтованому відборі технологічних закономірностей по основним об'єктам гірничої технології, які повинні використовуватись в методиках оперативного планування відкритих гірничих робіт, в обґрунтованих вимогах до оперативного планування відкритих гірничих робіт та у рекомендованих підходах до створення систем оперативного планування для гірничо-геологічних та гірничо-технічних умов конкретних кар'єрів.

**Ключові слова:** *кар'єр, гірничі роботи, оперативне планування, технологічні принципи, системна методологія, системи оперативного планування відкритих гірничих робіт*

### ABSTRACT

**Purpose.** Technological substantiation of the principles of operational planning of surface mining operations as an initial stage in the development of its system methodology and operational planning systems for mining and geological conditions of specific mines.

**The methods of the research** is to implement a systematic approach to the formation of a set of objects for the performance of technological processes in the mine, the analysis of their determining characteristics and features, the technological regularities of these objects that must be taken into account in operational planning methods, and the formulation of operational planning principles of surface mining as an initial stage in the development its system methodology.

**Findings.** Set of objects for performing technological processes (operations) in the mine, which operational planning should be performed is systematized. A reasonable choice of technological regularities for the main objects of mining technology, which should be used in the operational planning methods of surface mining, is made. Requirements for the operational planning of surface mining operations, which follow from the recommended technological regularities, are formulated.

**The originality.** For the first time, the technological, which determine the approaches to the creation of system methodology and operational planning systems for the mining and geological conditions of specific mines for subsequent stages, principles of operational planning for surface mining are substantiated and formulated.

**Practical implications** of the obtained results is based on a justified choice of technological regularities in the mining technology main objects, which should be used in the methods of operational planning of surface mining operations, in justified requirements for the operational planning of surface mining and in the recommended approaches to the creation of operational planning systems for mining and geological conditions of specific mines.

**Keywords:** *surface mine, mining, operational planning, technological principles, system methodology, operational planning systems for surface mining*

УДК 622.271.3

© О.П. Стрілець, Г.Д. Пчолкін, Д.С. Жмура, М.Р. Мекшун

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ  
ВІДПРАЦЮВАННЯ УСТУПУ ДРАГЛАЙНОМ З ОДНОГО  
ПОЛОЖЕННЯ З ПЕРЕМІЩЕННЯМ ҐРУНТУ НА КУТ ДО 220 ГРАДУСІВ  
ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ ПОЛОГИХ РОДОВИЩ**

© O. Strilets, G. Pchelkin, D. Shmura, M. Mekshun

**INVESTIGATION AND SUBSTANTIATION OF EFFICIENCY OF  
WORKING OUT OF A DRAFT WITH DRAGLINE FROM ONE POSITION  
WITH MOVING OF A GROUND TO AN ANGLE TO 220 DEGREES AT  
WORKING OUT OF SMOOTH DEPOSITS**

**Мета дослідження** - Встановити залежність змінної продуктивності драглайна на швидкість просування та підготовки корисної копалини до виймання та обґрунтувати раціональні параметри схеми роботи драглайна під задані вимоги відпрацювання ділянки Західна-1.

**Методика.** Аналіз і узагальнення науково-технічної літератури і практичних даних, експериментальні дослідження роботи драглайнів на різних технологічних схемах, методи обробки результатів.