

УДК 622.271.326: 622.271.333

Яковлев Виктор Леонтьевич

член-корр. РАН, доктор технических наук,
профессор, главный научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН,
620075 г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: yakovlev@igduran.ru

Саканцев Георгий Григорьевич

доктор технических наук,
старший научный сотрудник
лаборатории открытой геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН

Яковлев Алексей Викторович

кандидат технических наук,
заведующий лабораторией
открытой геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН

Переход Татьяна Максимовна

ведущий инженер
лаборатории открытой геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: lubk_igd@mail.ru

РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА ГОРНЫХ РАБОТ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ БОЛЬШОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМБИНИРОВАННЫХ ВРЕМЕННО НЕРАБОЧИХ БОРТОВ*

Аннотация:

Установлено, что одним из наиболее эффективных способов регулирования режима горных работ глубоких карьеров большой протяженности является применение комбинированных временно нерабочих бортов, разработанных в Институте горного дела УрО РАН, которые характеризуются эффективными способами их формирования и расконсервации, включая благоприятные условия вскрытия и безопасности горных работ по условиям камнепада. Разработан и проведен способ расчета целесообразных параметров бортов – их высота и ширина отдельных ступеней. Основными факторами, определяющими экономическую эффективность разработки месторождений с применением временно нерабочих бортов разработанной конструкции, являются глубина карьера, число ступеней и скорость понижения горных работ при его расконсервации. Экономический эффект в виде снижения дисконтированных затрат на разработку месторождения в результате применения данного способа регулирования режима горных работ при значительной глубине карьеров может достигать 3,5 – 4 %.

Ключевые слова: глубокие карьеры, режим горных работ, временно нерабочие борта, способ формирования и расконсервации временно нерабочих бортов, способ расчета их параметров, камнезащитные площадки

DOI: 10.25635/2313-1586.2020.01.018

Yakovlev Viktor L.

Corresponding Member of RAS,
Doctor of Engineering, Professor,
Chief Research Worker,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg, 58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: yakovlev@igduran.ru

Sakantsev Georgy G.

Doctor of Engineering, Senior Research Worker,
Laboratory of open geotechnology,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS.

Yakovlev Aleksey V.

Candidate of Technical Sciences,
Head of Laboratory of open geotechnology,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS.

Perekhod Tatyana M.

Leading Engineer,
Laboratory of open geotechnology,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: lubk_igd@mail.ru

REGULATION OF THE MINING MODE ON DEEP QUARRIES OF BIG EXTENTION WITH THE USE OF COMBINED TEMPORARILY NON-WORKING BOARDS

Abstract:

It is established that one of the most effective ways to regulate the mode of mining operations in deep long-range quarries is the use of combined temporarily non-working boards is the one, developed by the Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, these boards are characterized by effective methods of their formation and conservation, including favorable conditions for opening and safety of mining operations under rock-fall conditions. A method for calculating the appropriate parameters of boards – their height and width of separate benches – has been carried out. The main factors that determine the economic efficiency of field development with the use of temporarily non-working boards of the developed design are the depth of the quarry, the number of benches, and the rate of lowering of mining operations during its deconservation. The economic effect of reducing the discounted costs of field development as a result of applying this method of regulating the mode of mining operations at a significant depth of quarries can reach 3.5 – 4 %.

Keywords: deep quarries, mining mode, temporarily non-working sides, method of formation and re-preservation of temporarily non-working quarry boards, method of calculation of their parameters, stone-protective platforms

* Статья подготовлена в рамках Госзадания № 075-00581-19-00, тема № 0405-2019-0005

Одним из основных параметров, определяющим эффективность открытой разработки месторождений полезных ископаемых, является режим горных работ. Значительное снижение капитальных вложений и уменьшение расходов будущих периодов, производимых в наиболее тяжелый период отработки глубоких карьеров, обеспечивают, как правило, перераспределение объемов вскрышных работ во времени, отнесение их на более поздние периоды.

Один из способов регулирования режима горных работ основан на применении временно нерабочих бортов [1, 2]. Между углом наклона временно нерабочего борта, его высотой, скоростью расконсервации и определяющими их факторами, в том числе способом вскрытия целика, существует достаточно жесткая связь [2 – 5]. Несоблюдение этой закономерности приводит к невозможности своевременного разноса целиков: к сползанию их в рудную зону, сокращению вскрытой рудной площади и, как следствие, к снижению производительности карьера по руде. Решать вопрос регулирования режима горных работ путем формирования карьерного пространства зонами концентрации предложено в работе [6]. Однако этот способ является довольно сложным и не дает возможности определить его эффективность, так как требует сравнения с базовым, являющимся по исполнению не менее трудоемким.

Необходимость временной консервации бортов и отдельных уступов рабочей зоны карьеров вызвана тем, что на большинстве глубоких рудных и нерудных карьеров протяженность фронта горных работ составляет десятки километров. Держать на всем протяжении фронта рабочие площадки нормальной ширины представляется явно нецелесообразным, тем более что горные работы ведутся на небольшой части фронта.

Технология ведения горных работ с временной консервацией бортов и отдельных уступов создала возможность переноса значительных объемов вскрыши на более поздние периоды. В результате улучшаются календарные графики горных работ, происходит уменьшение текущего коэффициента вскрыши в первые годы работы карьеров, снижаются пиковые объемы вскрышных работ. Такое перераспределение объемов вскрыши по годам разработки ведет к снижению капитальных вложений на приобретение горно-транспортного оборудования, создания ремонтной базы, строительства транспортных коммуникаций и других объектов производственного и непромышленного назначения.

Основной причиной, ограничивающей область и эффективность применения временно нерабочих бортов, является нерациональная конструкция временно нерабочих бортов, сложность, а зачастую просто невозможность решения вопросов вскрытия и обеспечения безопасности по условиям камнепада при осуществлении работ по их расконсервации.

В работе [7] проведена разработка способа формирования и расконсервации временно нерабочих бортов, обеспечивающего повышение их эффективности, включая увеличение объемов переноса вскрышных работ на последующие периоды, благоприятные условия для вскрытия рабочих горизонтов и обеспечения их грузотранспортной связи с поверхностью, а также обеспечения безопасности горных работ по условиям камнепада. Установлено, что одним из эффективных способов регулирования режима горных работ глубоких карьеров большой протяженности является применение многоступенчатых крутонаклонных временно нерабочих бортов, сущность которых заключается в том, что в процессе развития карьерного пространства со стороны всяческого бока начинают формировать временно нерабочий борт, состоящий из ряда располагаемых одна над другой крутонаклонных ступеней, на которых размещают вскрывающие выработки, а в основании устраивают камнезащитные площадки для защиты нижней части рабочей зоны от камнепада при последующей расконсервации этих бортов. После завершения формирования всех запланированных крутонаклонных ступеней временно нерабочего борта приступают к их расконсервации, проводимой горизонтальными слоями с применением гидравлических экскаваторов типа «обратная лопата».

Однако развитие техники и технологии ведения горных работ последних лет привело к снижению сравнительной эффективности применения временно нерабочих бортов глубоких карьеров. Это обусловлено совершенствованием общепринятых систем разработки, увеличением их параметров благодаря применению более мощной техники. Все это требует дальнейшего развития способов применения временно нерабочих бортов, повышения их эффективности.

Как показал анализ существующих способов ведения горных работ, основным направлением повышения эффективности этой технологии должна стать разработка способов снижения быстрого «сползания» временно нерабочих бортов в рудную зону и дополнительного разноса предельных бортов карьеров, связанного с применением временно нерабочих бортов, а также совершенствование способов вскрытия консервируемых участков бортов.

Одним из наиболее действенных способов повышения эффективности освоения глубокозалегающих месторождений может стать разработанный способ открытой разработки с применением комбинированных временно нерабочих бортов, направленный на уменьшение «сползания» консервируемых уступов в рудную зону [8].

Применение комбинированных временно нерабочих бортов заключается в том, что в процессе развития карьерного пространства рабочий борт карьера со стороны лежащего бока месторождения при подходе к конечному контуру карьера превращают в предельный и на нем размещают вскрывающие выработки, служащие для грузотранспортной связи рабочих горизонтов с поверхностью. Со стороны висящего бока одновременно с развитием горных работ начинают формировать многоступенчатый комбинированный временно нерабочий борт (рис. 1), состоящий из расположенных одна на другой крутонаклонных ступеней, на которых размещают вскрывающие выработки, а в их основании устраивают камнезащитные площадки, ширину которых принимают из расчета размещения падающих на них сверху камней при последующей их расконсервации (рис. 2). Крутонаклонные ступени выполняются шириной, обеспечивающей возможность размещения на них падающей сверху взорванной горной массы, камнезащитных насыпей с установленными на них гидравлическими экскаваторами типа «обратная лопата» и подъездных дорог для подачи транспортных средств под погрузку горной массы.

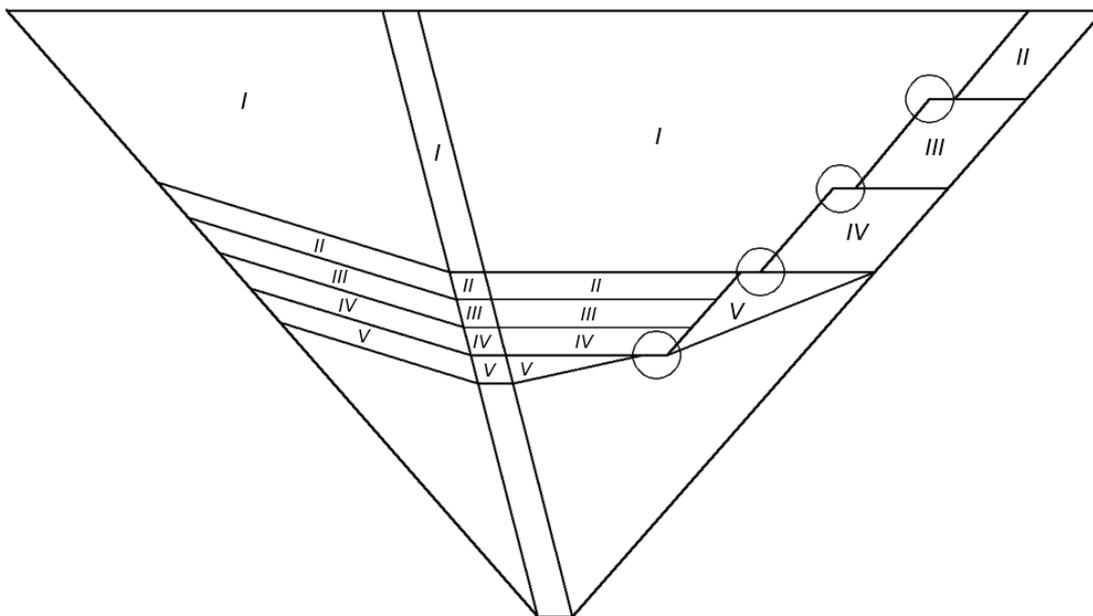


Рис. 1 – Конструкция временно нерабочего борта

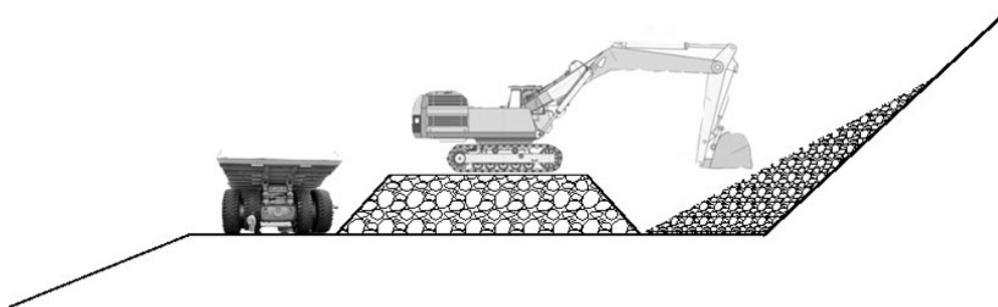


Рис. 2 – Камнезащитная площадка

Расконсервацию и отработку крутонаклонных ступеней ведут последовательно сверху вниз горизонтальными слоями с применением карьерных экскаваторов. При этом расконсервацию верхних крутонаклонных ступеней совмещают с формированием нижней крутонаклонной ступени, которое ведут одновременно с отработкой прилегающих к ней объемов полезного ископаемого. Возможность расконсервации и отработки нижней крутонаклонной ступени без снижения производительности карьера по полезному ископаемому обеспечивают путем резервирования полезного ископаемого в добычной зоне карьера в необходимых для этого объемах. При этом для проведения вскрывающих выработок и повышения безопасности работ при отработке приконтурных объемов предусматривают применение гидравлических экскаваторов типа «обратная лопата». Последовательность ведения горных работ в карьере с отработкой отдельных объемов указана римскими цифрами (I, II, III, IV).

Параметры временно нерабочих бортов зависят от горно-геологических и горно-технических условий, в частности от размеров месторождения и отдельной залежи, параметров карьера (глубины, протяженности и т.д.). Главными параметрами временно нерабочего борта являются его высота, ширина, угол наклона, а для вытянутых месторождений еще длина. Их взаимосвязь проявляется через величину A (рис. 3).

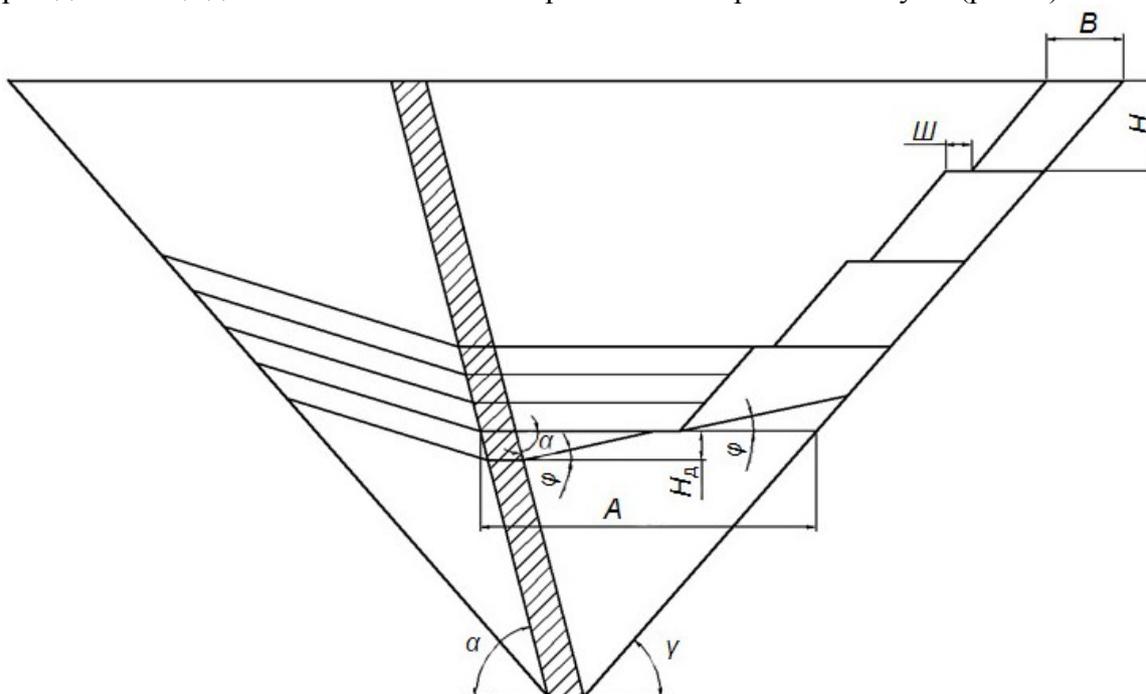


Рис. 3 – Схема крутонаклонных временно нерабочих бортов

С одной стороны:

$$A = H_d (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\varphi) + n\text{Ш} + B, \text{ м}; \quad (1)$$

С другой стороны:

$$A = (H_k - nH) (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\gamma), \text{ м}. \quad (2)$$

При определении параметров временно нерабочих бортов также должно быть выдержано условие, обеспечивающее увеличение скорости понижения работ при расконсервации временно нерабочих бортов:

$$H_d = \frac{n_1 H h_d}{h_b} \rightarrow n_1=1 \rightarrow H_d = \frac{H h_d}{h_b}, \text{ м}. \quad (3)$$

Приравняв правые стороны выражений (1) и (2) и подставив вместо H_d правую часть выражения (3), получим новое выражение, отражающее взаимосвязь между всеми задействованными факторами:

$$\frac{H h_d}{h_b} (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\varphi) + n\text{Ш} + B = (H_k - nH) (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\gamma), \text{ м}. \quad (4)$$

Разрешив выражение (4) относительно B , получим формулу для определения ширины верхней части целика:

$$B = (H_k - nH)(\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\gamma) - n\text{Ш} - \frac{H h_d (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\varphi)}{h_b}, \text{ м}, \quad (5)$$

где H_k – конечная глубина карьера, м; B – ширина верхней части целика, м; H – высота отдельных частей слоев целика, м; Ш – ширина камнезащитной площадки, м; n – количество отдельных ступеней целика, шт.; H_d – высота зоны добычных работ, обеспечивающая расконсервацию нижних ступеней, м; γ – угол погашения конечного борта карьера, град.; φ – угол наклона рабочего борта, град.; α – угол падения рудного тела, град.; h_d – скорость понижения добычных работ, м/год; h_b – скорость расконсервации временно нерабочего борта, м/год.

Экономический эффект от применения временно нерабочих бортов \mathcal{E} , представляющий снижение дисконтированных затрат на вскрышные работы в результате перераспределения их во времени выемки, определяется по выражению

$$\mathcal{E} = \sum_{t=0}^{t=T} V_t \cdot B_t - \sum_{t=0}^{t=T} V_t^n \cdot B_t, \text{ руб.}, \quad (6)$$

где V_t – годовые объемы вскрышных работ до применения временно нерабочих бортов, м³;

V_t^n – годовые объемы вскрышных работ после применения временно нерабочих бортов, м³;

B_t – коэффициент приведения разновременных затрат

$$B_t = \frac{1}{(1+E)^t}, \quad (7)$$

где E – норма дисконта.

Однако способ определения экономической эффективности временно нерабочего борта предлагаемой конструкции может быть значительно упрощен, что позволит с наименьшими затратами труда находить наиболее эффективные решения. Для этого по-

иск достаточно ограничить только периодом от начала консервации борта до его расконсервации, одновременно ограничивая решения только объемами целика, ограниченного со стороны массива горных пород конечными границами карьера, а со стороны выработанного пространства – временно нерабочим бортом. Консервируемые объемы можно определить в виде суммы объемов отдельных ступеней, определяемых из расчета на 1 пог. м длины карьера по формуле

$$V_c = BH + HШ(K-1), \text{ м}^3/\text{пог. м} \quad (8)$$

где K – порядковый номер ступени.

При этом объем самой нижней ступени определяется с учетом угла наклона ее основания, равного углу наклона рабочего борта карьера φ :

$$V_c = BH + HШ(K-1) - \frac{0,5(B + Ш(K-1))^2}{\text{ctg}\varphi - \text{ctg}\gamma}, \text{ м}^3/\text{пог. м.} \quad (9)$$

Момент начала формирования временно нерабочего борта карьера, считая от начала его разработки, определяется по выражению:

$$T = \frac{H_K(\text{ctg}\gamma + \text{ctg}\alpha) - B}{h_d \text{ctg}\varphi} + 1, \text{ год.} \quad (10)$$

Скорость формирования временно нерабочего борта следует принимать исходя из соответствия ее скорости понижения добычных работ h_d . Скорость расконсервации должна приниматься из условия (3), являющегося основой определения ширины верхней ступени борта. Годовые объемы консервации определяются как частное от деления объемов отдельных ступеней на величину h_d и обозначаются знаком «минус», а годовые объемы расконсервации – как частное от деления этих объемов на скорость расконсервации h_b и обозначаются знаком «плюс». Сопоставляя объемы с разными знаками, получим информацию, необходимую для оценки эффективности исследуемого варианта. Поясним это на примере определения экономической эффективности применения временно нерабочего борта в условиях протяженного карьера глубиной 600 м. Угол предельного борта карьера $\gamma = 45$ град, рабочего борта $\varphi = 16$ град, угол падения рудного тела $\alpha = 90$ град, себестоимость вскрышных работ $C_b = 100$ руб./м³, дисконтированные затраты на удаление вскрышных пород в базовом варианте 9374200 руб., количество ступеней временно нерабочего борта исследуемого варианта $n = 4$, высота ступеней $H = 60$ м, скорость понижения добычных работ $h_d = 20$ м/год, скорость расконсервации временно нерабочего борта $h_b = 60$ м/год, ширина камнезащитных площадок $Ш = 50$ м.

По формуле (5) определяем ширину верхней ступени временно нерабочего борта:

$$B = (600 - 4 \cdot 60) \cdot 1,001593 - 4 \cdot 50 - \frac{60 \cdot 20 \cdot 3,49}{60} = 90 \text{ м.}$$

Год начала формирования временно нерабочего борта в соответствии с формулой (10):

$$T = \frac{(600 - 90)}{20 \text{ctg}16^\circ} + 1 = 8 \text{ лет.}$$

По формуле (8) определяем объем первой – третьей (верхних) ступеней, а объем нижней ступени определяем с учетом наклона и основания по формуле (9). Данные расчета приведены в табл. 1.

В соответствии с полученными объемами ступеней, временем начала консервации и скоростями консервации и расконсервации получим перераспределение объемов вскрышных работ по годам разработки месторождения, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

Перераспределение объемов вскрышных работ во времени и уменьшения дисконтированных затрат в результате применения временно нерабочего борта

Год эксплуатации	Объемы консервируемой вскрыши, м ³	Объемы расконсервируемой вскрыши, м ³	Коэффициент дисконтирования, B_t	Дисконтированные затраты, руб.	
				консервируемых объектов	расконсервируемых объектов
8	-1800		0,467	-83971	
9	-1800		0,424	-76338	
10	-1800		0,386	-69398	
11	-2800		0,350	-98138	
12	-2800		0,319	-89217	
13	-2800		0,290	-81106	
14	-3800		0,263	-100066	
15	-3800		0,239	-90969	
16	-3800		0,218	-82699	
17	-2800	+5400	0,198	-55397	106836
18		+8400	0,180		151081
19		+11400	0,164		186399
20		+2800	0,149		41620
Итого:	-28000	+28000		-827298	485937

Примечание. Знак «минус» – консервация (снижение дисконтированных затрат), «плюс» – расконсервация (увеличение дисконтированных затрат).

При себестоимости вскрышных работ $C_b = 100$ руб./м³ применение временного нерабочего борта приводит к снижению дисконтированных затрат 341361 тыс. руб. Соответственно, экономический эффект от его применения при принятых исходных данных составит $357780 \times 100 \% : 9374200 = 3,64 \%$.

Заключение

1. Эффективность временно нерабочих бортов глубоких карьеров может быть повышена в результате применения комбинированных временно нерабочих бортов, разработанных в Институте горного дела УрО РАН.

2. Основными факторами, определяющими эффективность применения предложенной конструкции временно нерабочих бортов, являются конечная глубина карьера, число и высота отдельных ступеней и скорость расконсервации. При глубине карьеров 500 – 600 м эффективность временно нерабочих бортов может достигать 3,64 %.

3. Большим достоинством рассмотренного способа временной консервации бортов является простота определения его параметров и экономической эффективности.

Литература

1. Ржевский В.В. Режим горных работ при открытой добыче угля и руды / В.В. Ржевский. – М.: Углетехиздат, 1957. – 200 с.

2. Рубинштейн С.Б. Методика расчета параметров временных целиков / С.Б. Рубинштейн // Проектирование предприятий горнорудной промышленности: тем. сб. науч. тр. - № 1 / Гипромет. - М., 1977. - С. 70 – 73.

3. Линев В.П. Определение параметров рабочей зоны карьера с участками временно нерабочего борта / В.П. Линев // Горный журнал. – 1986. – № 5. – С. 15 – 17.
4. Хохряков В.С. Открытая разработка месторождений этапами / В.С. Хохряков // Изв. вузов. Горный журнал. – 1965. – № 19. – С. 15 – 26.
5. Церенщиков П.Т. Рациональное расположение временных бортов карьеров / П.Т. Церенщиков // Изв. вузов. Горный журнал. – 1967. – № 5. – С. 14 – 21.
6. Проектирование горных работ при формировании карьерного пространства зонами концентрации: учебное пособие / В.А. Галкин, В.Н. Сидоренко, С.Е. Гавришев, А.Н. Носов. - Магнитогорск: Магнитогорский горно-металлургический институт им. Г.И. Носова, 1991. – 57 с.
7. Саканцев Г.Г. Регулирование режима горных работ глубоких карьеров большой протяженности с применением многоступенчатых крутонаклонных временно нерабочих бортов / В.Л. Яковлев, Г.Г. Саканцев, А.В. Яковлев, Т.М. Переход // Проблемы недропользования. - 2018. - № 4. – С. 5 – 12. – DOI: 1025635/2313-1586.2018.04.005.
8. Пат. 2685587 Российская Федерация, МПК E21C 41/26. Способ открытой разработки крутопадающих месторождений с применением комбинированных временно нерабочих бортов / Г.Г. Саканцев, Т.М. Переход, А.В. Яковлев, В.Л. Яковлев; заявитель и патентообладатель ИГД УрО РАН. – № 2018134735, заявл. 03,10,2018, опубл. 22.04.2019, Бюл. № 12.