

собівартість розробки 1 м³ гірничої маси має вид

$$C_{111} = \frac{\sum^3}{Q_{111}} = \frac{11,75}{3,09} = 3,8 \text{ грн./м}^3. \quad (8)$$

Висновки

Дослідження організації роботи земснарядів в умовах глибоких буровугільних кар'єрів доказали можливість їх використання у комплексі з гідромоніторами без подачі оборотної води. Особливістю врізання земснаряду у нову західку є поворот його корпусу на 180°, що підвищує ефективність його експлуатації. При досягненні дна кар'єру земснаряди залишаються для відпрацювання нижнього шару бурого вугілля, а також виконує процес осушення розрізної траншеї для безпечної роботи потужних драглайнів на верхніх горизонтах. Застосування земснарядів для відробки м'якої гірничої маси дозволяє не тільки поєднати процеси виймання і транспортування, а й досягти високих виробничих показників гірничих підприємств. Саме від роботи земснарядів у підводній частині розрізної траншеї залежить швидкість переміщення лінії депресії, що в свою чергу впливає на зменшення часу при розкритті продуктивних горизонтів.

Бібліографічний список

1. Пат. 100419 Україна МПК (2006.01) Е 21 С 41/26 Спосіб розробки обводнених м'яких корисних копалин / А.Ю. Дриженко, Н.А. Нікіфорова, О.О. Шустов; заявл. 20.12.10; опубл. 25.12.12, Бюл. № 24.
2. Пат. 92548 Україна МПК (2006.01) Е 21 С 41/26 Спосіб відкритої розробки родовищ м'яких порід: / А.Ю. Дриженко, В.І. Симоненко, О.О. Шустов, К.В. Литвиненко та ін.; заявл. 25.03.09; опубл. 10.11.10, Бюл. № 21.
3. Шкундин Б.М. Машины для гидромеханизации земляных работ. – М.: Стройиздат, 1982. – 184 с.
4. Бондаренко А.А. Горные машины для подводных горных работ: учеб. пособие. – Днепропетровск: РИК НГУ, 2003. – 90 с.
5. Нормы технологического проектирования угольных и сланцевых разрезов. – М.: Минуглепром СССР, 1986. – 126 с.

Поступила 04.07.2013



УДК 625.1:625.1.03:622.6:539.3:539.4

Говоруха В.В. /к.т.н./
ИГТМ НАНУ

Наука

Динамические процессы взаимодействия большегрузных рельсовых транспортеров и путевой структуры наклонных подъемников автомобилей

Приведены результаты теоретических исследований динамических процессов взаимодействия большегрузных рельсовых транспортеров и путевой структуры наклонных подъемников автомобилей. Определены закономерности изменения показателей нагруженности, устойчивости и безопасности движения рельсовых транспортеров с большегрузными автосамосвалами по крутонаклонному рельсовому пути глубоких карьеров. Ил. 4. Табл. 1. Библиогр.: 1 назв.

Ключевые слова: наклонный подъемник автомобилей, рельсовый транспортер, путевая структура, глубокие карьеры, нагруженность, устойчивость и безопасность движения

Theoretical findings on dynamic processes of interdependencies between rails and skip in the inclined lifting system for the dump trucks are presented. Conformities to law are defined for varying indices of traffic stressed loading, stability and safety of rail lifting system for heavy-load dump trucks which moves on the incline rail way in the deep opencast mines.

Keywords: incline lifting system for the dump trucks; rail lift; rail way structure; deep opencast mines; traffic stressed loading, stability and safety

Постановка задачи и ее связь с научными и практическими проблемами

Одной из главных проблем мировой экономики является обеспечение ее сырьевыми ресурсами, в которых имеется существенная потребность. Эта проблема усложняется тем, что добыча полезных ископаемых будет производиться на глубоких горизон-

тах карьеров, рудников и шахт. В ближайшее время глубина карьеров достигнет 600–700 м, а добыча подземным способом 1500–2000 м. При открытой разработке кроме увеличения глубины карьеров будут увеличены углы откосов бортов с 36 до 60–70° [1].

Доля транспортирования горных пород в общей стоимости разработки месторождения составляет

40–50 %, поэтому применение новых и совершенствование существующих транспортных систем и технологий является актуальной задачей как для глубоких карьеров Украины, так и для месторождений других стран.

При добыче на глубоких горизонтах карьеров применяется железнодорожный, конвейерный, автомобильный и комбинированный виды транспорта, которые имеют определенные области применения с учетом эффективных и малоэффективных общих показателей. При этом автомобильный транспорт имеет определенные преимущества перед конвейерным и др. видами транспорта, такие как возможность транспортирования крупногабаритных кусков горной массы, высокая маневренность, сохранение работоспособности транспортных потоков при замене и ремонтах части автомобилей и др.

По ряду технологических проблем невозможно опустить рельсовые пути железнодорожного транспорта и перегрузочные пункты на более глубокие горизонты (более 150 м). Поэтому уже увеличивается высота подъема автомобильного транспорта до 200–350 м на карьерах Кривбасса, достигших глубины 400 м и в будущем увеличится до 700 м и более.

Применение большегрузных автосамосвалов на глубоких горизонтах карьеров привело к определенным негативным результатам: повышение удельного расхода дизтоплива на тонну горной массы (106 г/т·км) в связи с увеличением дальности автоперевозок и времени рейса при углублении карьеров; существенное перераспределение энергетических затрат на дорогое дизтопливо вместо менее дорогой электрической энергии (конвейерный транспорт); увеличение мощности дизельных двигателей привело к росту загрязнения атмосферы карьеров; создание постоянных автодорог большой ширины приводит к увеличению капитальных затрат и неоправданной консервацией запасов руд. При подземной разработке глубоких горизонтов применение скиповых подъемников приведет к большому количеству перегрузок и значительному удорожанию добычи ископаемых.

В связи с изложенным появилась необходимость решения важных научных и практических задач поиска и применения новых эффективных и экономически безопасных технологий и технических средств для транспортировки горной массы из глубоких горизонтов. Поэтому перспективным является применение комбинированного транспорта с использованием автосамосвалов и наклонных подъемников автомобилей.

Анализ последних достижений и публикаций

Известен ряд трудов по созданию, развитию и эксплуатации различных видов карьерного транспорта, выполненных М.В. Васильевым, Б.Ф. Фадеевым, В.С. Хохряковым, В.В. Ржевским, В.С. Коноваловым, Т.В. Короткиным, Б.А. Евдокимовым, Ю.И. Мелентьевым, Ю.Л. Бадалянцем, В.И. Белобровым, Ф. Абрамовским, В.И. Самусей, С.Р. Ильиным, В.Г. Селяниным и др., в работах которых представлены технология и комплексная механизация открытых горных работ, где предпочте-

ние отдавалось отдельным видам горного транспорта.

В известных работах не рассматривались проблемы создания и внедрения рельсовых наклонных подъемников автомобилей с использованием большегрузных автосамосвалов, многоосных рельсовых транспортеров, двухпутевых рельсовых направляющих и канатных подъемников. Не рассматривалась механика взаимодействия такой сложной транспортной системы для подъема большегрузных крупногабаритных автосамосвалов, не исследовались динамические процессы нагруженности, колебаний и устойчивости, а также не разрабатывались исходные технические требования для создания новых технологий и средств транспортирования горной массы.

Цель работы - определить основные показатели механики процессов движения наклонных подъемников автомобилей по путевой структуре, расположенной по борту карьера с углом наклона к горизонту 35–70° и более.

Изложение основного материала и результаты

ИГТМ НАНУ выполнен анализ применения различных видов транспорта на глубоких карьерах. Рекомендуется создание новых технических средств и прогрессивной технологии комбинированной транспортной системы, включающей специальные наклонные подъемники автомобилей, обеспечивающие спаренный циклический подъем и опускание груженых и разгруженных автосамосвалов между нижними горизонтами карьеров и поверхностью. Транспортная система эффективна, если полный транспортный цикл рейса автосамосвала с использованием рельсовых наклонных автомобильных подъемников будет меньше, чем время рейса автосамосвала от нижних горизонтов до места разгрузки и обратно.

На рис. 1 приведен график изменения величины сокращения времени транспортного цикла от глубины карьера.

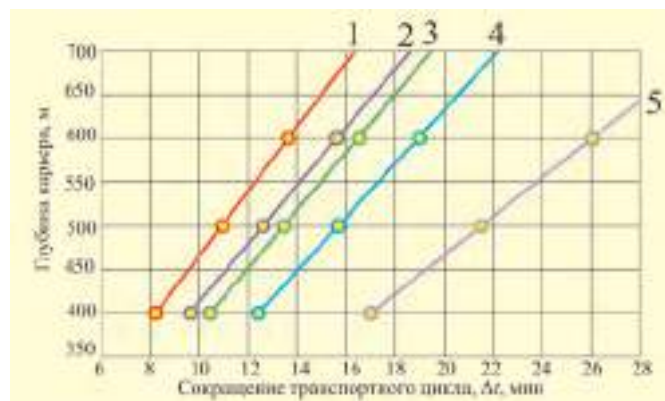


Рис 1. Зависимость сокращения времени транспортного цикла автосамосвала от глубины карьера, м/с: 1 – g = 2; 2 – g = 3; 3 – g = 5; 4 – g = 10; 5 – g = 20

При планируемой скорости движения транспортеров подъемников автомобилей 2,0–20,0 м/с и высоте подъема 300–700 м происходит существенное сокращение времени рейса и количества дорогостоящих автосамосвалов, уменьшается удельный расход дизтоплива и выделение токсических газов, переме-

щается центр энергозатрат в сторону отечественной электроэнергетики, вместо дорогостоящего импортруемого дизтоплива, что обеспечивает значительные преимущества прогрессивной технологии с новой транспортной системой [1].

Исследование динамического процесса взаимодействия большегрузных рельсовых транспортеров и двухпутевой структуры наклонных подъемников автомобилей выполнялось в соответствии с кинематической схемой, показанной на рис. 2. При этом транспортная система включает большегрузные автосамосвалы (1); специальный рельсовый транспортер (2) с грузонесущей платформой и колесными ходовыми тележками; подъемная машина (3); система тяговых канатов (4); путевая рельсовая структура (5); галерея (6).

В исследованиях использованы основные составные части и узлы механической системы в виде твердых тел, соединенных между собой шарнирами, а также упруго-диссипативными или жесткими связями, расположенными в вертикальном, продольном или поперечном направлениях относительно оси движения транспортера.

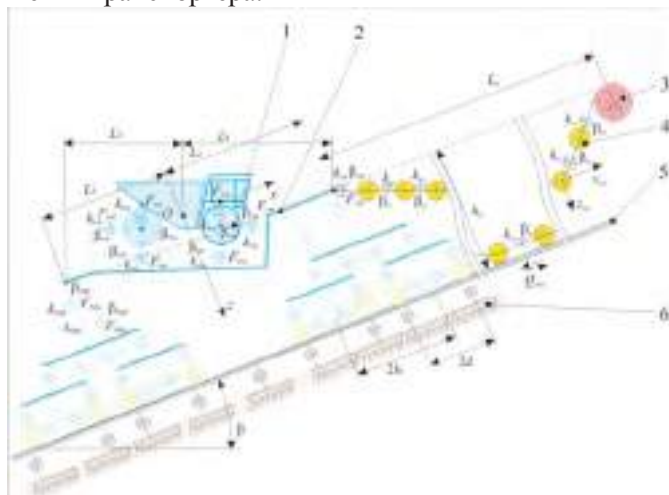


Рис. 2. Кинематическая схема наклонного подъемника с большегрузным автосамосвалом

Динамическая составляющая силы от действия тяговых устройств подъемной машины на канаты определены согласно выражения

$$Q = N_K e^{-\alpha t} \cdot \sin \frac{\omega_2 t}{2\pi}, \quad (1)$$

где t - текущее время; ω_1, ω_2 - заданные частоты; N_K - амплитуда динамической составляющей натяжения тяговых канатов.

Для составления системы уравнений движения исследуемой комбинированной транспортной системы использовано уравнение Лагранжа второго рода, которое представлено в общем виде выражением

$$D_v + P_v + \Phi_v = Q_v, \quad (v = 1, 2, \dots, N), \quad (2)$$

где D_v, P_v, Φ_v - дифференциальные операторы, соответствующие уравнениям Лагранжа второго рода

$$D_v = \frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_v}; \quad P_v = \frac{\partial \Pi}{\partial q_v}; \quad \Phi_v = \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_v}, \quad (3)$$

где T, Π, Φ - соответственно, кинетическая, потенциальная энергия и функция рассеяния системы; Q_v, q_v - обобщенные силы, не имеющие потенциала, и обобщенные координаты; N - число степеней свободы.

В общем виде дифференциальные операторы (2, 3) представлены в виде

$$D_v = f(m, I, q_v, \dot{q}_v), \quad P_v = f_1(k, q_v, \Pi_h(q_v)), \quad \Phi_v = f_2(\beta, \dot{q}_v) + f_3(F, \dot{q}_v), \quad (4)$$

где m, I - инерционные характеристики (массы и моменты) твердых тел системы; k, β - коэффициенты жесткости упругих и вязкости диссипативных элементов транспортной системы, F - силы сухого трения в связях между твердыми телами; $\Pi_h(q_v)$ - составляющая потенциальной энергии, обусловленная изменением высоты центров тяжести твердых тел при перемещениях q_v .

Обобщенные силы, приложенные к транспортной системе, обусловлены действием сил тяжести составных частей, сил и моментов от тяговых канатов, а также сил взаимодействия между колесом и рельсом, канатом и поддерживающими роликами в вертикальном, поперечном и продольном направлениях. Возмущения обусловлены действием сил в тяговых канатах, пространственными неровностями рельсовых нитей, зазорами между головками рельсов и гребнями колес и другими частями транспортной системы.

Для анализа динамических процессов взаимодействия большегрузных рельсовых транспортеров и путевой структуры наклонных автомобильных подъемников использованы автосамосвалы типа БелАз, Kamatsu или Caterpillar общей массой с грузом 220 т, рельсовый транспортер с грузом общей массой 422 т, скорость движения транспортера до 5 м/с при разгоне и замедлении с ускорением $0 - \pm 1,75$ м/с², угол наклона трассы к горизонту - 40°.

В результате исследований установлено, что собственные колебания рельсового транспортера с автосамосвалом характеризуются в общем случае периодическими перемещениями тел (составных частей) относительно состояний, обусловленных стационарным его движением при постоянной скорости, или квазистационарными движениями при разгоне и торможении.

При равнопеременном и равномерном движении рельсового транспортера наблюдаются периодические продольные колебания грузонесущей платформы с автосамосвалом с частотой 2 Гц. Вследствие упруго-диссипативных свойств канатов и упругих демпферов они быстро затухают. Наибольшие перемещения транспортера соответствуют режиму ускоренного движения, которые уменьшаются при равномерном и замедленном движении. После прохождения переходного процесса устанавливаются также колебания бокового отбоя, боковой качки и виляния

Таблица. Максимальные значения (кН) нагруженности транспортной системы

Плоскость перпендикулярная рельсовому пути			Плоскость поперечная рельсовому пути				
Условное обозначение показателя	А	Б	В	Условное обозначение показателя	А	Б	В
QZ_{oinjm}	160	160	154	Q_{yinjm}	37,6	49,8	53,0
SZ2	274	276	258	Q_{yoinjm}	38,2	50,2	49,9
SZ3	519	480	459	SY1	41,8	42,1	40,0
SZ4	1046	950	732	SY2	37,2	56,8	54,9
SZ5	1025	931	715	SY3	17,6	56,9	54,5
SZ0	101	103	93	SY4	19,8	30,5	29,8
FZ	72	72	62	SY5	35,9	43,3	28,7
				FY0	6,73	7,87	9,29
				FY	4,16	7,39	9,77

Примечание: А-а = +1,5 м/с²; Б-а = 0, g = 5 м/с; В-а = 0, g = 5 м/с
 транспортера. Их частоты соответствуют 0,167 Гц при боковом оттоке, 2,0 Гц при подпрыгивании, 1,3 Гц при галопировании и вилянии, 1,2 Гц – при боковой качке транспортера и галопировании автосамосвала.

Анализ полученных результатов показывает, что движение рельсового транспортера с автосамосвалом может быть устойчивым и неустойчивым. Устойчивость транспортной системы определяется основными параметрами и характеристиками всей транспортной системы и составных ее частей, включая состояние рельсового пути и величины пространственных неровностей, относительные параметрами транспортера и рельсового пути.

Определены условия устойчивого движения исследуемой транспортной системы. При этом наибольший уровень нагруженности колес и рельсового пути в направлении, перпендикулярном к плоскости рельсового пути соответствует 147 и 148 кН для режима разгона и установившегося движения транспортера с автосамосвалом и 141 кН для режима движения с замедлением до остановки. Аналогичные результаты получены для нагруженности рельсов (QZ_{oinjm}), рессор центрального подвешивания (SZ2), опорных элементов сопряжения несущей платформы с соединительными рамами тележек (SZ3), колес автосамосвала (SZ4), рессор автосамосвала (SZ5), узла крепления каната и клетки (SZ0), элементов каната (FZ). Максимальные значения перечисленных величин в режимах разгона (а = +1,75 м/с²) движения с постоянной скоростью (а = 0; g = 5 м/с) и замедленного движения (а = -1,75 м/с) приведены в таблице.

В таблице приведены также результаты исследования нагруженности системы в поперечной плоскости рельсового пути, где даны максимальные значения показателей для колес (Q_{yinjm}), рельсовых нитей (Q_{yoinjm}), колесных пар (Q_{yinj}), элементов сопряжения осей колесных пар с буксами (SY1), упругих элементов центрального подвешивания (SY2), опорных элементов сопряжения несущей платформы с соединительными рамами тележек (SY3), колес и рессор автосамосвала (SY4) и (SY5), узла крепления каната и клетки (FSY0), элементов каната (FY) в режимах разгона (а = +1,75 м/с²),

режима с постоянной скоростью (а = 0, g = 5 м/с) и замедленного движения (а = -1,75 м/с²).

Получено, что хорошая устойчивость движения транспортной системы с рациональными параметрами обеспечивается по условиям вкатывания колес на рельсы ($k_{BKmin} = 2,79$) и условий сдвига рельсошпальной решетки $k_{CDmax} = 0,13$, что значительно больше нормативных допустимых значений $k_{BK} \geq 1,5$, а $k_{CD} \leq 0,4$.

Некоторые результаты исследования нагруженности основного варианта транспортной системы в продольном, поперечном, перпендикулярном направлениях относительно плоскости пути при наличии поперечных неровностей рельсовых нитей приведены на рис. 3, 4. Из этих графиков видно, что изменение глубины горизонтальных неровностей оказывают значительное влияние на показатели нагруженности в продольном и поперечном направлениях.

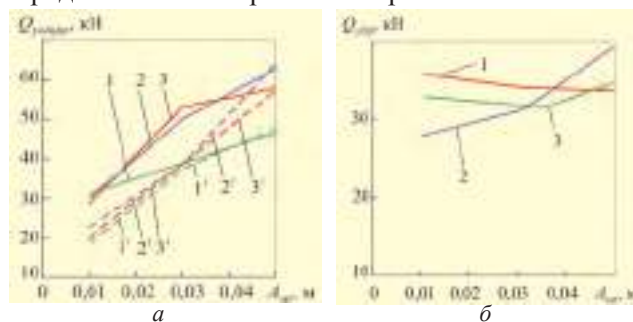


Рис. 3. Зависимости значений поперечных сил между колесами и рельсом (а) и между рельсом и основанием (б) от глубины поперечных неровностей; 1 (1'); 2 (2'); 3 (3') ускорение, равномерное движение и торможение, соответственно

При больших глубинах поперечных неровностей возникает значительное увеличение риска потери устойчивости системы. Если при небольших глубинах неровностей ($A'_{нр} = 0,01$ м и $l'_{нр} = 10,0$ м) коэффициенты безопасности равны $k_{BK} = 4,52-5,0$, то при увеличении глубины неровностей ($A'_{нр} = 0,05$ м), $k_{BK} = 2,41-2,87$. Показатели приближаются к предельным значениям $k_{BK} \geq 1,5$.

На нагруженность между колесами автосамосвала и грузовой платформой в продольном и перпендикулярном направлениях плоскости рельсового пути (рис. 3а, б) влияние величины поперечных неровностей не существенно. Однако интенсивность увеличения нагрузок в поперечной плоскости пути может привести к потере устойчивости автосамосвала.

В процессе исследований динамических процессов движения транспортной системы установлена зона устойчивости, которая формируется влиянием активных сил взаимодействия автосамосвала, транспортера и рельсового пути при различных конструктивных параметрах составных частей подъемника. Через эту зону устойчивости должны проходить все векторы силовой нагруженности всех частей транспортной системы, а инерционные и частотные харак-

теристика колебаний должны находиться в пределах допустимых значений.

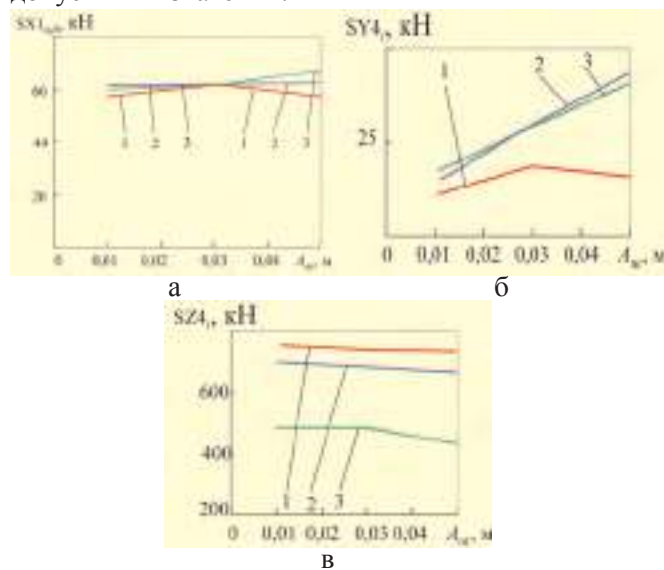


Рис. 4. Зависимости значений продольных (а) поперечных (б) и перпендикулярных (в) к плоскости пути сил между колесами автосамосвала и грузонесущей платформой; 1, 2, 3 – ускоренное, равномерное движение и торможение, соответственно

Выводы

1. При добыче полезных ископаемых на глубоких горизонтах карьеров и рудников с использованием

автосамосвалов рационально применение транспортной системы наклонных подъемников автомобилей.

2. Из условий нагруженности рельсового пути и узлов сопряжения частей транспортной системы наибольшее влияние на показатели работы наклонных подъемников автомобилей оказывают глубина и длина поперечных неровностей рельсовых нитей.

3. Наиболее устойчивой в рабочих режимах движения является транспортная система карьерных наклонных подъемников автомобилей, в которой все векторы активных нагрузок проходят через зону (ядро) устойчивости, свойственной для рациональных конструктивных параметров, а инерционные и частотные характеристики колебаний находятся в пределах допустимых значений.

Библиографический список

1. Области применения на глубоких карьерах комбинированной рельсовой транспортной системы наклонных автомобильных подъемников / А.Ф. Булат, М.С. Четверик, В.В. Говоруха // Зб. наук. пр. за результатами роботи II Міжнар. науково-технічної конф.; 21–22 грудня 2012 р. – Кривий Ріг, 2012. – С. 95–97.

Поступила 26.06.2013

УДК 622. 233:551.49

Судаков А.К. /к.т.н./
ГВУЗ «НГУ»

Наука

Результаты исследования физико-механических свойств криогенно-гравийного композита

Представлены результаты производственных испытаний технологии оборудования гидрогеологической скважины криогенно–гравийным фильтром. Определена экономическая эффективность испытанной технологии. Ил. 3. Библиогр.: 3 назв.

Ключевые слова: производственные испытания, гидрогеологическая скважина, криогенная технология, криогенно–гравийный фильтр, минераловязующий материал

The results of productive tests of technology of hydrogeological well equipping of cryogenic-gravel filter are presented. Economic efficiency of the tested technology is certain.

Keywords: productive tests, hydrogeological well, cryogenic technology, cryogenic - gravel filter, mineral - astringent material

Актуальность и состояние проблемы

Блочными гравийными фильтрами оборудуются при раскрытии напорные водоносные горизонты глубоких скважин с небольшим конечным диаметром. Основная идея создания фильтров этой конструкции заключается в том, чтобы не проводить операций по подбору фильтров и обсыпки, а устанавливать их в готовом виде. Гравийные фильтры блочного типа могут быть двух видов: монолитные и пустотелые. Для связи гравийных частиц в блоки применяются

разные вяжущие вещества: клей резиновый, силикатный, БФ-2, БФ-4, бакелитовый лак марки А, битум, цемент, эпоксидная смола и другие вещества [1]. Однако, фильтры блочного типа работают неудовлетворительно [2].

1. Введение вяжущих веществ в гравий при их отверждении приводит к образованию тупиковых пор.

2. Скважины, оборудованные фильтрами блочного типа, по сравнению со скважинами, оборудован-

© Судаков А.К., 2013 г.