

Выполненный расчет и анализ графика (рис. 11) показал, что чистый дисконтированный доход для условий применений скипового транспорта на срок до 4,5 лет, а для конвейерного транспорта ЧДД больше при отработке карьера сроком более, лет. Следовательно, экономически целесообразным является применение конвейерного транспорта если отработка руды предусматривается на срок, более чем 4,5 года, а скипового наоборот – на период отработки не более 4,5 лет.

Выводы. В сложившихся условиях мирового снижения цен на железорудное сырье, отечественные горнодобывающие комбинаты достигнуть снижения неконкурентоспособной себестоимости производства концентрата за счет следующих перспективных решений:

1. Уменьшения объемов законсервированных балансовых запасов под транспортными коммуникациями, перегрузочными автомобильно-железнодорожными пунктами (ОАО «ЛГОК») и концентрационными горизонтами комплексов ЦПТ (ПАО «ИНГОК», ПАО «СевГОК»);

2. Понижения глубины ведения открытых горных работ ниже горизонта подсчета балансовых запасов железной руды (ОАО «ЛГОК», ПАО «СевГОК»).

Выполненный анализ состояния горных работ в карьерах и выделенные перспективные направления их развития показали несовершенство существующей методики определения граничных контуров карьера. В связи с этим в перспективе одной из главных научных задач является обоснование и разработка методики определения граничных контуров открытой разработки с учетом взаимосвязи параметров горнотранспортных комплексов, изменяющихся горнотехнических условий разработки и динамики изменения цен на железорудный концентрат, что позволит алгоритмизировать перспективные направления ведения открытых горных работ в существующих глубоких железорудных карьерах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Двойное дно» рынка железной руды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.metaltorg.ru/analytics/ores>. – Загл. с экрана.
2. Четверик, М.С. Циклично-поточная технология на глубоких карьерах: перспективы развития / М.С. Четверик, В.В. Перегудов, А.В. Романенко. – Кривой Рог: Дионис, 2012. – 334 с.
3. Швец, Д.В. Оптимизация транспортных схем и порядок отработки крутопадающих железорудных месторождений в условиях постановки бортов карьера в конечное проектное положение / Д.В. Швец // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг: ФОП Бурова, 2014. – Вип. 37. – С. 69-75.
4. Малеев, С.В. Технологія заукіски бортів глибоких кар'єрів / С.В. Малеев, А.Ю. Дрищенко // Збірник наукових праць. – Дніпропетровськ: НГУ, 2013 – Вип. 43 – С. 144-150.
5. Параметры транспортных коммуникаций на глубоких карьерах при применении усовершенствованных автосамосвалов / К.М. Басс, В.В. Кривда, Д.В. Швец [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – Днепропетровск, 2014. - №4. – С. 53-57.
6. Технологическая схема дополнительной углубки открытой разработки крутопадающих месторождений с частичным изменением проектных контуров / А.В. Романенко, Д.В. Швец, В.В. Панченко [и др.] // Форум гірників-2014: матеріали міжнар. конф. – Дніпропетровськ: ТОВ «ЛізуновПрес», 2014. – Т. 1. – С. 129-134.

7. Швец, Д.В. Обоснование технологических схем и параметров реконструкции транспортной схемы карьера ОАО «Лебединский ГОК» / Д.В. Швец // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. – Дніпропетровськ: ІГТМ, 2014. – Вип. 118. – С. 130–138.

8. Определение перспективных границ карьера, обеспечивающих конкурентоспособность железорудной продукции Полтавского ГОКа: отчет о НИР (заключит.): ГВУЗ «КНУ»; рук. Близиуков В.Г.; исполн.: Луценко С.А [и др.]. – Кривой Рог, 2014. – 67 с.

9. Определение перспективных границ и производительности Первомайского карьера ПАО «СЕВГОК»: отчет о НИР (заключит.): АГНУ; рук. Близиуков В.Г.; исполн.: Луценко С.А [и др.]. – Кривой Рог, 2015. – 63 с.

10. Ефремов, Э.И. Выбор основных направлений совершенствования взрывных работ на карьерах Украины (часть 1) // Э.И. Ефремов, А.В. Пономарев / Бюл. УСИВ. – 2009, Вып. 1. – С. 4-7.

REFERENCES

1. "Double bottom" of the market iron ore (2014), available at: <http://www.metaltorg.ru/analytics/ores>, (Accessed 05.07.2015).

2. Chetverik, M.S., Peregydov, V.V. and Romanenko, A.V. (2012), "Cyclic-flow technology in deep pits: prospects of development", Dionis, Krivoy Rog, Ukraine.

3. Shvets, D.V. (2014), "Optimization transport schemes and order open-pit mining steep iron ore deposits in conditions setting boards career final project position", *Visnyk Krivorizhskogo natsionalnogo universitetu*, vol. 37, pp. 69-75.

4. Malieiev, Ye.V. (2013), "Technology of pre-splitting of deep quarries boards", *Zbirnyk naukovykh prats NGU*, no. 43, pp. 144-150.

5. Bass, K.M., Krivda, V.V., Shvets, D.V. [and at.] (2014), "The parameters of transport communications in deep open-pits in the application of improved dump", *Metallurgical and mining industry*, no.4. – P. 53-57.

6. Romanenko, A.V., Shvets, D.V., Panchenko, V.V. [and at.] (2014), "Technological scheme additional lowering opencast steep deposits with a partial change in the circuit design", *Forum gornyakov – 2014: materialy mezhdunarodnoy konferentsii* [Mining forum-2014: materials international conference], Forum gornyakov-2014 [Mining forum-2014], Dnipropetrovsk, Ukraine, 15 october 2014, vol. 1, pp. 129-134.

7. Shvets, D.V. (2014), "Justification technological schemes and parameters of the reconstruction transport scheme of career "Lebedinsky MPP"", *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 118, pp. 130-138.

8. Bliznyukov, V.G., Lytsenko, S.A. [and at.] (2014), "Determination promising quarries boundaries, ensuring the competitiveness iron ore production of Poltavskiy MPP: research report (final)", SHEI "KNU", Krivoy Rog, Ukraine.

9. Bliznyukov, V.G., Lytsenko, S.A. [and at.] (2015), "Determination boundaries and promising performance career Pervomaiskiy PJSC "NorthMPP": research report (final)", AMSU, Krivoy Rog, Ukraine.

10. Efremov, E.I. and Ponomarev, A.V. (2009), "The Choice of the basic directions of perfection of blasting operations in quarries of Ukraine", *Bulleten USIV*, part 1, no 1, pp. 4-10.

Об авторах

Швец Дмитрий Валериевич, магистр, аспирант, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, shvetsdmitriy@yandex.ua.

Малеєв Євгеній Владімірович, магистр, інженер в відділі Геомеханічних основ технологій відкритої розробки місорождень, Інститут геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, maleejev@i.ua.

About the authors

Shvets Dmitriy Valerievich, Master of Sciences, graduate student, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, shvetsdmitriy@yandex.ua.

Malieiev Yevhenii Vladimirovich, Master of Sciences, engineer in Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, maleejev@i.ua.

Анотація. У статті розглянуті питання забезпечення можливостей максимального вилучення і транспортування запасів залізних руд з глибоких горизонтів кар'єрів при мінімізації розкривних робіт.

У роботі проаналізовано сучасний стан діючих глибоких кар'єрів, на підставі чого визначено пріоритетні напрямки розвитку відкритих гірничих робіт, а також розглянута їх доробка до кінцевої глибини. Зниження високої собівартості концентрату, що випускається вітчизняними ГЗК, у сформованій ситуації падіння цін на залізорудну сировину, можливо досягти за рахунок зменшення обсягів законсервованих балансових запасів залізної руди під транспортними комунікаціями, концентраційними горизонтами комплексів ЦПТ та перевантажувальними пунктами.

Для забезпечення можливості вилучення запасів у межах дна кар'єра, з меншими витратами на розкривні роботи, розроблена технологічна схема для підвищення результуючого кута відкоса борта.

Проаналізовано способи транспортування видобутих запасів з глибоких горизонтів, з урахуванням збільшення кутів відкосів бортів кар'єру, на поверхню по найкоротшому шляху із застосуванням скіпових підйомних установок та конвеєрного транспорту.

Ключові слова: собівартість видобутку руди, законсервовані запаси, транспортні комунікації, концентраційний горизонт, доробка глибоких горизонтів.

Abstract. The article focuses on possibility of maximal iron ore extraction and transportation from the deep open-pits horizons with minimal stripping operations.

Current situation in the existing deep open-pits is analyzed in the paper, basing on which priority areas of the open-pit mining operation expansion are determined with possible mining up to the total depth of the pit. Taking into consideration falling prices for iron ore, high cost of concentrate produced by the domestic MPPs could be cut by reducing volumes of dormant balance reserves of iron ore bedded under the transport communications, concentration horizons of the CFT complexes and transshipment points.

A technological scheme was designed in order to extract ore reserves within the open-pit bottom with lower cost of stripping operations and to increase resultant angle of the highwall slope.

Methods for extracted reserves transporting from the deep horizons to the surface by the shortest rout are analyzed for cases when the skip hoist systems and conveyor transport are used and with taking into account increasing angle of the highwall slope in the pit.

Keywords: cost of ore production, dormant reserves, transport communications, concentration horizon, mining of the deep horizons.

Стаття постуила в редакцію 27.08.2015

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук, проф. М.С. Четвериком

УДК 532.584.002.612:622.33

Семененко Е.В., д-р техн. наук, ст. науч. сотр.,
Демченко Т.Д., магистр
(ИГТМ НАН Украины)

**УЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ СТРУКТУРИРОВАННЫХ
СУСПЕНЗИЙ В ФОРМУЛАХ ОСВАЛЬДА-РЕЙНЕРА И
БИНГАМА-ШВЕДОВА**

Семененко Є.В. д-р техн. наук, ст. наук. співр.,
Демченко Т.Д. магістр
(ІГТМ НАН України)

**ВРАХУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТВЕРДОЇ ФАЗИ СТРУКТУРОВАНИХ
СУСПЕНЗИЙ У ФОРМУЛАХ ОСВАЛЬДА-РЕЙНЕРА І
БИНГАМА-ШВЕДОВА**

Semenenko E.V., D. Sc. (Tech.), Senior Researcher,
Demchenko T.D. Sc. of. Master
(IGTM NAS of Ukraine)

**PARAMETERS OF STRUCTURED SUSPENSION SOLID PHASE
TAKEN INTO ACCOUNT IN THE OSWALD-RAYNER AND
BINGAME-SHVEDOV FORMULAS**

Аннотация. Статья направлена на исследования влияния свойств твердой фазы реологической характеристики структурированной суспензии, а также на установление взаимозависимости параметров реологических законов Освальда-Рейнера и Бингама-Шведова. Для анализа были выбраны результаты исследований отечественных и зарубежных специалистов, которые указали на возможность применения реологических законов Освальда-Рейнера и Бингама-Шведова для описания реологических свойств структурированной суспензии в условиях геотехнологических систем. В статье проанализированы результаты экспериментальных исследований реологических характеристик структурированных суспензий из углей разных марок. Впервые установлена зависимость между константами реологического закона Освальда-Рейнера и реологическими характеристиками применяемыми в формуле Бингама-Швендова, а также получена зависимость эффективной вязкости и начального касательного напряжения угольных структурированных суспензий от выхода летучих веществ на зольную массу частиц твердой фракции.

Ключевые слова: структурированная суспензия, эффективная вязкость, реологическая характеристика, уголь.

Современные геотехнологические системы, а также технологии добычи и переработки углей, особенно техногенных месторождений, предполагают широкое использование структурированной суспензии (СС). Такой подход позволяет существенно снизить энергоемкость технологий и капитальные затраты на их модернизацию. При этом возможности снижения энергоемкости, а также обеспечение эффективности и надежности таких технологий существенно зависят от рационального выбора реологических характеристики (PX) СС, ко-

© Е.В. Семененко, Т.Д. Демченко, 2015

торы, в свою очередь определяются свойствами твердой и жидкой фаз. Проблема рационального выбора РХ СС актуальна с точки зрения улучшения экологической ситуации в регионах с высокой концентрацией угольных предприятий, переработки существующих отходов углеобогащения, переоборудовании энергетических комплексов под сжигание водоугольного топлива [7].

Исследование зависимости РХ рассматриваемых СС занимались многие авторы [8]. Традиционно изучалась зависимость РХ от концентрации суспензии, а также от плотности и крупности частиц твердой фазы. Результаты этих исследований указывают на ряд особенностей в зависимости РХ СС, полученных на основе углей: высокие значения концентрации твердой фазы при незначительном диапазоне ее изменения (от 62 до 70 % по массе); зависимость РХ не от средневзвешенной крупности частиц, а от массовых долей характерных фракций; плотность углей не является постоянной величиной для конкретного месторождения и зависит нескольких факторов. Для описания РХ рассматриваемых СС большинство авторов предлагают использовать один из двух законов – Освальда-Рейнера или Бингама-Шведова. Однако рекомендации относительно того для каких условий какой закон нужно использовать отсутствуют.

Первоначально эти формулы рассматривались как альтернативные друг другу, однако принципиально различное поведение степенной и линейной функции затрудняло выбор закона при описании экспериментальных данных. Но в последние годы ряд исследователей предлагает совместное использование этих законов [6]. Этот подход предполагает использовать формулу Освальда-Рейнера на начальном участке реологической кривой до выхода на структурный режим, а затем, в области структурных режимов течения применять формулу Бингама-Шведова. Однако такой подход требует специальных условий согласования законов на границе начального и линейного участков реологической кривой, а также согласования параметров РХ от свойств частиц твердой фазы. Если вопрос согласования законов исследовался в работах отечественных ученых [1, 2, 6, 7], то по второму вопросу публикации неизвестны.

Цель статьи – анализ влияния свойств твердой фазы РХ СС, приготовленных на основе углей, а также установление взаимозависимости параметров реологических законов Освальда-Рейнера и Бингама-Шведова.

Для исследования зависимости РХ СС от свойств, твердой и жидкой фазы. Были выбраны результаты экспериментальных исследований [1 - 9], которые указывают на возможность использования для описания РХ рассматриваемых СС законов Освальда-Рейнера и Бингама-Шведова:

$$\tau = k\dot{\varepsilon}^n, \quad (1)$$

$$\tau = \tau_0 + \eta\dot{\varepsilon}, \quad (2)$$

где τ – касательное напряжение; $\dot{\varepsilon}$ – скорость деформации; k – индекс консистенции в законе Освальда-Рейнера; n – индекс течения в законе Освальда-

Рейнера; τ_0 – начальное касательное напряжение (НКН) в законе Бингама-Шведова; η – эффективная вязкость (ВЭ) в законе Бингама-Шведова.

Результаты экспериментальных исследований НКН и ВЭ при течении СС на основе обогащенного антрацита и антрацитового штыба показывают существенную зависимость режима течения СС от массовой концентрации [1, 2, 6, 7]. При концентрации 65,7, 68,7 и 70,0 % суспензии на основе обогащенного антрацита проявляют признаки дилатантности, ньютоновского течения и псевдопластичности соответственно. Суспензии, приготовленные на основе антрацитовых шламов, начинают проявлять признаки, близкие к псевдопластикам, при концентрациях от 62 до 66 %.

Данные, полученные в исследованиях [1, 2, 6, 7], иллюстрируют снижение величины НКН при одинаковой скорости сдвига по мере повышения степени метаморфизма исходного продукта. Наименьшие касательные напряжения характерны для СС из углей марок Т, ПА и А, а максимальные – для суспензий на основе углей начальной стадии метаморфизма. Эту закономерность подтверждает также тенденция возрастания касательных напряжений с увеличением выхода летучих веществ, которая проявляется в большей степени при большей скорости сдвига. Так, например, при скорости сдвига $\dot{\epsilon} = 10 \text{ с}^{-1}$ и увеличении выхода летучих веществ с 6,5 % (антрацит) до 44,0 % (уголь марки Д) касательное напряжение сдвига увеличивается в 13,5 раз, а при скорости сдвига $\dot{\epsilon} = 120 \text{ с}^{-1}$ только в 3,34 раза. Согласно результатам этих же экспериментов зависимость эффективной вязкости СС от скорости сдвига и степени метаморфизма исходного угля в достаточной мере четко отображают режим течения в диапазоне индекса течения от 0,5 до 1,1. Статистическая обработка экспериментальных данных, на начальном участке реологической кривой до выхода на структурный режим с учётом структуры формулы Освальда-Рейнера дала возможность получить эмпирические зависимости касательных напряжений от скорости сдвига при течении СС, приготовленных на основе углей разных марок (рис. 1, табл. 1)[1].

Таблица 1 – Значение параметров формулы Освальда-Рейнера для углей различных марок [1, 2, 6, 7]

Марка угля	Значение k	Значение n	Марка угля	Значение k	Значение n
А	0,164	1,083	К	0,759	0,856
ПА	0,200	1,062	Ж	1,470	0,759
Т	0,245	1,014	Г	3,920	0,635
ОС	0,515	0,925	Д	6,060	0,566

Анализ приведенных зависимостей свидетельствует о том, что по мере увеличения выхода летучих веществ индекс консистенции k увеличивается от 0,164 до 6,6, а индекс нелинейности n уменьшается от 1,083 до 0,556 [1, 2, 6, 7]

$$n = 1,18 - 0,014V^{daf}. \quad (3)$$

Таким образом, обобщенная для всех марок углей зависимость касательного напряжения от выхода летучих веществ выражается так [1, 2, 6, 7]:

$$\tau = 0,0609 \cdot 1,1^{V^{daf}} \dot{\varepsilon}^{1,18-0,014V^{daf}} \quad (4)$$

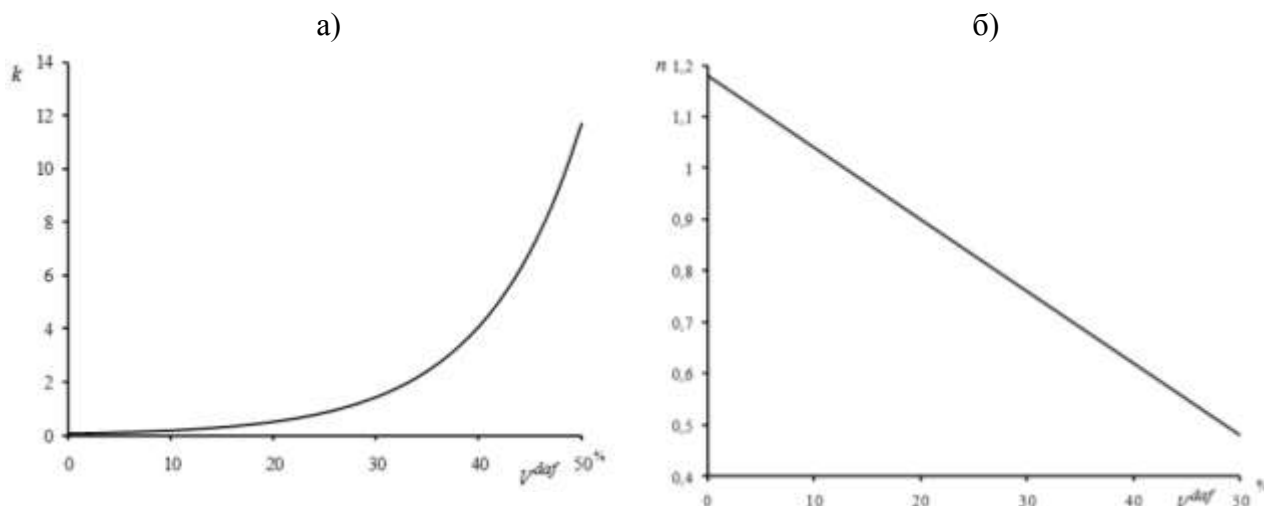


Рисунок 1 – Зависимость величин индексов консистенции (А) и течения (Б) от выхода летучих веществ из исходного угля

Результаты численной обработки данных (табл. 2 – 5 [8]), позволяют установить зависимость между величинами k и n и η и τ_0

$$k = A\eta^m, \quad (5)$$

$$n = B\tau_0^p, \quad (6)$$

где A , B – коэффициенты пропорциональности (табл. 6); m , p – показатели степени (табл. 6).

Таблица 2 – Характеристики СС на основе углей Канчо-Ачинского бассейна, измельченных в циклической мельнице [8]

C' , %	d_S , мм	η , Па·с	τ_0 , Па	k , Па·с ^{n}	n
50,0	0,065	0,67	19,73	10,4	0,48
56,0	0,081	2,64	42,90	27,8	0,49
55,8	0,082	1,68	48,50	24,3	0,49
49,6	0,134	0,22	7,10	3,1	0,52
49,6	0,317	0,24	8,77	5,6	0,39

Таблица 3 – Характеристики СС на основе углей Канчо-Ачинского бассейна, измельченных в центробежной мельнице [8]

C' , %	d_s , мм	η , Па·с	τ_0 , Па	k , Па·с ⁿ	n
53,80	0,056	0,58	14,22	9,58	0,43
48,80	0,040	0,50	5,63	4,48	0,51
49,60	0,052	0,32	3,82	1,99	0,63
50,25	0,049	0,39	4,23	2,06	0,66
51,00	0,104	0,30	5,60	2,71	0,55
52,40	0,141	0,42	6,08	2,92	0,60

Таблица 4 – Характеристики СС на основе углей Канчо-Ачинского бассейна различной зольности с добавкой пластификатора [8]

A^d , %	C' , %	Добавка, % на сухую массу угля	k , Па·с ⁿ	n	τ_0 , Па	η , Па·с
14,3	58,6	0,0	–	–	3,72	1,01
14,3	58,2	0,7	0,5	1,0	0,58	0,58
14,3	60,3	0,6	0,6	1,0	1,67	0,64
14,3	59,7	0,85	0,5	0,9	0,60	0,62
12,7	57,1	0,5	6,2	0,4	11,20	0,32
12,7	60,1	0,6	0,9	1,0	1,90	0,79
23,4	56,6	0,5	5,0	0,5	9,00	0,42
23,4	59,5	0,6	1,1	0,9	3,60	0,77

Таблица 5 – Характеристики СС на основе угля шахты «Инская» [8]

C' , %	A^d , %	d_s , мкм	k , Па·с ⁿ	n	τ_0 , Па	η , Па·с
58,4	17,1	74,65	3,27	0,46	3,55	0,55
60	14,7	74,31	4,08	0,47	4,56	0,67
61,5	15	97,03	2,93	0,57	2,73	0,72
62,2	15,7	65,71	3,81	0,47	4,2	0,63
62,8	18,7	83,35	5,87	0,52	6,44	1,16
63,1	16,7	80,95	6,28	0,47	6,6	1,12
65,8	11,8	76,00	2,18	0,651	2,34	0,67

Таблица 6– Коэффициенты аппроксимации зависимости (5) и (6) для условий различных экспериментальных исследований

Характеристика СС	A	m	B	P
на основе углей Канчо-Ачинского бассейна, измельченных в циклической мельнице	14,098	0,8199	0,3068	0,1269
на основе углей Канчо-Ачинского бассейна, измельченных в цельпесбной мельнице	19,89	1,9855	0,9629	-0,3064
на основе углей Канчо-Ачинского бассейна различной зольности с добавкой пластификатора	0,2851	2,5954	0,9705	-0,2688
на основе угля шахты «Инская»	1,7459	0,9753	1,0281	0,9361

Совместное рассмотрение формул (3) – (6) позволяет впервые для рассматриваемых СС установить зависимость между PX закона Бингама-Шведова и выходом летучих углей, образующих твердую фазу суспензии (табл. 7):

$$\eta = A'e^{m'V^{daf}}, \quad (7)$$

$$\tau_0 = B'(84,29 - V^{daf})^{p'}. \quad (8)$$

Таблица 7 – Коэффициенты аппроксимации зависимости (7) и (8) для условий различных экспериментальных исследований

Характеристика СС	A'	m'	B'	p'
на основе углей Канчо-Ачинского бассейна, измельченных в циклической мельнице	0,0013	1,2197	$2,72 \cdot 10^{-11}$	7,8802
на основе углей Канчо-Ачинского бассейна, измельченных в цельпесбной мельнице	0,0542	0,5037	$9,93 \cdot 10^5$	-3,2637
на основе углей Канчо-Ачинского бассейна различной зольности с добавкой пластификатора	1,8126	-0,3853	$7,05 \cdot 10^6$	-3,7202
на основе угля шахты «Инская»	0,0320	1,0253	$1,02 \cdot 10^{-2}$	1,0683

Выводы. Обработка результатов исследований отечественных и зарубежных специалистов указывает на возможность применения реологических законов Освальда-Рейнера и Бингама-Шведова для описания реологических свойств СС в условиях геотехнологических систем. При этом рекомендуется модель псевдопластического течения Бингама-Шведова использовать при режимах, для которых характерно стержневое течение с недеформируемым ядром потока, исчезающим при увеличении скорости суспензии. А при режимах течения, отвечающих начальному участку реологической кривой, то есть до выхода на структурный режим, использовать формулу Освальда-Рейнера.

Впервые установлена зависимость между константами реологического закона Освальда-Рейнера и реологическими характеристиками, применяемыми в формуле Бингама-Швендова. Это позволило получить зависимость эффектив-