УДК 504.06:622+504.06:622.271

С.В. Дубинин, С.П. Бахаева

ПРОГНОЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИРОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МЯГКИХ ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Аннотация. Высокая стоимость и сроки запуска капитальных очистных сооружений оставляют не решенным вопрос очистки сточных вод на период производства строительных работ на промплощадке, проходке стволов и инженерной подготовки разрезов. Предложена концепция очистных сооружений сточных вод с применением мягких оболочечных конструкций — геотуб. Принцип работы очистных сооружений на основе геотуб заключается в последовательной очистке от крупной фракции взвешенных веществ за счет гравитационного осаждения сопровождаемого истечением осветленной воды через поры геомембраны на первом этапе и фильтрования через сорбционную загрузку, облаченную геомембранной, на втором. Выполнена оценка экономической эффективности применения геотуб для очистки сточных вод на период строительства капитальных очистных сооружений.

Ключевые слова: сточные воды, мягкие оболочечные конструкции, геотуба, мобильные очистные сооружения, геоэкологическая безопасность.

DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-97-104

В целях привлечения внимания общества к вопросам экологического развития РФ, сохранения биологического разнообразия и обеспечения экологической безопасности [1] проведен Год экологии. В рамках международной выставки-форума «Экотех-2017» заместитель министра природных ресурсов и экологии РФ Мурад Керимов рассказал ТАСС о предварительных итогах года по основным направлениям работы. В частности, «благодаря строительству и реконструкции очистных сооружений мы добились уменьшения объема загрязняющих веществ, сбрасываемых в воду, на 40 тыс. т в год» [2].

Под эгидой Года экологии в Кузбассе угольными предприятиями построены и реконструированы восемь очистных сооружений шахтных и карьерных вод, в том числе в модульном исполнении [3]. Бесспорно, это является положительным моментом. Однако очистные сооружения вводились в действие на уже действующих предприятиях. Вопрос заблаговременного строительства очистных сооружений до начала ведения строительных работ на промплощадках, проходки стволов и инженерной подготовки на разрезах не решен окончательно. Во многом это связано с высокой стоимостью строительства капитальных очистных сооружений, рассчитанных на расходы сточных вод в период эксплуатации.

Вместе с тем, в последнее время широкое распространение начинают приобретать модульные конструкции, являющиеся мобильными сооружениями, перемещение которых при необходимости возможно от объекта к объекту. Положительный опыт эксплуатации очистных сооружений в контейнерном ис-

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 1. С. 97–104.
© С.В. Дубинин, С.П. Бахаева. 2019.

Таблица 1

Концентрации веществ в сточной воде, C_1, мг/л
The concentration of substances in the waste water, C_1, mg/l

Наименование показателя	Предприятие					ПДК$_{р/х}$* [15]
	А	Б	В	Г	Д	
Марганец	0,042	0,03	0,05	0,0749	0,1	0,01
Нефтепродукты	0,072	0,04	0,02	0,181	0,05	0,05
Железо общее	0,572	0,15	0,38	0,287	0,1	0,1
Нитрат-ион	1,78	3,0	1,37	0,02	110	40

* Норматив предельно допустимой концентрации вредного вещества в водах водных объектов рыбохозяйственного значения

полнении получили на предприятиях АО «СУЭК-Кузбасс» [3]. Массовое внедрение подобных очистных сооружений останавливает их относительно высокая стоимость и длительные сроки доставки (от полугода). Для минимизации геоэкологического ущерба от сброса неочищенных стоков предлагается на период строительства капительных очистных сооружений применять мобильные конструкции из геомембраны, спаянной в оболочку. Принцип работы очистных сооружений на основе геотуб заключается в последовательной очистке от крупной фракции взвешенных веществ за счет гравитационного осаждения сопровождаемого истечением осветленной воды через поры геомембраны на первом этапе и фильтрования через сорбционную загрузку, облаченную геомембранной, на втором.

Технология очистки первого этапа с применением геотуб подробно рассмотрена в работах В.В. Миронова [4] и других авторов [5—8]. При условии наличия земель, более рациональным для осаждения взвешенных веществ видится строительство горизонтального отстойника. Горизонтальный отстойник является классическим решением и позволяет осадить до 90% взвешенных веществ, в зависимости от размеров накопителя и фракционного состава взвесей [9].

На втором этапе очистки предлагается к применению мягкая оболочечная конструкция [10—14]. Емкость геотубы предварительно заполняется сорбирующими веществами, за счет фильтрации через которые достигается окончательная очистка сточных вод от других загрязняющих веществ (тяжелых металлов,

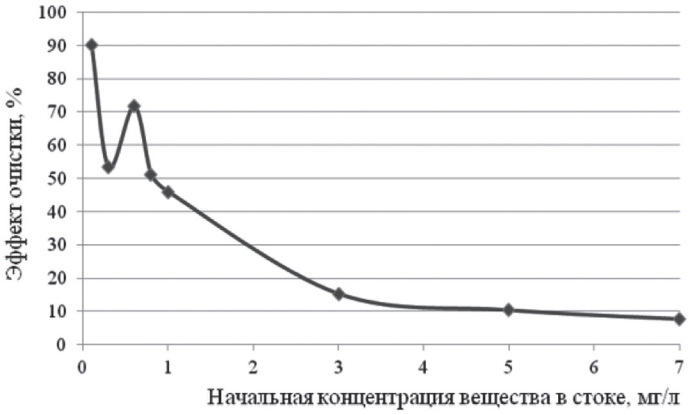


Рис. 1. Эффективность очистки от марганца
Fig. 1. Manganese removal efficiency

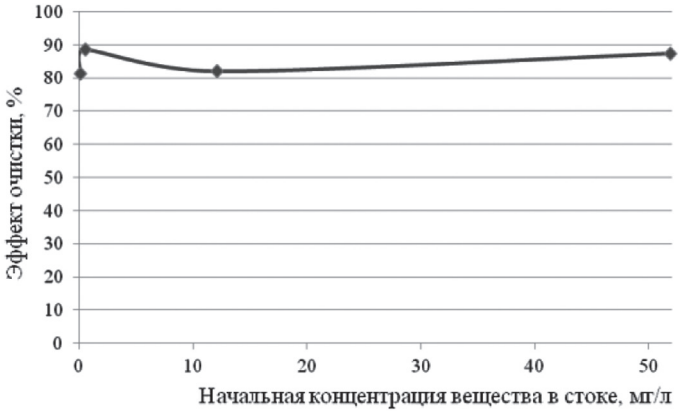


Рис. 2. Эффективность очистки от нефти
Fig. 2. Oil removal efficiency

нефтепродуктов). Оценка эффективности геотубы определена исходя из снижения платы за сверхлимитный сброс загрязненных веществ.

Для анализа приняты протоколы сточной (шахтной, карьерной) воды пяти строящихся объектов (табл. 1). По этическим соображениям указаны условные обозначения предприятий: шахты А и Б, разрезы В, Г и Д.

Эффективность очистки принята из условия применения в качестве загрузки природного сорбента — цеолита [16] по кривым связи начальной концентрации загрязняющего вещества с эффективностью очистки (рис. 1—4). Остаточное содержание загрязняющих веществ C_2 в профильтровавшейся воде рассчитано по формуле (табл. 2)

$$C_2 = C_1 - C_1 \cdot Э/100,$$

где C_1 — концентрация загрязняющего вещества в исходной воде, мг/л; $Э$ — эффект очистки, %.

После очистки вода не достигает значений $ПДК_{р/х}$ [15] по железу общему (шахта А) и нитрат-иону (разрез Д). Доочистка возможна за счет пропуска воды через дополнительную геотубу, заполненную сорбентом (например, цеолитом).

Плату за сброс определяют по формуле:

$$P = 5\sum_{i=1}^{n} S_i \cdot M_i ,$$

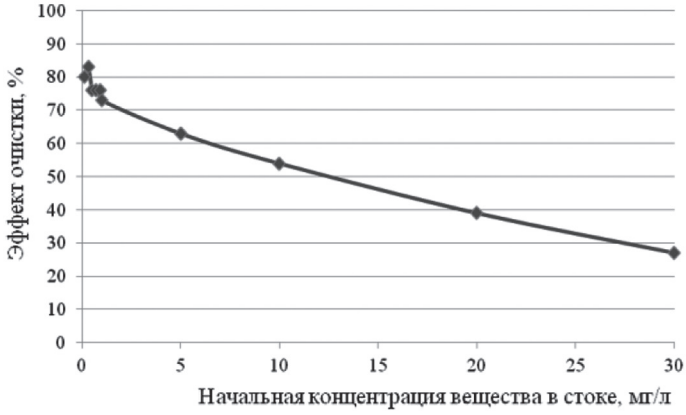


Рис. 3. Эффективность очистки от железа
Fig. 3. Ferrum removal efficiency

Рис. 4. Эффективность очистки от нитратов
Fig. 4. Nitrate removal efficiency

где P — плата за сверхлимитный сброс i-го загрязняющего вещества, руб.; S_i — ставка платы за 1 т i-го загрязняющего вещества [17], руб./т; M_i — масса сброса i-го загрязняющего вещества сверх установленного лимита, т.

Масса сброса ($M_{б/о}$ — без очистки; $M_{п/о}$ — после очистки) принята из расчета среднечасового расхода сточных вод по проектным данным и периода строительства капитальных очистных сооружений (7 месяцев).

Средний расход сточных вод принят прогнозируемый проектными решениями: шахта А — 2 318 400 м^3, шахта Б — 2 646 000 м^3, разрез В — 1 094 541 м^3, разрез Г — 73 979 м^3, разрез Д — 210 981 м^3.

Масса загрязняющих веществ в сбрасываемом стоке (табл. 3) получена умножением концентрации вещества на объем сточных вод.

Расчет платы представлен в виде гистограммы (рис. 5), где нечетные номера столбцов соответствуют показателям платы без очистки, а четные после очистки за сброс соответственно: 1 (2) — марганца; 3 (4) — нефтепродуктов; 5 (6) — железа; 7 (8) — нитратов; 9 (10) — суммарная плата. Привлекает внимание столбец 9 гистограммы, где наиболее наглядным является пример шахты А.

При отсутствии очистных сооружений и, соответственно, в условиях превышения концентраций марганца, нефтепродуктов и железа предельно-допустимых

Таблица 2

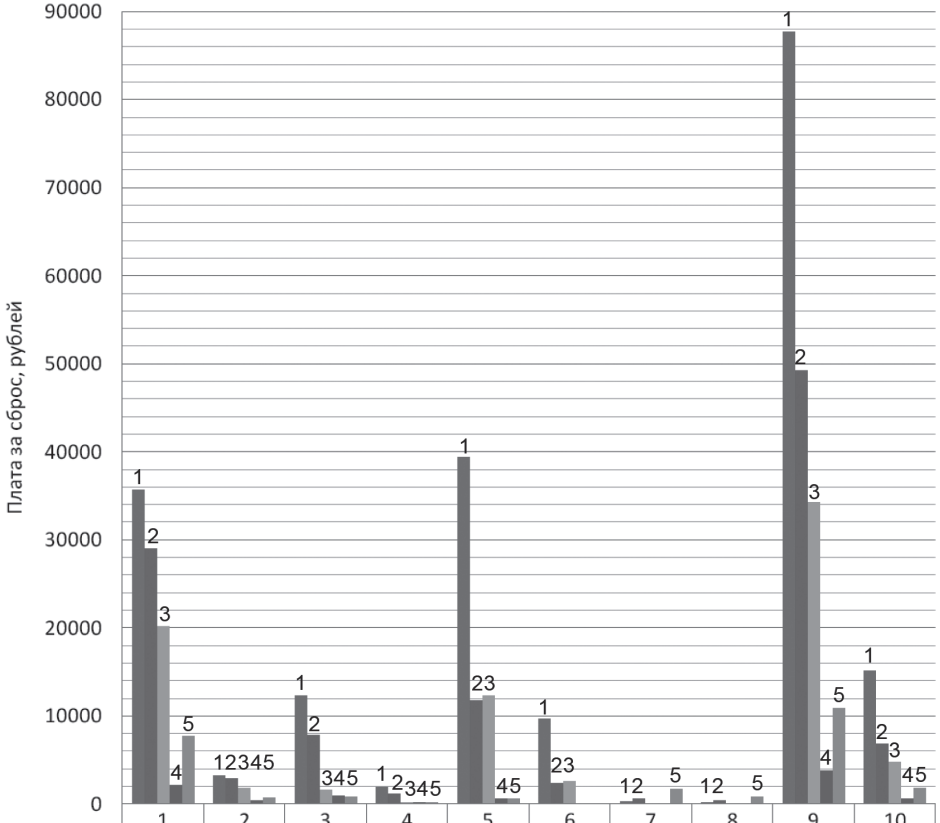
Прогнозные концентрации веществ в очищенных стоках
Expected concentration of substances in treated effluents

Наименование показателя	Предприятие										ПДК$_{р/х}$* [15]
	А		Б		В		Г		Д		
	Э, %	C_2, мг/л	Э, %	C_2, мг/л	Э, %	C_2, мг/л	Э, %	C_2, мг/л	Э, %	C_2, мг/л	
Марганец	90	0,004	90	0,003	90	0,005	90	0,008	90	0,010	0,010
Нефтепродукты	85	0,011	85	0,006	85	0,003	85	0,027	85	0,008	0,050
Железо общее	76	0,14	81	0,03	80	0,08	83	0,05	80	0,02	0,10
Нитрат-ион	25	1,34	26	2,22	25	1,03	22	0,02	49	56,10	40,00

Таблица 3

Масса загрязняющих веществ в сбрасываемом стоке, т
The mass of the pollutants discharged, t

Наименование показателя	Предприятие									
	А		Б		В		Г		Д	
	$M_{б/о}$	$M_{п/о}$	$M_{б/о}$	$M_{п/о}$	$M_{б/о}$	$M_{п/о}$	$M_{б/о}$	$M_{п/о}$	$M_{б/о}$	$M_{п/о}$
Марганец	0,097	0,009	0,079	0,008	0,055	0,005	0,006	0,001	0,021	0,002
Нефтепродукты	0,167	0,026	0,106	0,016	0,022	0,003	0,013	0,002	0,011	0,002
Железо общее	1,326	0,325	0,397	0,079	0,416	0,088	0,021	0,004	0,021	0,004
Нитрат-ион	4,127	3,107	7,938	5,874	1,500	1,127	0,001	0,001	23,208	11,836
Итого	5,717	3,467	8,52	5,977	1,993	1,223	0,041	0,008	23,261	11,844



		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Шахта А	35673	3310	12284	1913	39454	9670	307	231	87718	15124
2	Шахта Б	29054	2942	7797	1177	11812	2351	591	438	49254	6908
3	Разрез В	20227	1839	1618	221	12378	2618	112	84	34335	4762
4	Разрез Г	2207	368	956	147	625	119	0	0	3788	634
5	Разрез Д	7723	736	809	147	625	119	1729	882	10886	1884

Рис. 5. Плата за сброс
Fig. 5. Payment for discharge

концентраций, плата за сброс не превышает 100 тыс. руб., что для угледобывающего предприятия является не существенной суммой. Вместе с тем использование геотуб с сорбционной загрузкой позволяет не только существенно снизить размер платы за сброс стоков в водный объект: для шахт. А на 83%, шахты Б — 86%, разреза В — 86%, разреза Г — 83%, разреза Д — 83%, но значительно минимизировать геоэкологический ущерб.

Например, для анализируемых предприятий снижение массы загрязняющих веществ, сбрасываемых в воду составит: от шахты А — 2,250 т, шахты Б — 2,543 т, разреза В — 0,770 т, разреза Г — 0,033 т, разреза Д — 11,417 т. При этом вода после очистки достигает значений $ПДК_{р/х}$.

Возможность монтажа мягких оболочечных конструкций из геомембран в течение нескольких дней, а также их эффективность позволяют оперативно организовать очистку шахтовых и карьерных вод до выхода предприятия на проектную мощность.

Предлагаемые решения также применимы при очистке ливневых и талых вод с промплощадок предприятий.

Вместе с тем, без должного контроля со стороны природоохранных ведомств и ужесточения наказания за сброс загрязняющих веществ в окружающую природную среду, собственникам будет не выгодно реализовывать мероприятия по очистке сточных вод на период строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Указ* Президента РФ от 05.01.2016 № 7 «О проведении в Российской Федерации Года экологии».

2. *Носова А.* В России подводят итоги Года экологии. Первый лесопромышленный портал [Электронный ресурс] — Режим доступа: http://www.wood.ru/ru/lonewsid-77821.html (25.12.2017).

3. *Кемеровская* область: итоги года экологии. Сибирский бизнес-обозреватель RESFO.RU [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.resfo.ru/kef2013/13-power/news-state/16466-kemerovskaya-oblast-itogi-goda-ekologii.html (25.12.2017).

4. *Миронов В.В., Миронов Д.В., Чикишев В.М., Шаповал А.Ф.* Использование мягких геосинтетических оболочечных конструкций в строительстве. — М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2005. — 64 с.

5. *Аджиенко В., Ладнер И., Тераудс Я.* Крупноразмерные замкнутые фильтрующие оболочки. Геотубы в строительстве, производстве и на защите окружающей среды. — СПб., 2012. — 344 с.

6. *TenCate* Geotube® Dewatering Container [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.tencate.com/apac/geosynthetics/product/dewatering-technology/dewatering-container.aspx (12.09.2017).

7. *Model* Tests on Dredged Soil–Filled Geocontainers Used as Containment Dikes for the Saemangeum Reclamation Project in South Korea. Hyeong-Joo Kim, Ph.D., A.M.ASCE; Myoung-Soo Won, Ph.D.; Kwang-Hyung Lee; Jay C. Jamin. DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000532, 2015.

8. *Fowler J., Bagby R. M., Trainer E.* Dewatering sewage sludge with geotextile tubes // Geotechnical Fabrics Report. 1997. No 15. pp. 26—30.

9. *Гнедин К.В.* Режим работы и гидравлика горизонтальных отстойников. — Киев, 1974.

10. *Patent US 5232429A*. Method and apparatus for making a continuous tube of flexible sheet material. J. Cizek, N. J. J. van Rensburg (ЮАР). 03.08.1993.

11. *Patent US 0129866A1*. Geotextile tube. J. L. Smallwood, W. A. Smallwood (US). 21.05.2009.

12. *Patent US 006056438A*. Geotextile container and method of producing same. A. S. Bradley (US). 02.05.2000.

13. *Patent US 7357598B1*. Apparatus and method for deploying geotextile tubes. A. S. Bradley (US). 15.04.2008.

14. *Лобанов Ф.И. и др.* ПМ 131640, РФ, МКИ B01D 29/11 (2006.01). Геотуба; Опубл. в Б.И., 2013. — № 24.

15. *Приказ* Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (Зарегистрировано в Минюсте России 13.01.2017 № 45203).

16. *Технический* отчет по мероприятию «Исследование цеолитов из местного сырья с определением технических условий по их использованию при очистке карьерных вод». — Барнаул: ООО «Цент Инженерных технологий», 2012.

17. *Постановление* Правительства РФ от 13.09.2016 № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах». ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Дубинин Сергей Владимирович[1] — аспирант начальник отдела сантехники и гидромеханизации, e-mail: sergeydubinin@yandex.ru, ОАО «Кузбассгипрошахт»,
Бахаева Светлана Петровна[1] — доктор технических наук, профессор,
[1] Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2019. No. 1, pp. 97–104.

Prediction of nature protection efficiency of using soft shelled systems in waste water treatment

Dubinin S.V.[1], Graduate Student, Head of Sanitary Engineering Department,
Open Joint Stock Company «KuzbassGhiproShakht»,
650000, Kemerovo, Russia, e-mail: sergeydubinin@yandex.ru,
Bakhaeva S.P.[1], Doctor of Technical Sciences, Professor,
[1] Kuzbass State Technical University named after T. Gorbachev,
650000, Kemerovo, Russia.

Abstract. High cost and long period of commissioning of permanent sewage works leave open the problem connected with waste water treatment in the period of infrastructure construction, shafting and land development in the area of open pit mines. To this effect, the concept of making waste water treatment facilities using soft-shelled systems of geotubes is set out. A waste water treatment facility made of geotubes removes coarse suspended particles from water by gravity precipitation with outflow of clarified water through pores of the geomembrane at the first stage and by filtering through an adsorption charge in the geomembrane at the second stage. The economic effect of using the geotubes in waste water treatment in the period of construction of permanent sewage works is evaluated.

Key words: waste water, soft-shelled systems, geotube, mobile water treatment facilities, geological safety.

DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-97-104

REFERENCES

1. Ukaz Prezidenta RF ot 05.01.2016 № 7 «O provedenii v Rossiyskoy Federatsii Goda ekologii» [On the holding of the Year of Ecology in the Russian Federation: Decree of the President of the Russian Federation of January 5, 2016 No. 7].

2. Nosova A. V Rossii podvodyat itogi Goda ekologii. *Pervyy lesopromyshlennyy portal*, http://www.wood.ru/ru/lonewsid-77821.html. (accessed 25.12.2017).

3. *Kemerovskaya oblast': itogi goda ekologii. Sibirskiy biznes-obozrevatel' RESFO.RU*. http://www.resfo.ru/kef2013/13-power/news-state/16466-kemerovskaya-oblast-itogi-goda-ekologii.html (accessed 25.12.2017).

4. Mironov V.V., Mironov D.V., Chikishev V.M., Shapoval A.F. *Ispol'zovanie myagkikh geosinteticheskikh obolochechnykh konstruktsiy v stroitel'stve* [Use of soft geosynthetic shelled structures in construction], Moscow, Izd-vo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2005, 64 p.

5. Adzhienko V., Ladner I., Terauds Ya. *Krupnorazmernye zamknutye fil'truyushchie obolochki. Geotuby v stroitel'stve, proizvodstve i na zashchite okruzhayushchey sredy* [Large closed filtering shells. Geotubes in construction, production and environmental protection], Saint-Petersburg, 2012, 344 p.

6. *TenCate Geotube® Dewatering Container*. http://www.tencate.com/apac/geosynthetics/product/dewatering-technology/dewatering-container.aspx (accessed 12.09.2017).

7. *Model Tests on Dredged Soil–Filled Geocontainers Used as Containment Dikes for the Saemangeum Reclamation Project in South Korea*. Hyeong-Joo Kim, Ph.D., A.M.ASCE; Myoung-Soo Won, Ph.D.; Kwang-Hyung Lee; Jay C. Jamin. DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000532, 2015.

8. Fowler J., Bagby R. M., Trainer E. Dewatering sewage sludge with geotextile tubes. *Geotechnical Fabrics Report*. 1997. No 15. pp. 26—30.

9. Gnedin K. V. *Rezhim raboty i gidravlika gorizontal'nykh otstoynikov* [Operating mode and hydraulics of horizontal settling ponds], Kiev, 1974.

10. *Patent US 5232429A*. Method and apparatus for making a continuous tube of flexible sheet material. J. Cizek, N. J. J. van Rensburg (ЮАР). 03.08.1993.

11. *Patent US 0129866A1*. Geotextile tube. J. L. Smallwood, W. A. Smallwood (US). 21.05.2009.

12. *Patent US 006056438A*. Geotextile container and method of producing same. A. S. Bradley (US). 02.05.2000.

13. *Patent US 7357598B1*. Apparatus and method for deploying geotextile tubes. A. S. Bradley (US). 15.04.2008.

14. Lobanov F. I. *PM 131640, RF, MKI B01D 29/11 (2006.01)*. Geotuba, 2013.

15. *Prikaz Minsel'khoza Rossii ot 13.12.2016 № 552 «Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob"ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimykh kontsentratsiy vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob"ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya»* [Approved water quality standards for fishery water bodies, including maximum allowable concentrations of harmful substance in fishery water bodies: Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation of December 13, 2016 No. 552].

16. Tekhnicheskiy otchet po meropriyatiyu «Issledovanie tseolitov iz mestnogo syr'ya s opredeleniem tekhnicheskikh usloviy po ikh ispol'zovaniyu pri ochistke kar'ernykh vod» [Analysis of local-production zeolites to determine technical regulations for their use in open pit mine water treatment: Technical report], Barnaul, ООО «Tsent Inzhenernykh tekhnologiy», 2012.

17. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 13.09.2016 № 913 «O stavkakh platy za negativnoe vozdeystvie na okruzhayushchuyu sredu i dopolnitel'nykh koeffitsientakh»* [Environmental impact rates and extra factors: Resolution of the Government of the Russian Federation of September 13, 2016 No. 913].

РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

ГЕОМЕТРИЯ ИНВАРИАНТОВ ДИСТОРТНОСТИ В ГЕОМЕХАНИКЕ ГОРНЫХ ПОРОД

(№ 1165/01—19, № 1166/01—19, № 1167/01—19 от 06.11.2018; 5 с.)

Зюзин Борис Федорович[1] — доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой, e-mail: zbfru@yandex.ru,
Жигульская Александра Ивановна[1] — кандидат технических наук, доцент,
Юдин Сергей Алексеевич[1] — преподаватель-исследователь,
[1] Тверской государственный технический университет.

Дано геометрическое представление инвариантов предельных состояний в геомеханике горных пород в прямоугольной системе координат.

Ключевые слова: дистортность, инварианты, прямоугольная система координат, геомеханика.

GEOMETRY OF INVARIANTS OF DISTORTION IN GEOMECHANICS OF ROCKS

Zyuzin B.F.[1], Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Chair, e-mail: zbfru@yandex.ru,
Zhigulskaya A.I.[1], Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
Yudin S.A.[1], Teacher-Researcher,
[1] Tver State Technical University e-mail: common@tstu.tver.ru, 170026, Tver, Russia.

A geometric representation of the limit state invariants in the geome-chanics of rocks in a rectangular coordinate system is given.

Key words: distortion, invariants, rectangular coordinate system, geo-mechanics.