

На правах рукописи



НЕМИРОВСКИЙ АНДРЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ФОРМИРОВАНИЯ НАМЫВНОГО
ХВОСТОХРАНИЛИЩА, УСТОЙЧИВОГО К ВЕТРОВЫМ ПОТОКАМ**

Специальность 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород,
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2016

Работа выполнена в ФГАОУ ВО Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС») Минобрнауки России

Научный руководитель:

Каркашадзе Гиоргий Григолович – доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Сергеев Сергей Валентинович – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой прикладной геологии и горного дела, ФГАОУ ВО Белгородский национальный исследовательский университет (НИУ «БелГУ»);

Осокин Александр Андреевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела геомеханики и разрушения горных пород ФГБУН «Институт проблем комплексного освоения недр» Российской академии наук (ИПКОН РАН)

Ведущая организация:

ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, защите инженерных сооружений от обводнения, специальным горным работам, геомеханике, геофизике, гидро-технике, геологии и маркшейдерскому делу» (ОАО «ВИОГЕМ»), г. Белгород

Защита диссертации состоится «6» октября 2016 г. в 14 часов 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.132.16 при НИТУ «МИСиС» по адресу: 119991, Москва, Ленинский проспект, д.6, стр. 2.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке НИТУ «МИСиС» и на сайте <http://old.misis.ru>

Автореферат разослан «___» _____ 2016 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,

д-р техн. наук, проф.



А.С. Вознесенский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. При разработке железорудных месторождений открытым и подземным способами после обогатительного передела полезного ископаемого формируются масштабные наземные хранилища мелкодисперсных песков, которые под действием ветровых потоков наносят вред окружающей среде, загрязняя прилегающие территории. Горно-обогатительные комбинаты черной металлургии России в настоящее время эксплуатируют свыше 35 крупных хвостохранилищ, в которые уложено более 2,5 млрд. м³ пустой породы. На долю пылящих поверхностей сухих намывных пляжей, откосов дамб и плотин приходится 54 % от общего количества выбросов горного предприятия. Обычно в жаркий и сухой период сцепление между частицами на поверхности хвостохранилища резко снижается, и уже при скорости ветра 2 – 3 м/с пыль взмётывается в атмосферу и перемещается на окружающие территории. Только на предприятиях Курской магнитной аномалии площадь непрерывных источников загрязнений в виде техногенных массивов намывных и наливных хвостохранилищ превышает 5000 га. Поэтому разработка и внедрение безопасных и эффективных технологий формирования намывных хвостохранилищ без пыления сухих пляжей представляют важную научно-практическую задачу. Она решается на основе управления пылеветровыми потоками на выходе из хвостохранилищ путем осаждения пыли на связующей поверхности пляжа.

Целью работы является обоснование и разработка метода формирования намывного хвостохранилища, устойчивого к ветровым потокам, за счет формирования поверхности надводных пляжей, осаждающей и связывающей пылевые частицы.

Основная идея работы заключается в управлении исходящими из хвостохранилища пылеветровыми потоками путем формирования наклонной к заградительной дамбе поверхности намыва, что позволяет накапливать на поверхности пляжа минеральные связующие вещества хвостов обогащения и

исключить вынос пыли за пределы хвостохранилища за счет ориентации вниз части воздушного потока.

Задачи исследования, поставленные и решённые для достижения указанной цели:

1. Анализ способов и технических средств управления пылегазовыми потоками при эксплуатации намывного хвостохранилища.

2. Экспериментальные исследования процесса нанесения связующих материалов на пылящие поверхности хвостохранилища в натурных условиях.

3. Обоснование возможности использования минеральных связующих составов из примесей исходной железной руды, содержащихся в хвостовой пульпе.

4. Компьютерное моделирование воздушных потоков на поверхности хвостохранилища в зависимости от угла наклона прибрежной части пляжа и размеров ограждающей дамбы.

5. Аналитические исследования процесса перемещения пылевых частиц в воздушном потоке на выходе из хвостохранилища.

6. Обоснование технологической схемы намыва хвостохранилища, устойчивого к ветровым нагрузкам.

Методы исследований включают анализ литературных источников и патентной документации в области пылеподавления при формировании техногенных источников пыли, лабораторные и производственные эксперименты, вычислительное моделирование процесса распространения воздушных потоков, аналитические исследования перемещения пылевых частиц в аэродинамическом потоке, сравнительный анализ теоретических и практических результатов.

Научные положения, разработанные лично соискателем, и их новизна:

1. Комплексное измельченное вещество, содержащее в массовой пропорции 1 часть бумажных отходов и 7...10 частей глины, смешанное с пульпой хвостов обогащения, обладает плавучестью и после осушения

приграничной зоны наклонного пляжа хвостохранилища аккумулируется на его поверхности в качестве устойчивого связующего для закрепления пылящих частиц.

2. В составе исходной железной руды и продуктов обогащительного передела содержится порядка 5 % минеральных примесей в виде карбонатов кальция, магния и глинистых пород, которые обладают связующими свойствами и могут быть целенаправленно использованы на поверхности намывного пляжа для повышения ее устойчивости к ветровым потокам.

3. Нисходящий угол в пределах 3...6 градусов наклона поверхности намывного пляжа к контуру ограждающей дамбы обеспечивает ориентацию вниз части исходящего ветрового потока, достаточной для осаждения пыли на приграничной поверхности намывного хвостохранилища.

Обоснованность и достоверность полученных результатов обеспечиваются корректным использованием физических законов перемещения твердых частиц в аэродинамическом потоке, методов математического анализа и компьютерного моделирования ветрового потока в среде COMSOL Multiphysics, а также согласованностью полученных научных данных с результатами ранее выполненных исследований.

Научное значение исследования – разработана аналитическая модель переноса песчаных частиц аэродинамическими потоками на выходе из хвостохранилища с учетом ширины, угла наклона приграничной поверхности пляжа и высоты ограждающей дамбы.

Практическое значение работы состоит в том, что полученные результаты и рекомендации по формированию наклонной поверхности намывного пляжа с рациональным выпуском пульпы из распределительных трубопроводов и связующими веществами предназначены для использования на обогащительных фабриках горных предприятий при проектировании намывных хвостохранилищ, устойчивых к ветровым потокам.

Реализация выводов и рекомендаций работы. Результаты работы в виде Методических указаний по проектированию намывного

хвостохранилища, устойчивого к ветровым нагрузкам, нашли применение на Стойленском горно-обогатительном комбинате при совершенствовании технологии намыва хвостохранилища. Результаты исследований используются также в учебном процессе при проведении лекционных и практических занятий по дисциплине «Компьютерное моделирование физических процессов горного производства» горного института НИТУ «МИСиС».

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на научных симпозиумах «Неделя горняка» в 2012 – 2014 гг., на технических советах ОАО «Стойленский ГОК» в 2011 – 2015 гг., на X-й Международной научной школе молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (ИПКОН РАН, 2013 г.), на научных семинарах и заседаниях кафедры физических процессов горного производства и геоконтроля НИТУ «МИСиС».

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 8 научных работ, из них 2 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы из 107 наименований, 2 приложений, содержит 32 рисунка и 8 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Одним из существенных источников загрязнения на горно-обогатительных комбинатах являются пылящие поверхности хвостохранилищ, накапливающих отходы обогатительного передела полезных ископаемых. На долю пылящих поверхностей сухих намывных пляжей, откосов дамб и плотин приходится 54 % от общего количества выбросов горного предприятия. Приконтурные пляжи мелкодисперсного песка являются мощным источником пыли, которая в жаркое и сухое время года переносится воздушными потоками при скорости более 2 м/с на

окружающие территории, оседая в городах, полях и на сельскохозяйственных угодьях. Пылевые потоки загрязняют плодородную почву металлами и ухудшают экологическое состояние воздушного бассейна в горнодобывающем регионе. Поэтому проблема предотвращения пыления хвостохранилищ требует эффективных технических решений.

Совершенствованию технологий формирования хвостохранилищ горно-обогатительных комбинатов и защите окружающей среды посвящено множество научных исследований. Следует выделить достижения российских ученых С. Г. Аксенова, П.В. Бересневича, А.М. Гальперина, И.Г. Ищука, Г.Г. Каркашадзе, Е.В. Лычагина, В.В. Мосейкина, С.В. Сергеева, И.В. Синицы, М.А. Пашкевич, Г.А. Позднякова и других, внесших большой вклад в теорию и практику функционирования хвостохранилищ. Однако, несмотря на множество научно-технических разработок в этой области, проблемы пыления хвостохранилищ все еще не исключены и до настоящего времени не разработано эффективных технологических решений, позволяющих масштабно снизить негативное воздействие намывных хвостохранилищ на окружающую среду.

Частичным решением проблемы пыления является использование технологии наливных хвостохранилищ, когда вся площадь хвостохранилища покрыта водой. Однако реализация такой технологии требует значительного водного ресурса, что само по себе наносит экологический ущерб подземной водной среде и к тому же требует весомых материальных средств на реализацию.

Аналогичная ситуация складывается практически на всех горно-обогатительных комбинатах. Существует множество способов закрепления пылящих пляжей, реализующих обработку поверхности различными связующими веществами: цементом, известью, жидким стеклом, химическими составами. Однако их широкое применение ограничено высокими материальными затратами и трудоемкостью.

В диссертации рассмотрена частная задача покрытия поверхности пылящих пляжей связующим составом, обладающим адгезионными свойствами и плавучестью, что позволяет накапливать этот состав на поверхности осушаемого песчаного пляжа. Исследована возможность применения измельченного комплексного состава, включающего в массовой пропорции 1 часть бумажных отходов и 7...10 частей глины. Данный состав, смешанный с пульпой хвостов обогащения, обладает плавучестью и в процессе осушения приграничной поверхности пляжа аккумулируется в качестве устойчивого связующего.

Как показали лабораторные эксперименты, данный состав на поверхности хвостов обогащения при высыхании и усадке не растрескивается и выдерживает аэродинамическое воздействие свежего ветра. В производственных условиях также апробирован метод доставки разработанного связующего состава на поверхность хвостохранилища с применением поливальной техники, оснащенной инъекционной установкой, работающей по принципу отсоса в напорную струю воды комплексного связующего состава, подготовленного в отдельной емкости. В натурных условиях установлено, что использование инжектора позволяет осуществить доставку связующего состава на поверхность пляжа на расстояние от дамбы до 10 м. Испытанный метод напыления с помощью инжектора отличается простотой практической реализации и рекомендован к использованию.

Поскольку нанесение искусственных связующих на поверхность пылящего пляжа процесс трудоемкий, рассмотрен вариант использования минеральных связующих, содержащихся в исходной железной руде и хвостовой пульпе отходов обогащения. В таблице представлен химический состав исходной руды, хвостов обогащения, пылящего участка пляжа и естественно закрепленной зоны пляжа. Например, руда Стойленского месторождения содержит железо в общем количестве 34,9 %, кварц – 42,0 % и прочие химические компоненты (Al_2O_3 , S, SO_3 , P, P_2O_5 , CaO, MgO, TiO_2 , MnO, Na_2O_3 , K_2O), составляющие основу минеральных примесей. После

переработки руды хвостовая пульпа содержит те же минеральные примеси, но в другой пропорции. Частицы железорудных минералов (до 15 %) и кварца (до 70 %) имеют низкую адгезию и поэтому склонны к ветровой эрозии. Однако, вместе с пылеобразующими частицами в пульпе содержатся и прочие химические элементы, составляющие основу минералов с адгезионными и связующими свойствами. Это – известняк, доломит и глина. Обосновано, что естественные связующие, содержащиеся в хвостовой пульпе, могут быть целенаправленно использованы для покрытия поверхности пляжа.

Таблица – Химический состав руды и хвостов обогащения

Химический состав	Исходная руда, %	Хвосты в пульповоде, %	Хвосты на прибрежной зоне пляжа, %	
			пылящий пляж	закрепленная зона пляжа
Fe _{общ}	34,9	9,81	13,40	8,14
FeO	15,64	6,08	5,2	5,03
Fe ₂ O ₃	32,48	7,24	13,36	6,03
Fe _{mgt}	27,83	0,86	2,2	0,55
п.п.п.	1,77	3,19	1,98	3,5
SiO ₂	42,0	70,07	70,70	65,8
Al ₂ O ₃	1,09	1,68	1,35	1,32
S	0,13	0,15	0,120	0,23
SO ₃	0,33	0,38	0,300	0,575
P	0,097	0,16	0,130	0,1
P ₂ O ₅	0,22	0,38	0,298	0,231
CaO	2,02	3,65	2,840	3,22
MgO	3,02	5,6	3,000	13,4
TiO ₂	0,07	0,14	0,060	0,08
MnO	0,066	0,088	0,060	0,07
Na ₂ O ₃	0,34	0,53	0,380	0,37
K ₂ O	0,37	0,57	0,41	0,42

В лабораторных условиях выполнен химический анализ песков, взятых с двух участков хвостохранилища: с площади пылящего пляжа и с площади

устойчивой поверхности в естественно закрепленной зоне пляжа. Установлено, что в устойчивой зоне связующих минеральных веществ, почти в три раза больше, чем на поверхности пылящего пляжа.

Данный результат послужил основанием для разработки метода аккумуляции связующего состава на поверхности пляжа.

Интенсивность пыления пляжей хвостохранилища в значительной мере определяется ветровым режимом района, который формируется под влиянием циркуляционных процессов в атмосфере в зависимости от особенностей рельефа местности. Распространение пыли зависит от скорости ветра и величины вертикальной подъемной силы.

Скорость взметывания частицы u_0 восходящим воздушным потоком определяется из равенства гравитационной и аэродинамической сил и составляет в общем виде

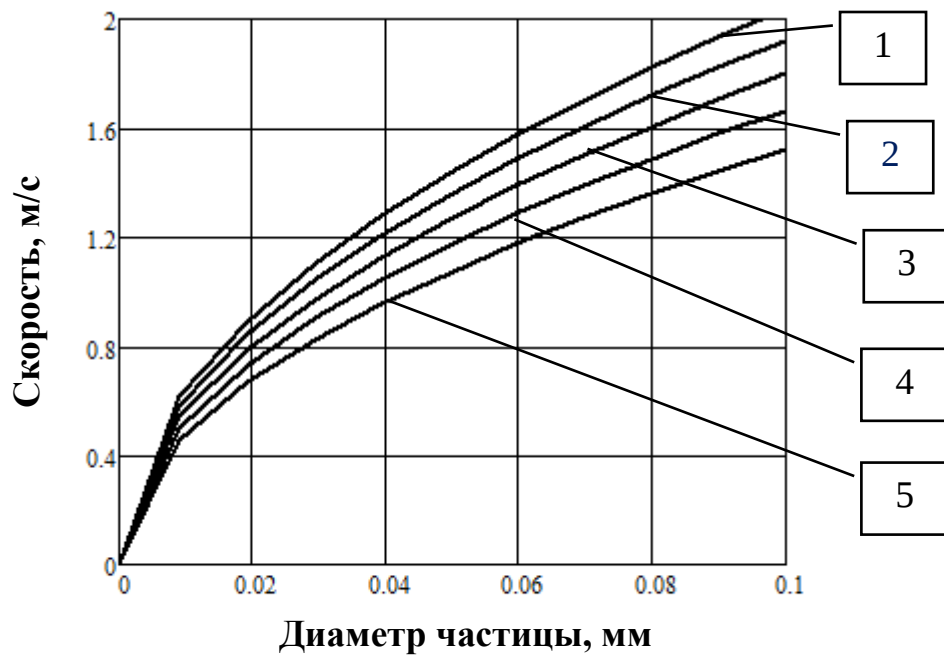
$$u_0 = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{gd}{C} \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1}} \quad (1)$$

где d – диаметр частицы; g – ускорение свободного падения; ρ_2 – плотность частицы; ρ_1 – плотность воздуха; C – коэффициент аэродинамического сопротивления.

Графические зависимости скорости взметывания частиц различных размеров представлены на рисунке 1.

Рассматривая проблему с позиций предотвращения пыления хвостохранилища, необходимо выделить управляемый фактор в виде вектора скорости вертикального воздушного потока, величина которой может быть уменьшена или направлена вниз за счет рационального формирования рельефа поверхности песчаного пляжа.

Выполнен сравнительный анализ склонности к пылению хвостохранилища в зависимости от угла наклона поверхности прибрежного пляжа к заградительной дамбе. При решении задачи использована методика моделирования воздушных потоков методом конечных элементов на основе уравнения Навье-Стокса в среде «COMSOL Multyphysics».



1) $\rho_2 = 4500$ кг/м³; 2) $\rho_2 = 4000$ кг/м³; 3) $\rho_2 = 3500$ кг/м³;
 4) $\rho_2 = 3000$ кг/м³; 5) $\rho_2 = 2500$ кг/м³.

Рисунок 1 – Скорость взметывания частицы при ее различных плотностях

Выполнен также анализ реальных геометрических моделей двух сравниваемых вариантов:

- первый вариант, когда наклон сухого пляжа хвостохранилища направлен от борта в глубину пруда-отстойника (тангенс угла наклона поверхности равен отношению высоты перепада 5 м к длине пляжа 100 м, угол составляет ~ 3 градусов);

- второй вариант намыва предусматривает геометрическую форму пляжа в вертикальном сечении в виде треугольника высотой 5 м и основанием 100 м (рассматривается равнобедренный треугольник, равнонаклонённый к пруду-отстойнику и дамбе; тангенс угла наклона равен отношению высоты 5 м к полудлине основания 50 м, угол составляет ~ 6 градусов).

Граничные условия задачи заданы в виде различия атмосферных давлений. Рассмотрен вариант перемещения воздуха под действием горизонтального градиента давлений при скорости потока на границе 6 м/с.

На рисунке 2 представлены сравниваемые графические зависимости вертикальной скорости воздушного потока вдоль горизонтальной плоскости на высоте 1 м над береговой дамбой, возвышающейся над сухим пляжем.

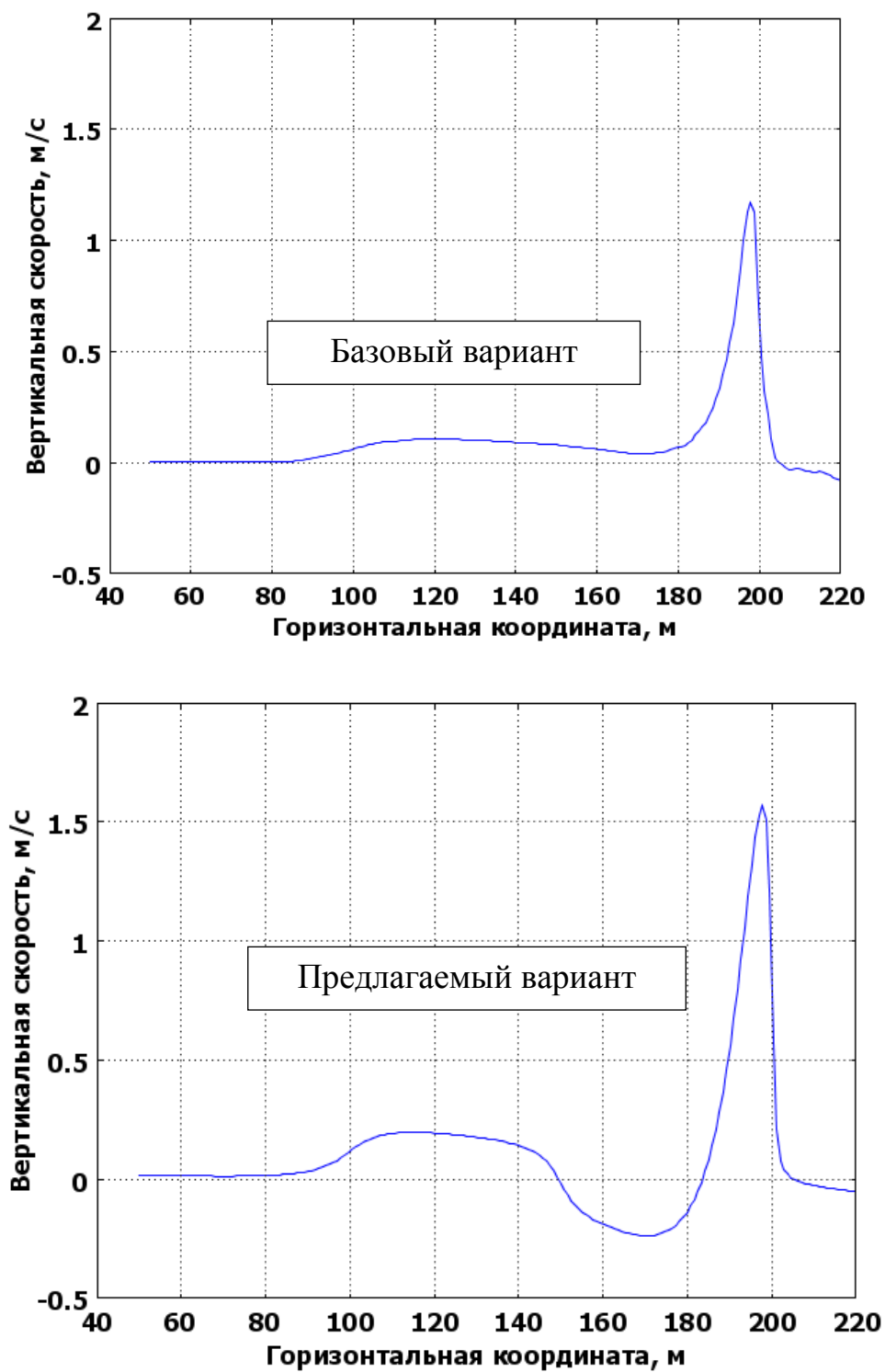


Рисунок 2 – Вертикальная скорость воздушного потока вдоль пляжа

На графиках видно различие в эпюрах вертикальных скоростей воздушного потока. В варианте с восходящим уклоном пляжа по отношению к береговой дамбе на всех участках реализуется вектор воздушного потока, направленный вверх, что способствует выносу пыли за пределы ограждающей дамбы. В то же время в варианте с нисходящим уклоном поверхности пляжа перед береговой дамбой имеется часть участка, когда вектор вертикальной скорости воздушного потока ориентируется вниз, способствуя нисходящему движению пылевых частиц перед дамбой как в аэродинамическую ловушку.

Таким образом, моделирование показало: вариант формирования поверхности намывного хвостохранилища с нисходящим уклоном в ее прибрежной части реализует режим аэродинамической ловушки для частиц песка, поступающего из хвостохранилища, что представляет интерес при практической реализации. Аналогичная картина с аэродинамической ловушкой выполняется при других и более высоких скоростях воздушного потока, что свидетельствует об общей закономерности рассмотренного варианта.

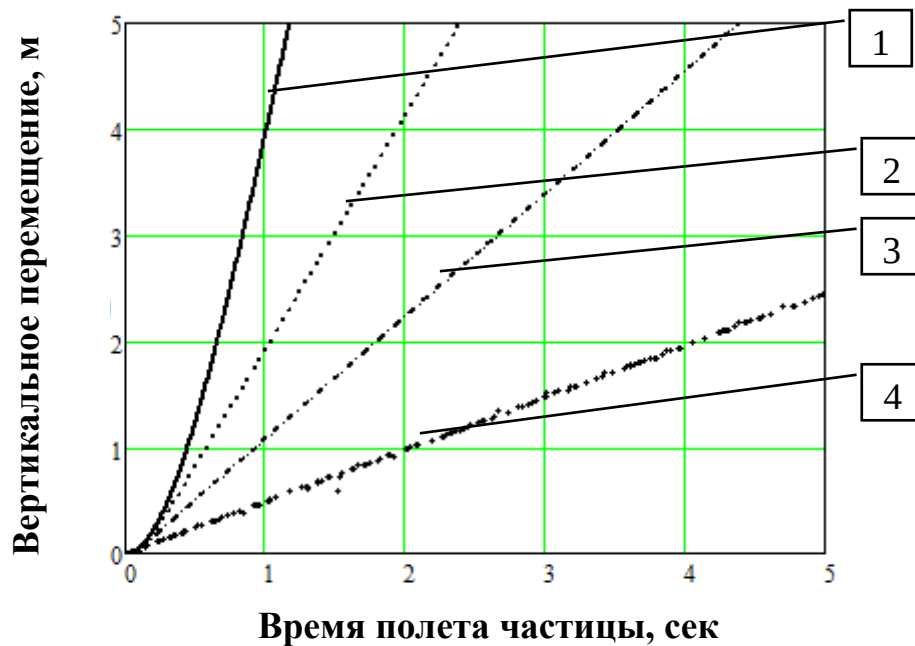
Выполнены также теоретические исследования движения пылевых частиц в потоке воздуха на выходе из хвостохранилища – перед заградительной дамбой. В аналитической модели принят квадратичный закон силы сопротивления от скорости воздуха, действующий на пылевую частицу. Описано уравнение движения частицы в горизонтальном и вертикальном направлениях. Получено выражение для расчёта вертикального расстояния, за время горизонтального перемещения частицы на участке уклона перед заградительной дамбой:

$$y = \int_0^t \left(\frac{(\overline{U}_y + U_0) \frac{(\overline{U}_y - V_0 - U_0)}{(\overline{U}_y - V_0 + U_0)} - (\overline{U}_y - U_0) \exp(-2C \frac{t}{t_0})}{\frac{(\overline{U}_y - V_0 - U_0)}{(\overline{U}_y - V_0 + U_0)} - \exp(-2C \frac{t}{t_0})} \right) dt, \quad (2)$$

где t – текущее время; $\overline{U}_y$ – средняя вертикальная скорость восходящего воздушного потока; V_0 – начальная вертикальная скорость частицы;

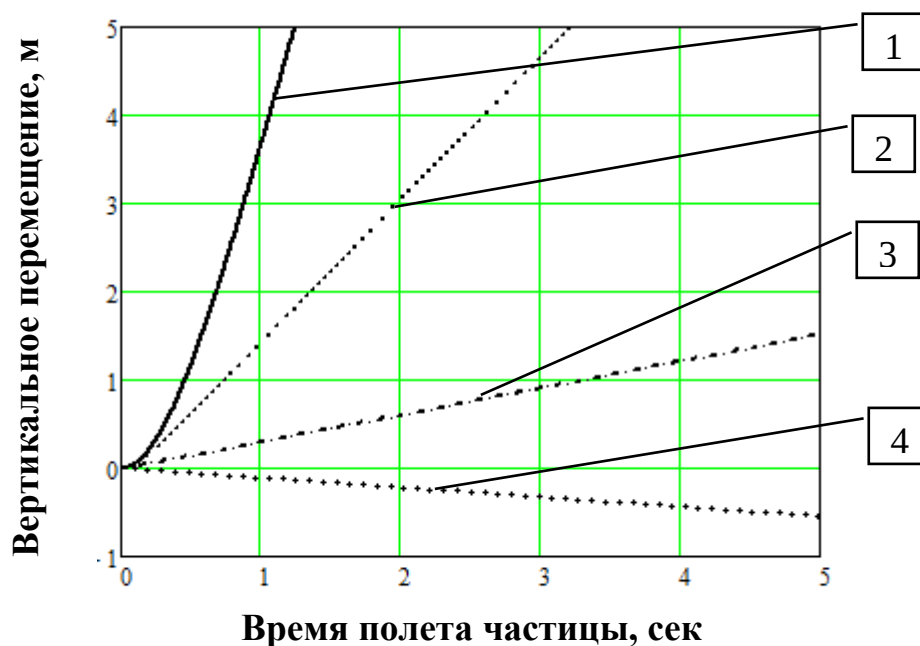
$$U_0 = \sqrt{\frac{4gd\rho_2}{3\rho_1}}; \quad t_0 = \sqrt{\frac{4d\rho_2}{3g\rho_1}}.$$

Результаты расчетов величины горизонтального перемещения частиц размерами от 1 мм до 1 мкм, попавших в зону осаждения в зависимости от их размеров, в диапазоне времени до 5 с, при средней скорости вертикального воздушного потока вниз 0,3 м/с, представлены на рисунке 3. Показано, что в данном случае эффект осаждения распространяется на все песчаные частицы. Однако, если скорость вертикального воздушного потока, направленного вверх, как в базовом варианте, например, равна -0,3 м/с (рисунок 4), картина качественно меняется. В этом случае самые мелкие частицы хвостов обогащения могут преодолеть заградительную дамбу высотой менее 2 м.



1) $d = 10^{-3}$ м; 2) $d = 10^{-4}$ м; 3) $d = 10^{-5}$ м; 4) $d = 10^{-6}$ м;
 $\rho_1 = 1,18$ кг/м³; $\rho_2 = 3300$ кг/м³; $C = 1,1$; $\overline{U}_y = 0,3$ м/с; $V_0 = 0$.

Рисунок 3 – Вертикальное перемещение частиц при нисходящей скорости потока



1) $d = 10^{-3}$ м; 2) $d = 10^{-4}$ м; 3) $d = 10^{-5}$ м; 4) $d = 10^{-6}$ м;
 $\rho_1 = 1,18 \text{ кг/м}^3$; $\rho_2 = 3300 \text{ кг/м}^3$; $C = 1,1$; $\overline{U}_y = -0,3 \text{ м/с}$; $V_0 = 0$.

Рисунок 4— Вертикальное перемещение частиц при восходящей скорости потока

Таким образом, можно утверждать, что участок зоны осаждения длиной 50 м (угол наклона ~ 6 градусов), на котором спроектирован уклон пляжа, нисходящий в сторону берега, способен выполнять функцию аэродинамической ловушки. В сочетании с закреплением сухой поверхности, естественными или искусственными вяжущими, эффект пылеподавления усиливается.

Выполненные исследования послужили основой для разработки метода формирования намывного хвостохранилища (рисунок 5). В представленном техническом решении, так же как в базовом варианте, вдоль периметра хвостохранилища установлен магистральный пульповод 1. Хвостохранилище ограничено наращиваемой дамбой 2, сформированной из водоупорных пород. По распределительным пульповодам 3 на расстояние порядка 50 м от дамбы в пруд направляют хвостовую пульпу, которая под

собственным весом перетекает в двух направлениях: в глубину пруда-отстойника и по направлению к ограждающей дамбе.

В процессе намыва постепенно формируется пляж 4, поверхность которого находится выше зеркала свободной воды 5. На начальной стадии заполнения хвосты 6 расположены в воде ниже уровня воды и находятся в связанном состоянии. Из распределительных пульповодов 3 истекает пульпа 7, которая распределяется по радиусу вокруг выходного отверстия. Соседние пульповоды, расположенные на расстоянии 50 м друг от друга, намывают слой в пространстве между собою в приконтурной зоне пляжа. Длина распределительного пульповода около 50 м, что позволяет реализовать процесс намыва так, чтобы часть скрепляющего состава в виде связующих минеральных фракций распространялась в направлении к приконтурной площади пляжа.

После фильтрации воды от дамбы в глубину пруда-отстойника прибрежный участок не будет пылить, поскольку осушенная поверхность пляжа покрывается и закрепляется связующим составом, как показано на рисунке 6. В данном случае сформированы два участка пляжа обезвоженных хвостов – левый и правый (см. рисунок 6). Отличительной особенностью левого пляжа является то, что его поверхность покрыта естественным или искусственным связующим материалом 9, который не сносится в центр пруда водным потоком и аккумулируется в прибрежной зоне как в гидравлической ловушке.

Достоинством разработанного метода является сокращение расхода связующих компонентов. Формирование в приграничной зоне хвостохранилища наклонного наливного участка обеспечивает непрерывный сбор связующих фракций, содержащихся в пульпе. Непрерывное накопление связующих фракций из естественных примесей исходной железной руды в виде карбонатов и глинистых пород, содержащихся в пульпе хвостов в приконтурной зоне, дает положительный эффект без дополнительного

использования искусственных связующих. В течение времени эксплуатации хвостохранилища толщина естественного скрепляющего минерального покрытия непрерывно возрастает.

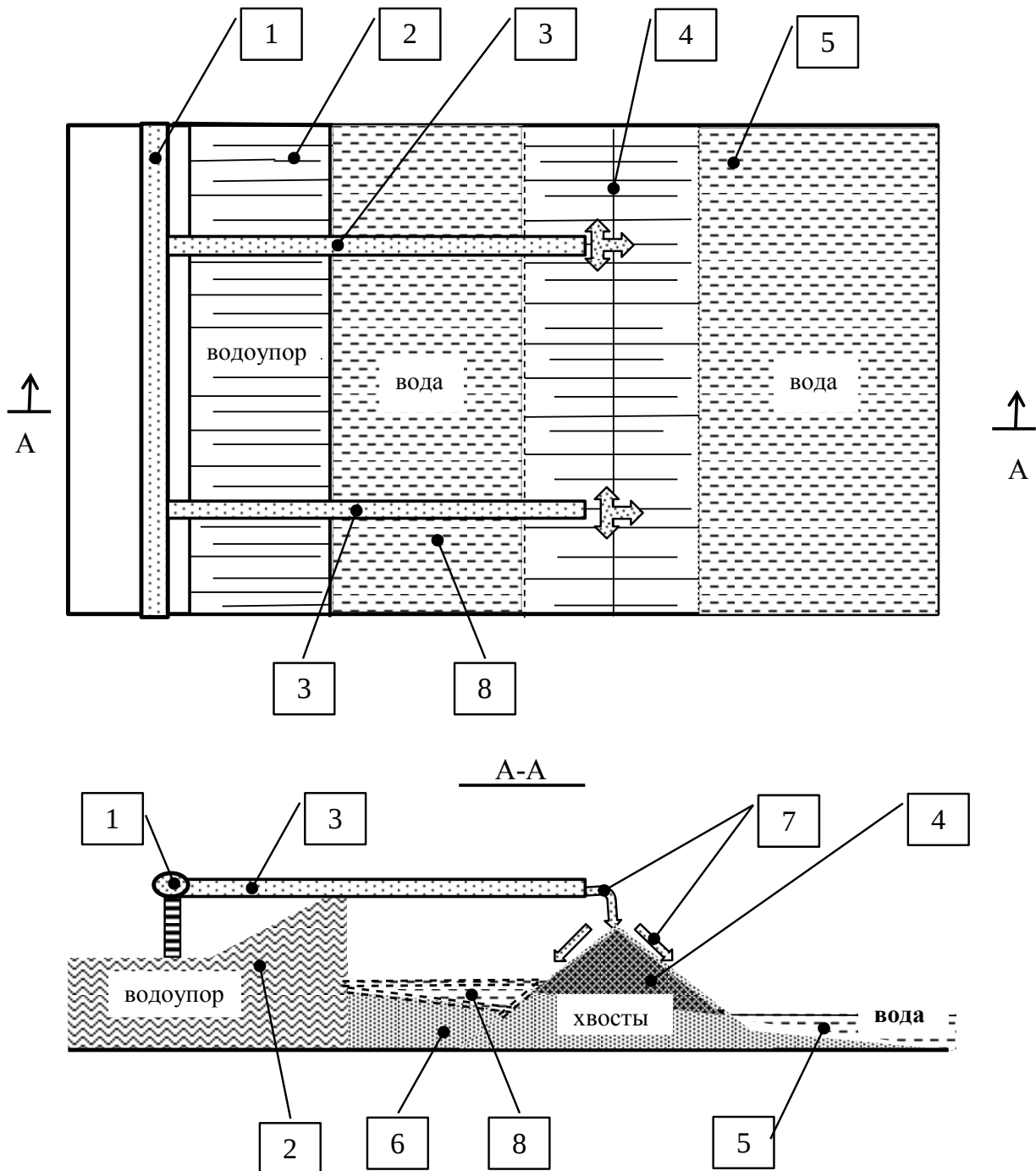


Рисунок 5 – Технологическая схема заполнения хвостохранилища

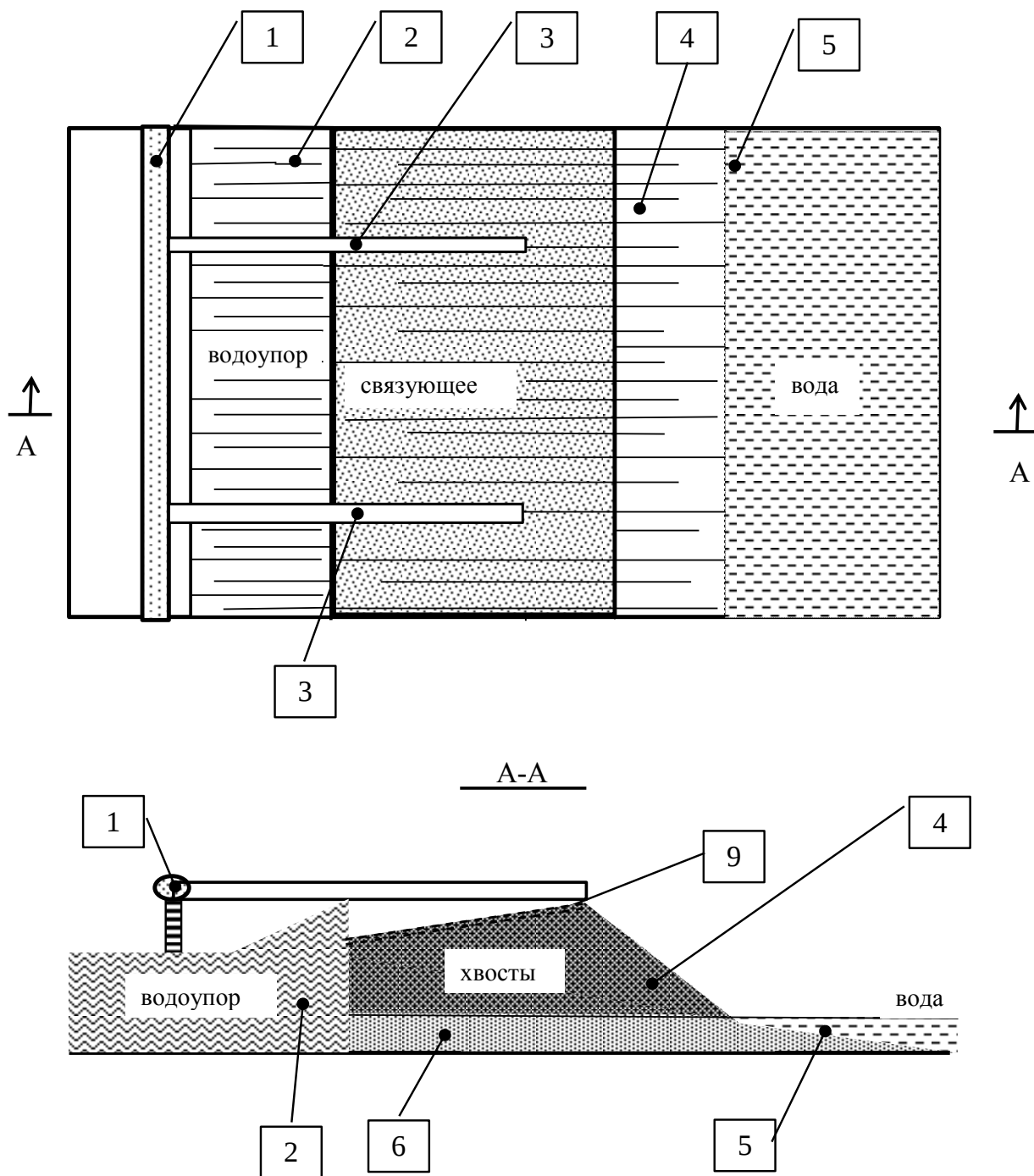


Рисунок 6 - Хвостохранилище перед очередным циклом нарастания дамбы

В случае недостаточного количества естественного минерального связующего вещества в хвостах обогащения для реализации предложенной технологической схемы используется разработанный искусственный связующий состав.

Экономическая эффективность предложенного метода складывается из уменьшения платы за выбросы пыли и сокращения затрат на переселение людей из санитарно-защитной зоны. Основные затраты на реализацию технологического варианта включают удлинение распределительных пульповодов на 50 м каждый и сооружение опор для их установки. Дополнительными факторами экономической эффективности являются повышение устойчивости заградительной дамбы за счет перераспределения центра тяжести сдвигающей нагрузки и увеличения длительности ее функционирования перед очередным циклом нарастания высоты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи разработки метода формирования намывного хвостохранилища, устойчивого к ветровым потокам, путем управления аэродинамическими процессами и связыванием пылевых частиц на поверхности пляжа, что имеет существенное значение для развития горнодобывающих регионов.

Основные научные выводы и результаты, полученные лично автором, заключаются в следующем:

1. Обоснована возможность применения комплексных связующих веществ для закрепления поверхности сухих пляжей в массовой пропорции – 1 часть бумажных отходов и 7...10 частей глины, распределяемых в хвостовой пульпе и аккумулируемых при намыве на площади наклонных сухих пляжей.
2. Разработано технологическое мероприятие для нанесения на поверхность пылящего пляжа комплексных связующих веществ с использованием напорной струи воды и инжектора, обеспечивающих разброс связующих на расстояние 10...15 м от заградительной дамбы.
3. Предложено применение минеральных связующих составов в виде карбонатов кальция, магния и глинистых пород, содержащихся в примесях исходной железной руды и хвостовой пульпе в количестве порядка 5 %, при

их аккумуляции в процессе намыва вдоль уклонной приграничной поверхности пляжа.

4. Выполнено компьютерное моделирование перемещения воздушных потоков на выходе из пляжа хвостохранилища в зависимости от угла уклона в пределах 3 – 6 град. поверхности пляжа, что позволило установить наличие и величину вертикальной составляющей скорости части исходящего воздушного потока, направленной вниз к поверхности приграничной зоны пляжа перед заградительной дамбой.

5. Описаны аналитическая модель движения частиц пыли в воздушном потоке на выходе из хвостохранилища с учетом вертикальной составляющей скорости ветра и условия осаждения пыли в приграничной части пляжа в зависимости от горизонтальной скорости исходящего ветрового потока, массы и размеров частиц. Установлено, что частицы хвостовой пыли диаметром 20 мкм и более на нисходящем участке движения воздушного потока оседают на приграничной поверхности наклонного пляжа перед заградительной дамбой.

6. Разработаны «Методические рекомендации по проектированию намывного хвостохранилища, устойчивого к ветровым нагрузкам», предусматривающие удлинение на 50 м распределительных пульповодов в глубину пруда-отстойника с возможностью формирования уклонных пляжей для накопления в приконтурной зоне минеральных связующих веществ. Рекомендации приняты к использованию на Стойленском горно-обогатительном комбинате.

7. Выполнен анализ факторов, подтверждающий экономическую целесообразность практического использования на горно-обогатительных комбинатах разработанной технологической схемы заполнения намывного хвостохранилища.

Научные положения диссертации изложены в следующих опубликованных работах автора:

1. Немировский А.В. Разработка способа предотвращения пыления наливного хвостохранилища горного предприятия с использованием глинокомпозитных адгезионных составов // Международный научно-исследовательский журнал. –2013. – №9 (16), часть 1. – С. 34-38.

2. Немировский А.В. Проблемы осаждения пыли при функционировании хвостохранилища Стойленского ГОКа // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – №5. – С. 387-392.

3. Каркашадзе Г.Г., Немировский А.В. Моделирование воздушных потоков на поверхности хвостохранилища // Материалы X Международной научной школы молодых ученых и специалистов (18-22 ноября 2013). – М.: ИПКОН РАН. - 2013. – С. 404-406.

4. Немировский А.В. Опытные испытания вяжущего состава для нанесения на хвостохранилище при ветровых нагрузках // Материалы X Международной научной школы молодых ученых и специалистов (18-22 ноября 2013). – М.: ИПКОН РАН. - 2013. – С. 407-408.

5. Каркашадзе Г.Г., Немировский А.В., Шопина Ю.Ю. Разработка способа предотвращения пыления наливного хвостохранилища горного предприятия с использованием глинокомпозитных адгезионных хвостов // Горный информационно-аналитический бюллетень.. – №2. – 2014 – С. 215-221.

6. Каркашадзе Г.Г., Немировский А.В. Вертикальные перемещения пылевых частиц на выходе из сухого пляжа хвостохранилища / В мире научных открытий. – 2014. – №8(56), – С.107-117.
<http://nkras.ru/vmno/archive/2014.html>

7. Немировский А.В. Анализ закономерностей перемещения хвостов обогащения гидродинамическими потоками и факторов формирования пылевых облаков при заполнении отсека хвостохранилища / Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – №5. – 8 с. – Деп. рукопись №1067/5-16 от 10.03.2016 г.

8. Немировский А.В. Обоснование технологического варианта подготовки и доставки связующего материала для скрепления поверхности хвостохранилища / Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – №5. – 8 с. – Деп. рукопись №1068/5-16 от 10.03.2016 г.