

УДК 532.5.011

Семененко Е.В., д-р техн. наук, ст. науч. сотр.,
Медведева О.А., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)

ГИДРОДИНАМИКА НАПОРНЫХ ВЗВЕСЕНЕСУЩИХ ПОТОКОВ: ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Семененко Є.В., д-р техн. наук, ст. наук. співр.,
Медведева О.А., канд. техн. наук, ст. науч. співр.
(ІГТМ НАН України)

ГІДРОДИНАМІКА НАПІРНИХ ВЗВІСОНЕСУЧИХ ПОТОКІВ: ІСТОРІЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Semenenko E.V., D. Sc. (Tech.), Senior Researcher,
Medvedeva O.A., Ph.D. (Tech.), Senior Researcher
(IGTM NAS of Ukraine)

HYDRODYNAMICS OF THE SLURRY-CARRYING PRESSURIZED FLOWS: HISTORY AND PROSPECTS

Аннотация. Проанализирована история исследований гидродинамики взвесенесущих потоков, возникновения и становления отечественных школ гидродинамики гидросмесей, а также основные их научные результаты. Каждая из научных школ предопределялась и обуславливалась близостью крупных горнодобывающих и гидротехнических регионов, а также наличием высших учебных заведений и проектных институтов соответствующего профиля.

Предпринята попытка сформулировать актуальные задачи и наметить перспективные направления развития гидродинамики взвесенесущих потоков как науки, относящейся к области фундаментальных и прикладных знаний. Сформулировано новое направление развития прикладного аспекта гидродинамики взвесенесущих потоков – создание технологий разработки техногенных месторождений, добычи и транспортировки техногенных россыпей из эксплуатируемых искусственных хранилищ отходов, выемка техногенных полезных ископаемых после завершения эксплуатации хранилища.

Ключевые слова: взвесенесущий поток, критическая скорость, гидротехника, гидро-транспорт.

Осенью 1906 г. на р. Днепр вблизи г. Киева проф. Г.К. Мерчинг провел опыты по гидравлике трубопроводов, которыми было положено начало систематическому изучению вопросов гидротранспорта [1, 2]. Первые исследования по подбойке угля струей воды были выполнены на одной из шахт Донбасса в 1915 г. [3, 4]. Таким образом, представители отечественной науки были в авангарде исследований гидродинамики взвесенесущих потоков. Даже короткий обзор полученных результатов [5 – 8] свидетельствует о том, что более чем за 100 лет отечественные ученые накопили значительный опыт в области гидродинамики взвесенесущих потоков, который требует обобщения и систематизации, с учетом того, что сегодня перед данной сферой науки стоят новые задачи,

решение которых невозможно без учета результатов предшествующих исследований.

Цель статьи – на основе анализа истории исследований гидродинамики взвесенесущих потоков, возникновения и становления отечественных школ гидродинамики гидросмесей, а также их научных результатов, постановка актуальных задач и формулирование перспективных направлений развития гидродинамики взвесенесущих потоков как науки, относящейся к области фундаментальных и прикладных знаний.

Исследованием взвесенесущих потоков на просторах бывшего СССР активно занимались с тридцатых годов XX столетия [1 – 4]. Предшественниками этих исследований были работы по русловым процессам в реках и вопросам определения твердого стока водохранилищ. Повышенный интерес к этим исследованиям был обусловлен интенсивным гидротехническим строительством, возведением плотин, гидроэлектростанций, рытьем крупных каналов на европейской части страны. Высокие темпы работ и существенные ее объемы способствовали апробации и внедрению новых и перспективных технологий гидромеханизации при намыве дамб, рытья каналов, осушения болот и очистке фарватеров рек. Основные достижения этого периода научной деятельности нашли свое отражение в трудах В.Д. Журина, Н.Н. Павловского, М.А. Великанова, Н.И. Маккавеева, И.И. Леви, А.П. Юфина [1 – 4]. Этими учеными предприняты первые попытки описать, обобщить и систематизировать значительный объем экспериментальных знаний, а также дать им научное объяснение.

Учитывая характерные для данных исследований диапазоны крупности, плотности и концентрации частиц транспортируемого материала были предложены первые формулы для расчета гидравлического уклона взвесенесущего потока и критической скорости гидротранспортирования. Гидравлический уклон рекомендовали определять по формуле Дарси-Вейсбаха, как однородной жидкости повышенной плотности. Для критической скорости гидротранспортирования была рекомендована эмпирическая зависимость, справедливая, как отмечал уже А.П. Юфин, только при низких концентрациях гидросмеси [3]. В те годы считалось, что с ростом концентрации критическая скорость должна выходить на некоторый асимптотический уровень и в дальнейшем оставаться постоянной. Однако в некоторых опытах критическая скорость с ростом концентрации вначале возрастала, а затем уменьшалась, а в других – непрерывно росла. Результаты этих исследований в последующем легли в основу гравитационной теории взвесенесущих потоков М.А. Великанова [2] и позволили сформулировать критерий предельного насыщения и предельной взвешивающей способности потока.

В период после второй мировой войны запросы гидротехнической отрасли народного хозяйства перестали быть единственной и ведущей «движущей силой» теории взвесенесущих потоков. Интенсивно стали развиваться горнорудная, горно-металлургическая и угольная промышленности. Расширилась но-

менклатура и география разведанных и осваиваемых месторождений. Повысилась производительность предприятий этого профиля, а также спектр выпускаемой товарной продукции. Это способствовало росту количества научных школ. Так можно говорить о Санкт-Петербургской, Московской, Киевской, Донецкой, Грузинской, Екатеринбургской и Днепропетровской научных школах теории взвесенесущих потоков. Возникновение и становление каждой из этих научных школ предопределялось и обуславливалось близостью крупных горнодобывающих и гидротехнических регионов, а также наличием высших учебных заведений и проектных институтов соответствующего профиля.

Санкт-Петербургская научная школа представлена специалистами старейшего горного ВУЗа на просторах бывшего СССР ныне Санкт-Петербургского государственного горного университета (технического института) им. Л.И. Плеханова [6, 9 – 18], а также ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева [19], Политехнического Санкт-Петербургского института [20, 21] и проектного института «Механобр» [22], который был генеральным проектировщиком большей части горно-металлургических комбинатов Сибири и Кольского полуострова. Исследования этой школы были сконцентрированы на гидротранспорте цветных руд и отходов их обогащения, а также на вопросах обеспечения надежности процесса гидротранспортирования в условиях Севера. Специалистами этой школы разработана одна из первых методик расчета параметров гидротранспорта, в которой в формулу Дарси-Вейсбаха введен дополнительный коэффициент гидравлического трения, обусловленный наличием в потоке твердых частиц, а также сформулировано одно из четырех возможных определений критической скорости. Однако развитие этих результатов было сделано специалистами других научных школ. Совместно со специалистами Киевской и Грузинской научных школ были разработаны и изданы несколько методических рекомендаций и приложений к СНиП по расчетам параметров гидротранспорта [22 – 26]. Результаты этой научной школы ориентированы на складирование отходов обогащения руд и не рассматривают вопросы гидромеханизации процессов открытых горных работ или гидротранспорта угля. В трудах этой школы впервые рассматривался гидротранспорт с добавками поверхностно активных веществ, использование гидротранспорта для закладки выработанного пространства и гидротранспорт отходов обогащения в виде пульпы с концентрацией пасты. Яркими представителями этой школы являются В.Н. Покровская, Г.П. Дмитриев, Э.В. Винагородский, М.А. Дементьев, И.В. Александров, А.К. Николаев, В.П. Докукин.

Центром Московской научной школы считается МГУ, усиленный несколькими проектными институтами ВНИИПИгидротрубопровод, «Гиредмет», «ВНИИжелезобетон» и «Проектгидромеханизация» [2 – 5, 27 – 31]. Эта школа представлена такими учеными как А.М. Великанов, А.Е. Смолдырев, Г.А. Нурок, А.П. Юфин, И.М. Ялтанец. Специалисты этой научной школы достигли наиболее значительных результатов в сфере гидромеханизации процессов открытых горных работ, гидромеханизации при строительстве дамб, а также в процессах гидротранспорта россыпей руд цветных металлов и угля. К наи-

более существенным результатам следует отнести методику расчета гидравлических уклонов и критических скоростей А.Е. Смолдырева, разработки И.М. Ялтанца по вопросам эксплуатации земснарядов, а также методики пересчета расходно-напорных характеристик центробежных насосов при работе на гидросмеси. В методиках этой школы впервые было предложено разделить транспортируемый материал на классы крупности, каждому из которых характерен конкретный вид движения под действием напорного потока. Это позволило применить принцип суперпозиции для определения гидравлического уклона в случае полидисперсного материала. Критическую скорость эти методики предлагают определять из условия А.М. Великанова, применяя тот же самый принцип суперпозиции, что противоречит логике и снижает точность расчета. Другим недостатком рассматриваемых методик является нечетко определенная граница между тонкими и мелкими фракциями. В результате тонкодисперсные частицы высокой плотности, которые не полностью увлекаются потоком, предполагались полностью взвешенными и увеличивающими плотность несущей среды, облегчая взвешивание остальных частиц.

Донецкая научная школа по изучению взвесенесущих потоков была ориентирована на водоугольные суспензии различной концентрации [32 – 36]. Развитие этой школы во многом связано с внедрением гидродобычи угля, эксплуатацией гидрошахт и попытками промышленного использования водоугольного топлива. Специалисты этой школы кооперировались вокруг Донецкого отделения ВНИИПИ гидротрубопровод, в последующем преобразованного в НПО «Хаймек», НИИГМ им. М.М. Федорова и Донецкого политехнического института. Стараниями таких специалистов как В.В. Трайнис, Н.Е. Офенгенден, Ю.Г. Свитлый, Б.Ф. Брагин, Ф.А. Папаяни, В.С. Билецкий, В.Б. Малеева, А.А. Круть, А.П. Кононенко и Н.Б. Чернецкая-Билецкая были разработаны методики расчета гидравлического уклона и критической скорости для водоугольных пульп в широком диапазоне концентраций, исследованы зависимости реологических характеристик водоугольных суспензий от свойств угля и химических реагентов, получены первые модели процессов износа оборудования и трубопроводов при гидротранспорте, а также дезинтеграции частиц транспортируемого материала. Эта научная школа рассматривала критическую скорость как скорость, при которой зависимость гидравлического уклона от скорости достигает минимума. Отдельным направлением в рассматриваемой школе была разработка заборных устройств для зумпфов гидротранспортных установок, а также исследование закономерностей эрлифтов воды и гидросмеси. Специалистами НИИГМ им. М.М. Федорова впервые обоснована адекватность аппроксимации расходно-напорной характеристики центробежного насоса квадратичной параболой, которая стала уже классической.

Центром Грузинской научной школы взвесенесущих потоков является Институт горного дела им. Цулукидзе АН Грузинской ССР [37 – 39]. Исследования специалистов этой школы, таких как А.Г. Джваршеишвили, Т.Ш. Гочиташвили, Л.М. Смойловская, Л.И. Махарадзе и Г.И. Кирмелашвили, были сконцентрированы на проблемах борьбы с гидравлическими ударами, из-

носом трубопроводов, колен и элементов насосов, а также вопросам работы гидротранспортных систем с несколькими насосами, включенными последовательно. Единственный в СССР нормативный документ, регламентирующий методы, мероприятия и оборудование по борьбе с гидравлическими ударами, был разработан специалистами этой научной школы [26].

Екатеринбургская школа взвесенесущих потоков представлена коллективом во главе с Т.И. Мельниковым, который экспериментально исследовал параметры гидротранспорта отходов обогащения руд с добавлением породных компонентов.

Киевская научная школа взвесенесущих потоков возникла в Институте гидромеханики НАН Украины под руководством профессора Н.А. Силина, который смог собрать замечательную команду специалистов практиков и теоретиков – В.М. Карасик, Ю.К. Витошкин, С.Г. Коберник, В.И. Войтенко, И.А. Асауленко, С.И. Криль, В.Ф. Очерedyкo [40 – 46]. Теоретическую подготовку специалисты получали, обучаясь в аспирантуре Ленинградского политехнического института, а экспериментально-практической базой для них выступали намываемые днепровским песком в шестидесятые годы XX столетия новые жилмассивы г. Киева. Вначале контрольно-измерительная аппаратура устанавливалась на круглосуточно работающих земснарядах, затем был оборудован опытно-промышленный участок на территории института, а в последующем построен отдельный лабораторный корпус с полупромышленными и лабораторными экспериментальными установками. Предварительный опыт промышленных измерений позволил создать в ИГМ НАН Украины уникальную лабораторную базу, на которой были определены параметры гидротранспорта для материалов со всех ГОКов бывшего СССР, исследованы характеристики турбулентного течения гидросмесей, изучено влияние комплекса факторов на гидравлический уклон и критическую скорость гидротранспортирования. В 1964 г. специалистами этой школы была разработана и введена в эксплуатацию на ЮГОКе первая в СССР станция сгущения отходов обогащения перед складированием в хранилище [43, 44]. Специалистами этой школы был разработан и внедрен стандартный измерительный участок для измерения параметров и режимов гидротранспорта, сконструировано несколько типов разделительных сосудов, расходомеров и плотномеров оригинальной конструкции. Ряд методик расчета, разработанных специалистами этой школы, утвержден Госстроем УССР в виде нормативных документов [24, 25].

Впечатляющими являются и теоретические достижения этой школы.

Исследована зависимость распределения твердых частиц, их концентрации и скорости по поперечному сечению трубопровода. Введено и обосновано понятие кинематической оси потока и получены зависимости для ее определения. Установлена зависимость амплитуды турбулентных пульсаций от свойств и концентрации твердых частиц. Получено объяснение экстремального поведения критической скорости при повышении концентрации гидросмеси для материалов различного гранулометрического состава.

Создано наибольшее количество методик расчета гидравлического уклона и

критической скорости гидротранспортирования, охватывающие широкий спектр транспортируемых материалов. Обоснована разница между критической скоростью гидротранспортирования, определяемой по факту массового выпадения твердых частиц на дно потока, и скоростью, соответствующей минимуму гидравлического уклона.

Сформулировано теоретическое условие для определения критической скорости, соответствующей фактическому выпадению твердых частиц на дно потока, установлена нелинейная зависимость этой величины от крупности твердых частиц. Установлена универсальная зависимость гидравлического уклона от фактической и критической скорости для условий гидротранспорта.

Обоснована гидравлическая гладкость железных труб применяемых для напорного гидротранспортирования в сверхкритических режимах течения.

Создана единственная в мире методика расчета параметров гидротранспорта, учитывающая асимметрию течения взвесенесущего потока. Обосновано и получено уравнение Бернулли для потока гидросмеси. Разработана математическая модель вертикального течения двухфазной смеси «жидкость + пузырьки воздуха».

Становление Днепропетровской научной школы взвесенесущих потоков связывают с появлением в г. Днепропетровске Института «Океанмаш», ориентированного на разработку технологий и технических средств для добычи полезных ископаемых со дна морей и мирового океана. К решению вопросов, рассматриваемых этим институтом, активно привлекались специалисты Днепропетровского горного института им. Артема, Института геотехнической механики НАН Украины, а также сотрудники и студенты кафедры Аэрогидромеханики механико-математического факультета Днепропетровского государственного университета. Первоначально исследовались вопросы глубоководного эрлифта конкреций, что позволило стараниями В.Е. Давидсона, О.Г. Гомана, В.П. Франчука, Ф.И. Аврахова и Е.А. Кириченко разработать математические модели течения трехфазной смеси по длинному вертикальному трубопроводу, исследовать возможные режимы течения и создать судно для добычи конкреций со дна моря [47 – 49]. Особенностью моделей, разработанных данными исследователями, является рассмотрение многоскоростной системы, когда каждая из фаз имеет свою скорость, а также объяснение эффекта запираания потока твердыми частицами в снаряжном режиме.

Второе направление данной научной школы связано с отказом в 1990 г. на Вольногорском горно-металлургическом комбинате от конвейерной доставки исходных песков на обогатительное производство и внедрением для этого трубопроводного гидротранспорта. Материал данной россыпи, кроме полидисперсности, характеризуется существенной разницей в плотности частиц составляющих фракций, что снижало точность расчетов по известным на тот момент методикам. Особенностью данного гидротранспортного комплекса является периодическое перемещение головной насосной станции вслед за фронтом горных работ и нестабильность плотности и концентрации твердых частиц, предо

пределяющие колебания давления и расхода в системе. Решением этих проблем занялись специалисты Института геотехнической механики НАН Украины, под руководством академика В.Н. Потураева, академика А.Ф. Булата, А.И. Волошина, Б.А. Блюсса [7, 8, 50 – 53]. Специалистами ИГТМ НАН Украины были созданы методы расчета гидравлических уклонов и критических скоростей, учитывающие как полидисперсность, так и различия в плотности частиц отдельных фракций, разработан метод определения границ вероятной окрестности рабочей точки системы при колебательных явлениях в магистрали, исследованы закономерности процессов пульпоприготовления с применением гидромониторов. Дальнейшее развитие этих работ позволило получить оценку высоты взвешивания твердых частиц напорным потоком в трубопроводе, обосновать методы расчета параметров гидротранспорта по полиэтиленовым трубопроводам, и развить теорию А.Е. Смолдырева, устранив имеющиеся в ней неточности. Тем самым удалось подтвердить научные результаты Киевской школы об универсальности закона для гидравлического уклона и нелинейности зависимости критической скорости от крупности частиц транспортируемого материала. Сегодня исследования специалистов ИГТМ НАН Украины сосредоточены в области изучения процессов гидротранспорта пульп с концентрацией пасты, напорного гидротранспорта с добавками поверхностно и гидродинамически активных веществ, а также гидротранспорта в полиэтиленовых трубопроводах [7, 8, 54 – 56].

На сегодняшний день основной «движущей силой» развития теории и практики взвесенесущих потоков являются горнорудная, горно-металлургическая и угольная промышленности. При этом многие из предприятий имеют мощное водно-шламовое и хвостовое хозяйство, где фактически выполняются полномасштабные гидротехнические работы, обслуживаются и возводятся дамбы высотой до 40 м, а длины трубопроводных магистралей превышают 10 км. Все больше внимания уделяется транспортированию и складированию отходов обогащения, снижению энергоемкости этого процесса, стремлению минимизировать капитальные и эксплуатационные затраты соответствующих гидротранспортных систем.

Именно этими факторами обусловлены актуальные на сегодня задачи гидродинамики взвесенесущих потоков:

- 1) разработка метода расчета параметров гидротранспорта и рациональных режимов работы для установок с объемными концентрациями от 15 до 30 %;
- 2) разработка научно обоснованного метода расчета параметров гидротранспорта и режимов работы установок, транспортирующих пульпы с концентрацией пасты;
- 3) исследование и установление зависимости гидравлического уклона и критической скорости гидротранспортирования от типа и концентрации поверхностно и гидродинамически активных веществ для гидросмесей с объемной концентрацией менее 30 %;
- 4) теоретическое и экспериментальное исследование режимов гидротранс-

порта полидисперсных материалов с добавками поверхностно и гидродинамически активных веществ;

5) разработка метода расчета параметров гидротранспорта и рациональных режимов работы для установок с магистралями из стальных и полиэтиленовых труб;

6) создание нормативной базы расчетов параметров гидротранспорта и режимов работы гидротранспортных систем;

7) теоретические и экспериментальные исследования течений гидросмеси при разветвлении трубопроводов, а также при непрерывной раздаче через патрубки;

8) исследование динамических явлений при течении гидросмеси по трубопроводу;

9) исследование процессов возникновения и развития кавитации в центробежных насосах, перекачивающих гидросмеси;

10) создание общей теории течения трехфазной смеси «жидкость + твердые частицы + пузырьки воздуха» по трубопроводу.

Можно сказать, что значительная часть насущных задач гидродинамики взвесенесущих потоков переместились из области фундаментальных знаний в прикладную область. Однако перспективы в теоретическом плане у гидродинамики взвесенесущих потоков есть:

1) исследование течений гомогенных высококонцентрированных пенно-пластических трехфазных смесей «жидкость + твердые частицы + пузырьки воздуха»;

2) создание трубопроводных систем для транспортирования замороженных, спеченных или склеенных крупногабаритных тел в виде шаров или капсул;

3) создание теории течения взвесенесущих потоков в плавающих, гибких и жестких трубопроводах;

4) исследование гидравлических уклонов и критических скоростей в трубопроводах с внутренним оребрением, выступающими внутрь сварными швами и спиральными вставками;

5) разработка трубопроводов со специальными внутренними покрытиями, которые препятствуют оседанию твердых частиц, с использованием электростатических или электромагнитных сил;

6) совершенствование средств оперативного измерения параметров потока гидросмеси.

Новое направление развития прикладного аспекта гидродинамики взвесенесущих потоков – создание технологий разработки техногенных месторождений, добычи и транспортировки техногенных россыпей из эксплуатируемых искусственных хранилищ отходов, выемка техногенных полезных ископаемых после завершения эксплуатации хранилища [57]. Подобные задачи ставятся и формулируются впервые и являются наиболее актуальными для горнообогатительных комбинатов Кривбасса и Урала, а также Курской магнитной аномалии, где доминируют искусственные хранилища отходов переработки минерального сырья с большой высотой упорной призмы.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРЫ

1. Михайлов, К.А. Гидравлика, гидрология, гидрометрия: Ч I / К.А. Михайлов, А.И. Богомолов. – М.: Дориздат, 1950. – 288 с.
2. Великанов, М.А. Динамика русловых потоков. / М.А. Великанов – М.: Гостехиздат, 1954. – Т. I – 1954 – 316 с.
3. Юфин, А.П. Гидромеханизация: учеб. / А.П. Юфин. – М.: Госстройиздат, 1966. – 496 с.
4. Маккавеев, Н.И. Русловые процессы / Н.И. Маккавеев, Р.С. Чалов. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 264 с.
5. Дробаденко, В.П. Трубопроводный транспорт твердых материалов / В.П. Дробаденко, В.Н. Сысоев. – М.: Знание, 1980. – 64 с.
6. Покровская, В.Н. Трубопроводный транспорт в горной промышленности / В.Н. Покровская. – М.: Недра, 1985. – 192 с.
7. Обоснование параметров и режимов работы систем гидротранспорта горных предприятий / Ю.Д. Баранов, Б.А. Блюсс, Е.В. Семенов, В.Д. Шурьгин. – Д.: Новая идеология, 2006. – 416 с.
8. Семенов, Е.В. Научные основы технологий гидромеханизации открытой разработки титанцирконовых россыпей / Е.В. Семенов. – К.: Наукова думка, 2011. – 231 с.
9. Покровская, В.Н. Пути повышения эффективности гидротранспорта / В.Н. Покровская. – М.: Недра, 1972. – 160 с.
10. Александров, В.И. Методы снижения энергозатрат при гидравлическом транспортировании смесей высокой концентрации / В.И. Александров. – Санкт-Петербург: СПГИ (ГУ), 2000. – 117 с.
11. Воронов В.А. Снижение энергоемкости гидротранспортирования хвостов обогащения горных предприятий оптимизацией режимов работы грунтовых насосов и гравитационных сгустителей: диссертация кандидата технических наук 05.05.06 – Горные машины / Воронов В.А. – Санкт-Петербург, 2007. – 190 с.
12. Альмагер, М.В. Обоснование технологической схемы и параметров комплекса для транспортирования высококонцентрированной гидросмеси на латеритовых карьерах (республика Куба): дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Альмагер М.В. – С.-Пб: ГГИ, 2006. – 140 с.
13. Головачев, Н.В. Обоснование технического обслуживания и ремонта оборудования для повышения эффективности эксплуатации системы гидротранспорта на горных предприятиях: дисс. ... кандидата техн. наук: 05.05.06 / Головачев Н.В. – Санкт-Петербург, 2010. – 136 с.
14. Авксентьев, С.Ю. Определение рациональных режимов гидротранспорта пастообразных хвостов обогащения медно-цинковой руды: дисс. ... кандидата техн. наук: 05.05.06 / Авксентьев С.Ю. – С.-Пб: ГГИ, 2009. – 129 с.
15. Мануэль, В.А. Обоснование технологической схемы и параметров комплекса для транспортирования высококонцентрированной гидросмеси на латеритовых карьерах (республика Куба): дисс. ... кандидата техн. наук: 05.05.06 / Мануэль В.А. – Санкт-Петербург, 2006. – 140 с.
16. Каненков, В.В. Снижение энергоемкости гидравлического транспортирования полидисперсных гидросмесей на предприятиях горной промышленности: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Каненков В.В. – С.-Пб: ГГИ, 2006. – 150 с.
17. Докукин, В.П. Повышение эффективности эксплуатации систем трубопроводного гидротранспорта / В.П. Докукин. – Санкт-Петербург: СПГИ(ГУ), 2005. – 105 с.
18. Тарасов, Ю.Д. Напорные гидротранспортные установки в горной промышленности / Ю.Д. Тарасов, В.П. Докукин, А.К. Николаев. – СПб.: Санкт-петербургский государственный горный институт, 2008. – 104 с.
19. Горюнов, С.И. Способ приближенного расчета напорного гидротранспорта несвязных грунтов / С.И. Горюнов. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1959. – 43 с.
20. Дмитриев, Г.П. Напорные гидротранспортные системы / Г.П. Дмитриев, Л.И. Махарадзе, Т.Ш. Гочиташвили. – М.: Недра, 1991. – 304 с.
21. Дементьев, М.А. О гидравлических расчетах пульповодов / М.А. Дементьев // Гидротехническое строительство. – 1953. – № 9. – С. 7 – 8.
22. Временные технические указания по гидравлическому расчету систем напорного гидротранспорта хвостов и концентратов обогатительных фабрик. – Л.: Ротапринт ин-та “Механобр”, 1979. – 26 с.
23. Пособие по проектированию гидравлического транспорта (к СНиП 2.05.07-85). – М.: Стройиздат, 1988. – 40 с.

24. Методика расчета гидротранспортных установок для транспорта и намыва хвостов железорудных ГОКов. – К.: НИИСП Госстроя УССР, 1970. – 64 с.
25. ИС 21-26.3-567-81. Система напорного гидротранспорта отходов чугунолитейного производства. Инструкция по гидравлическому расчету. – К.: Минстройматериалов СССР и ИГМ АН УССР, 1982. – 56 с.
26. ВСН 01-81. Руководство по защите напорных гидротранспортных систем от гидравлических ударов. – Тбилиси: Мецниереба, 1981. – 80 с.
27. Хаскельберг, И.Г. Расчет гидротранспорта песчаных и песчано-гравийных материалов / И.Г. Хаскельберг, Б.И. Карлин // Гидромеханизация на карьерах нерудных строительных материалов. – М.: Госстройиздат, 1962. – 71 – 89.
28. Нурок, Г.А. Процессы и технологии гидромеханизации открытых горных работ / Г.А. Нурок. – М.: Недра, 1985. – 583 с.
29. Смолдырев, А.Е. Трубопроводный транспорт концентрированных гидросмесей / А.Е. Смолдырев, Ю.К. Сафонов. – М.: Машиностроение, 1989. – 256 с.
30. Смолдырев, А.Е. Гидро- и пневмотранспорт в металлургии. - 3-е изд., перераб. и доп. / А.Е. Смолдырев. – М.: Металлургия, 1985. – 383 с.
31. Ялтанец, И.М. Проектирование открытых гидромеханизированных и дражных разработок месторождений / И.М. Ялтанец. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2003. – 758 с.
32. Трайнис, В.В. Параметры и режимы гидравлического транспортирования угля по трубопроводам / В.В. Трайнис. – М.: Наука, 1970. – 191 с.
33. Брагін, Б.Ф. Проектування споруджень і систем трубопроводного й інших видів транспорту / Б.Ф. Брагін, Ф.Д. Маркунтович, Н.Б. Чернецька. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2004. – 208 с.
34. Світлий, Ю.Г. Гідравлічний транспорт / Ю.Г. Світлий, В.С. Білецький. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2009. – 436 с.
35. Круть, О.А. Водовугільне паливо / О.А. Круть. – К.: Наукова думка, 2002. – 172 с.
36. Світлий, Ю.Г. Гідравлічний транспорт твердих матеріалів / Ю.Г. Світлий, О.А. Круть. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2010. – 268 с.
37. Джваршеишвили, А.Г. Системы трубного транспорта горно-обогатительных предприятий. - 2-е изд., перераб. и доп./ А.Г. Джваршеишвили. – М.: Недра, 1981. – 384 с.
38. Надежность и долговечность напорных гидротранспортных систем / Л.И.Махарадзе, Т.Ш.Гочиташвили, Д.Г.Сулаберидзе, Л.А.Алехин. – М.: Недра, 1984. – 119 с.
39. Трубопроводный гидротранспорт твердых сыпучих материалов / Л.И. Махарадзе, Т.Ш. Гочиташвили, С.И. Криль, Л.А. Смойловская. – Тбилиси: Мецниереба, 2006. – 350 с.
40. Силин, Н.А. Проблема интенсификации гидротранспорта / Н.А. Силин, В.М. Карасик, И.А. Асауленко // Респуб. меж вед. сб.: Гидромеханика.– К.: Наукова думка, 1973.– № 25. – С. 7 – 10.
41. Силин, Н.А. Гидротранспорт угля по трубам и методы его расчета / Н.А. Силин, Ю.К. Витошкин. – К.: Из-во АН УССР, 1964. – 88 с.
42. Теория и прикладные аспекты гидротранспортирования твердых материалов / И.А. Асауленко, Ю.К. Витошкин, В.М. Карасик [и др.]. – К.: Наук. думка, 1981. – 364 с.
43. Карасик, В.М. Интенсификация гидротранспорта продуктов и отходов обогащения горно-обогатительных комбинатов / В.М. Карасик, И.А. Асауленко, Ю.К. Витошкин. – К.: Наук. думка, 1976. – 156 с.
44. Коберник, С.Г. Напорный гидротранспорт хвостов горно-обогатительных комбинатов / С.Г. Коберник, В.И. Войтенко. – К.: Наук. думка, 1967. – 140 с.
45. Криль, С.И. Напорные взвесенесущие потоки /С.И. Криль. – К: Наукова думка, 1990. – 170 с.
46. Карасик, В.М. Напорный гидротранспорт песчаных материалов / В.М. Карасик, И.А. Асауленко. – Киев: Наук. думка, 1966. – 106 с.
47. Давидсон, В.Е. Основы гидравлического расчета эрлифта: Учебное пособие / В.Е. Давидсон. – Д.: ДГУ, 1986. – 68 с.
48. Кириченко, Е.А. Механика глубоководных гидротранспортных систем в морском горном деле: Монография / Е.А. Кириченко. – Д.: НГУ, 2009. – 344 с.
49. Динамика глубоководных гидроподъемов в морском горном деле / Е.А. Кириченко, В.Г. Шворак, В.Е. Кириченко, В.В. Евтеев. – Д.: НГУ, 2010. – 259 с.
50. Потураев, В.Н. Вибрационно-пневматическое транспортирование сыпучих материалов / В.Н. Потураев, А.И. Волошин, Б.В. Пономарев. – К.: Наук. думка, 1989. – 248 с.

51. Волошин, А.И. Механика пневмотранспортирования сыпучих материалов / А.И. Волошин, Б.В. Пономарев. – К.: Наук. думка, 2001. – 519 с.
52. Проблемы разработки россыпных месторождений / И.Л. Гуменик, А.М. Сокил, Е.В. Семенов, В.Д. Шурыгин. – Днепропетровск: Січ, 2001. – 224 с.
53. Совершенствование режимов работы гидротранспортных установок технологий углеобогащения / Е.Л. Звягильский, Б.А. Блюсс, Е.И. Назимко, Е.В. Семенов. – Севастополь: Вебер, 2002. – 247 с.
54. Никифорова, Н.А. Обоснование параметров процесса гидротранспортирования минерального сырья с использованием гидродинамически активных веществ: дисс. ... канд. техн. наук: 05.15.09: защищена 17.10.08: утв. 03.12.08 / Н.А. Никифорова. – Днепропетровск, 2008. – 306 с.
55. Киричко, С.Н. Расчет параметров гидротранспорта высококонцентрированных гидросмесей в условиях предприятий Кривбасса / С.Н. Киричко // Геотехническая механика. Межвед. сб. научн. трудов. - г. Днепропетровск.-2012.-№103.- С. 101-106.
56. Semenenko, E. The method of hydraulic gradient and critical velocity calculation for hydrotransportation of particles with substantially different densities / E.Semenenko, N.Nykyforova, L.Tatarko // 15th International Freight Pipeline Society Symposium, June, 24-27, 2014, Prague, Czech Republic. – p. 248 – 256.
57. Медведева, О.А. Проблемы дальнейшей эксплуатации хранилищ отходов обогащения Кривбасса и теоретические предпосылки их решения / О.А. Медведева // Геотехническая механика. Межвед. сб. научн. трудов. - г. Днепропетровск.-2012.-№97.- С. 155-161.

REFERENCES

1. Mikhailov K.A., (1950), *Gidravlika, gidrologiya, gidrogeometriya* [Hydraulics, hydrology, hydrometry], Dorizdat, Moscow, USSR.
2. Velikanov A.D., (1954), *Dinamika ruslovykh potokov* [Channel-flow dynamics], Gostekhizdat, Moscow, USSR.
3. Yufin, A.P. (1966), *Gigromekhanizatsiya* [Hydromechanization], Gosstroyizdat, Moscow, USSR.
4. Makkaveev, N.I. and Chalov, R.S. (1986), *Ruslovye protsesy* [Channel processes], MGU, Moscow, USSR.
5. Drobadenko, V.P. and Sysoev, V.N., (1980), *Truboprovodniy transport tvergykh materialov* [Pipeline transport of solid materials], Znanie, Moscow, USSR.
6. Pokrovskaya, V.N. (1985), *Truboprovodniy transport v gornoy promyshlennosti* [Pipelines in mining], Nedra, Moscow, USSR.
7. Baranov, Yu.D., Bljuss, B.A., Semenenko, E.V. and Shurigin, V.D. (2006), *Obosnovanie parametrov i rezhimov raboty sistem gidrotransporta gornyykh predpriyatiy* [Justification of parameters and working hours of systems of hydrotransport of the mining enterprises], Novaya ideologiya, Dnepropetrovsk, Ukraine.
9. Pokrovskaya, V.N. (1972), *Puti povysheniya effektivnosti gidrotransporta* [Ways to improve the efficiency of hydraulic transport], Nedra, Moscow, USSR.
10. Aleksandrov, V.I. (2000), *Metody snizheniya energozatrat pri gidravlicheskom transportirovanii smesey vysokoy kontsentratsii* [Methods of reducing energy consumption in hydraulic transportation of mixtures of high concentration], SPGGI (TU), St. Petersburg, Russia.
11. Voronov, V.A. (2007), “Reduction of energy consumption hydrotransportation tailings mining enterprises to optimize operation of groundwater pumps and gravity thickeners”, Abstract of Ph.D. dissertation, State Hydrological Institute, Sankt-Peterburg, Russia.
12. Almager, M.V. (2006), “Substantiation of technological schemes and set parameters for the transport of highly concentrated slurry on laterite quarries (Republic of Cuba)”, Abstract of Ph.D. dissertation, State Hydrological Institute, Sankt-Peterburg, Russia.
13. Golovachev, N.V. (2010), “Rationale for maintenance and repair of equipment to improve the operational efficiency of the system hydraulic transport in mines”, Abstract of Ph.D. dissertation, State Hydrological Institute, Sankt-Peterburg, Russia.
14. Avksentev, S.Yu. (2009), “Definition of rational modes hydrotransport paste tailings copper-zinc ore”, Abstract of Ph.D. dissertation, State Hydrological Institute, Sankt-Peterburg, Russia.
15. Manuel, V.A. (2006), “Justification technological scheme and complex parameters for transporting highly concentrated slurry on laterite quarries (Republic of Cuba)”, Abstract of Ph.D. dissertation, State Hydrological Institute, Sankt-Peterburg, Russia.

16. Kanenkov, V.V. (2006), "Reduction of energy consumption of hydraulic transportation polydisperse slurries of Mining", Abstract of Ph.D. dissertation, State Hydrological Institute, Sankt-Peterburg, Russia.
17. Dokukin, V.P. (2005), *Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii system truboprovodnogo gidrotransporta*, [Increase of efficiency of operation of systems of pipeline hydrotransport], St. Petersburg: SPGGI(TU), Russia.
18. Tarasov, Yu. D., Dokukin, V. P. and Nikolaev, A. K. (2008), *Napornye gidrotransportnye ustanovki v gornoy promishlennosti* [Pressure hydro-installations in the mining industry], St. Petersburg: SPGGI(TU), Russia.
19. Goryunov, S.I. (1959), *Sposob priblizhennogo rascheta napornogo gidrotransporta nesvyaznykh gruntov* [A method of approximate calculation of the pressure hydraulic transport of loose soils], Gosenergoizdat, Moscow – Leningrad, Russia.
20. Dmitriev, G.P., Maharadze, L.I. and Gochitashvili, T.Sh. (1991), *Napornye gidrotransportnyue sistemy* [Pressure head hydrotransport systems], Nedra, Moscow, Russia.
21. Dementev, M.A. (1953), *O gidravlicheskiikh raschetakh pulpovodov* [On hydraulic calculation of technical liquids], Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo, SU.
22. *Vremennye tekhnicheskie ukazaniya po gidravlicheskomu raschetu system napornogo gidrotransporta khvostov i kontsentratorov obogatitelnykh fabrik* [Temporary technical instructions for the hydraulic calculation of pressurized systems, hydraulic transport of tailings and concentrates concentrators] (1979), Mekhanobr, Leningrad, USSR.
23. *Posobie po proektirovaniyu gidravlicheskogo transporta* [Manual for the design of hydraulic transport] (1988), Stroyizdat, Moscow, USSR.
24. *Metodika rascheta gidrotransportnykh ustanovok dlya transporta i namyva khvostov zhelezorudnykh GOKov* [Method of calculation of hydro plants for transport and reclamation of tailings of iron ore MPE] (1970), NIISP Gosstoya USSR, Kiev.
25. The Ministry of Construction Materials of the USSR (1982), *IS 21-26.3-567-81: Sistema napornogo transporta otkhodov chugunoliteynogo proizvodstva. Instruksiya po gidravlicheskomu raschetu* [IS 21-26.3-567-81: System pressure hydraulic transport waste iron foundry. Manual hydraulic calculation], Ministry of Materials USSR I IGM AS USSR, Kiev, USSR.
26. VSN 01-81 (1981). *Rukovodstvo po zashchete napornykh gidrotransportnykh system ot gidravlicheskiikh udarov* [Guidelines for protection of hydro-pressure systems from water hammer], Metsniereba, Tbilisi, SU.
27. Khalsberg, I.G. and Karlin, B.I. (1962), *Raschet gidrotransporta peschanykh i peschano-graviynykh materialov* [Calculation of hydraulic transport of sand and sand and gravel], Gosstroyizdat, Moscow, USSR.
28. Nurok, G.A. (1985), *Protsessi i tekhnologii gidromekhanizatsii otkrytykh gornykh rabot* [Processes and jetting technology of open cast mining] Nedra, Moscow, USSR.
29. Smoldyrev, A.Ye. and Safronov, Yu.K (1989), *Truboprovodniy transport kontsentrirrovannykh gidrosmesey* [Pipeline transportation of concentrated slurries], Mashinostroenie, Moscow, USSR.
30. Smoldyrev, A.Ye. (1985), *Gidro- i pnevmotransport v metallurgii* [Hydro- and Pneumatic Transport in Metallurgy], Metallurgy, Moscow, Russia.
31. Yaltanets, I.M. (2003), *Proektirovanie otkrytykh gidromekhanizirovannykh i drazhnykh razrabotok mestorozhdeniy* [Designing public hydromechanized dredging and development fields] MGU, Moscow, Russia.
32. Traynis, V.V. (1970), *Parametry i rezhimy gidravlicheskogo transportirovaniya uglya po truboprovodam* [Parameters and modes of hydraulic transportation of coal through pipelines], Nauka, Moscow, SU.
33. Bragin, B.F., Markuntovich, F.D. and Chernetskaya, N.B. (2004), *Proektirovanie sooruzheniy i system truboprovodnogo i drugikh vidov transporta* [Civil and systems engineering pipeline and other types of transport], Lugansk, Ukraine.
34. Svitlyy, Yu.G. and Biletskiy, V.G. (2009), *Gidravlicheskiy transport* [Hydraulic transport], Skhidnyy vydavnychiy dim, Donetsk, Ukraine.
35. Krut, O.A. (2002), *Vodovugilne palyvo* [Coal-water fuel], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
36. Svitlyy, Yu.G. and Krut, O.A. (2010), *Gidravlichnyy transport tverdykh materialiv* [Hydraulic transport of hard materials], Skhidnyy vydavnychiy dim, Donetsk, Ukraine.
37. Dzhvarshvili, A.G. (1981), *Sistemy trubnogo transporta gorno-obogatitelnykh predpriyatiy* [Pipe systems of transport mining and processing enterprises], Nedra, Moscow, USSR.

38. Makharadze, L.I., Gochitashvili, T.Sh., Sulaberidze, D.G. and Alekhin, L.A. (1984), *Nadezhnost i dolgovechnost napornykh gidrotransportnykh system* [Reliability and durability of hydro-pressure systems], Nedra, Moscow, USSR.
39. Maharadze, L.I., Gochitashvili, T.Sh., Krill, S.I. and Smoylovskaya, L.A. (2006), *Truboprovodnyy gidrotransport tverdykh sypuchikh materialov* [Pipeline hydrotransport of firm bulks], Tbilisi, Georgia.
40. Silin, N.A., Karasik, V.M. and Asaulenko, I.A. (1973), *Problema intensifikatsii gidrotransporta* [The problem intensification hydrotransport], Naukova dumka, Kiev.
41. Silin, N.A. and Vitoshkin, Yu.K. (1964), *Gidrotransport uglya po trubam i metody ego rascheta* [Hydrotransport coal pipes and methods of its calculation], Kiev, USSR.
42. Asaulenko, I.A., Vitoshkin, Yu.K., Karasik, V.M. and etc. (1981), *Teoriya i prikladnie aspekty gidrotransportirovaniya tverdykh materialov* [The theory and practical aspects of solid materials hydrotransportation], Naukova dumka, Kiev.
43. Karasik, V.M., Asaulenko, I.A. and Vitoshkin, Yu.K. (1976), *Intensifikatsiya gidrotransporta produktov i otkhodov obogashcheniya gorno-obogatitelnykh kombinatov* [Intensification hydrotransport products and tailings mining and processing], Naukova dumka, Kiev.
44. Kobernik, S.G. and Voytenko, V.I. (1967), *Naporniy gidrotransport khvostov obogashcheniya gorno-obogatitelnykh kombinatov* [Pressure hydrotransport tailings mining and processing], Naukova dumka, Kiev.
45. Kril, S.I. (1990), *Napornie vzvesenesushchie potoki* [Pressure carrying slurry flows], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
46. Karasik, V.M. and Asaulenko, I.A. (1966), *Naporniy gidrotransport peschanykh materialov* [Pressure hydrotransport sandy materials], Naukova dumka, Kiev, USSR.
47. Davidson, V.E. (1986), *Osnovy gidravlicheskogo rascheta erlifta* [Fundamentals of hydraulic calculation airlift], DGU, Dnepropetrovsk, USSR.
48. Kirichenko, E.A. (2009), *Mekhanika glubokovodnykh gidrotransportnykh system v morskoy gornom dele* [The mechanics of deep-sea hydro-transport systems in mining], NMU, Dnepropetrovsk, Ukraine.
49. Kirichenko, E.A., Shvorak, V.G., Kirichenko, V.E. and Evteev, V.V. (2010), *Dinamika glubokovodnykh gidropodemov v morskoy gornom dele* [The dynamics of deep-sea hydraulic hoistings in mining], NMU, Dnepropetrovsk, Ukraine.
50. Poturaev, V.N., Voloshin, A.I. and Ponomarev, B.V. (1989), *Vibratsionno-pnevmaticheskoe transportirovaniye sypuchikh materialov* [Vibration and pneumatic conveying of bulk materials], Naukova dumka, Kiev, USSR.
51. Voloshin, A.I. and Ponomarev, B.V. (2001), *Mekhanika pnevmotransportirovaniya sypuchikh materialov* [The mechanics of pneumatic transport of bulk materials], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
52. Gumenik, I.L., Sokil, A.M., Semenenko, E.V. and Shurygin, V.D. (2001), *Problemy razrabotki rossypnykh mestorozhdeniy* [Problems of alluvial deposits], Sich, Dnepropetrovsk, Ukraine.
53. Zvyagilskiy, E.L., Bljuss, B.A., Nazimko, E.I. and Semenenko, E.V. (2002), *Sovershenstvovanie rezhimov raboty gidrotransportnykh ustanovok tekhnologiy ugleobogashcheniya*, [Improvement of operating modes of hydrotransport installations of technologies of coal preparation], Weber, Sevastopol, Ukraine.
54. Nykyforova, N.A. (2008), "Substantion of parameters of hydrotransportation processes of minerals with using of drag reducing agents", Ph.D. Thesis, IGTМ NASU, Dnepropetrovsk, Ukraine.
55. Kirichko, S.N. (2012), "Calculation of parameters hydrotransport highly slurries under enterprises Kryvbass", *Geo-Technical Mechanics*, no 103, pp. 101 – 106.
56. Semenenko, E., Nykyforova, N. and Tatarko, L. (2014), "The method of hydraulic gradient and critical velocity calculation for hydrotransportation of particles with substantially different densities", 15th International Freight Pipeline Society Symposium, June, 24-27, 2014, Prague, Czech Republic, pp. 248 – 256.
57. Medvedeva, O.A., (2012), "Problems of further operation of storages of the waste of enrichment of krivbass and theoretical preconditions of their decision", *Geo-Technical Mechanics*, no. 97, pp. 155-161.

Об авторах

Семененко Евгений Владимирович, доктор технических наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом проблем шахтных энергетических комплексов, Институт геотехнической механики им. М.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, evs_igtm@mail.ru.

Медведева Ольга Алексеевна, докторант, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе геодинимических систем и вибрационных технологий, Ин-

ститут геотехнической механики им. М.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, olya-1702@yandex.ua.

About the authors

Semenenko Evgeniy Vladimirovich, Doctoral of Technical Sciences (D. Sc.), Senior Researcher, Head of Department of Mine Energy Complexes, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, evs_igtm@mail.ru.

Medvedeva Olga Alekseevna, Doctoral Candidate, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Geodynamic systems and Vibration Technologies, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, olya-1702@yandex.ua.

Анотація. Проаналізована історія досліджень гідродинаміки потоків, які несуть взвісь, виникнення та становлення вітчизняних шкіл гідродинаміки гідросумішей, а також головні їх наукові результати. Виникнення та становлення кожної з наукових шкіл теорії потоків, що несуть взвісь, полягало та обумовлювалось близькістю великих гірничодобувних та гідротехнічних регіонів, наявністю вищих навчальних закладів та проектних інститутів відповідного напрямку.

Здійснено спробу сформулювати актуальні завдання та зазначити перспективні напрямки розвитку гідродинаміки потоків, що несуть взвісь, як науки, яка відноситься до галузі фундаментальних та прикладних знань. Сформульовано новий напрямок розвитку прикладного аспекту гідродинаміки потоків, що несуть взвісь, - створення технологій розробки техногенних родовищ, видобутку та транспортування техногенних розсипів із штучних сховищ відходів, які експлуатуються, виймання техногенних корисних копалин після завершення експлуатації сховищ.

Ключові слова: потік, що несе взвісь, критична швидкість, гідротехніка, гідротранспорт.

Abstract. History of researches of the slurry-carrying flows hydrodynamics, origin and formation of domestic schools of the slurry hydrodynamics and their basic scientific results are analyzed. Formation of each scientific school was predetermined by closeness to the large mineral-mining and hydrotechnical regions, higher educational establishments and designing institutes of appropriate profile.

An attempt was undertaken to formulate the key actual tasks and future-oriented directions of development of the slurry-carrying flow hydrodynamics as a science referred to the fundamental and applied knowledge. A new applied direction of development of the slurry-carrying flow hydrodynamics is set forth: to create technologies for man-made deposit mining, and to extract and transport minerals from the active and closed man-made waste storage.

Keywords: slurry-carrying flows, critical velocity, hydraulic engineering, hydrotransport.

Статья поступила в редакцию 04.11.2015

Рекомендовано к публикации д-ром технических наук Блюссом Б.А.