

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Института океанологии
им. П.П. Ширшова
Российской академии наук
Алексей Валентинович Соков

«06» апреля 2021 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации - Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук (ИО РАН) на диссертацию Вильмиса Александра Леонидовича «Обоснование технологии глубоководного гидроподъема железомарганцевых конкреций загрузочными аппаратами с минимальным негативным воздействием на окружающую среду» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.22 - "Геотехнология (подземная, открытая и строительная)».

А.Л. Вильмис представил в качестве диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук серьезный оригинальный научный труд о проведенных им теоретических и экспериментальных исследованиях по усовершенствованию методов и технических средств промышленного гидроподъема железомарганцевых конкреционных руд со дна океана. При разработке нового подхода к загрузочным аппаратам системы глубоководного гидроподъема, автор имел, прежде всего, в виду острую необходимость срочной подготовки технических средств промышленной добычи железомарганцевых конкреций на Российском участке рудного поля Кларион-Клиппертон в северной приэкваториальной зоне Тихого океана. Однако, технические и технологические разработки А.Л. Вильмиса могут быть применены также при подготовке технических средств добычи других типов глубоководных месторождений океанского дна.

Обоснование новых физических принципов работы загрузочного аппарата следует считать главным научным достижением диссертанта. Реализация этих принципов в конструкции загрузочного аппарата вихревого пульпоприготовления, введенного автором в систему гидроподъема и обеспечивающим существенную экономию энергоемкости и металлоемкости добычи, свидетельствует о прямой практической ценности рецензируемой работы.

Актуальность темы диссертации определяется, прежде всего, стремлением внести вклад в технико-технологическое обеспечение добычных операций на глубоководных месторождениях конкреционных руд поля Кларион-Клиппертон, где наметилось существенное отставание России от требований международных контрактов. В более широком плане работа А.Л. Вильмиса актуальна в связи с стратегической необходимостью укрепления минерально-сырьевой базы России рудными ресурсами Мирового океана. Промышленное освоение месторождений железомарганцевых руд позволит ликвидировать существующий дефицит марганца, пополнить истощающиеся на суше запасы Ni, Co, Cu и ряда других ценных металлов. Диссертационная работа Вильмиса А.Л. по обоснованию технологии глубоководного гидроподъема железомарганцевых конкреций загрузочными

аппаратами с минимальным негативным воздействием на окружающую среду является актуальной.

Научная новизна работы подробно рассмотрена автором в диссертации и автореферате. Она включает рекомендацию применения загрузочных аппаратов вихревого пульпоприготовления, в которых стабильная подача высоконасыщенной твердым компонентом (~30% и более) гидросмеси в транспортный трубопровод возможна за счет создания зоны псевдооживления возле узла разгрузки загрузочного аппарата. Автором впервые обосновано, что для создания псевдооживленного слоя оживающим агентом являются не прямооточные, а коаксиально-закрученные струи воды, формирующие крупномасштабные вихри, интенсифицирующие массообменные процессы в камере аппарата. Тем самым обеспечивается значительное повышение производительности вертикального гидроподъема. Представлена ранее не разработанная методология расчета основных технологических и геометрических параметров аппаратов вихревого пульпоприготовления. В том числе определена кинетика выноса шламовых частиц в пульсационной колонне, рекомендованной в качестве технологической составляющей системы глубоководного гидроподъема, позволяющей эффективно отделить суспензию тонких частиц от твердых компонентов, в данном случае конкреций.

В итоге А.Л. Вильмисом предложена технология глубоководного гидроподъема твердых полезных ископаемых, включающая гидроподъемный комплекс, состоящий из загрузочного аппарата вихревого пульпоприготовления и пульсационной колонны, новизна которого подтверждена патентом РФ на изобретение №2558594 от 10.08.2015.

Основные научные и практические результаты исследований приведены в главах диссертации 2 – 5, тогда как глава 1 вводная, написана по литературным данным.

Во второй главе на основе анализа технических средств освоения глубоководных месторождений проведена их систематизация и предложен перспективный, хотя и не безупречный с точки зрения безопасности для окружающей среды (см. ниже) способ трубопроводного гидроподъема ЖМК с использованием загрузочных аппаратов и аппарата колонного типа.

Автором проанализированы литературные источники, рассмотрены и систематизированы загрузочные аппараты по способу гидродинамической разгрузки камер, влияющей на эффективность подачи твердого компонента в напорный пульпопровод. Показаны недостатки различных способов разгрузки и установлено, что для интенсификации процесса глубоководного гидроподъема необходимо использовать загрузочные аппараты вихревого пульпоприготовления, основанные на использовании коаксиально-закрученных струй жидкости.

Третья глава диссертации посвящена анализу экспериментальных данных, полученных сотрудниками МГРИ в результате опытно-промышленных испытаний загрузочных аппаратов вихревого пульпоприготовления на горнообогатительных предприятиях и на Черном море, на глубине до 100 м, с использованием натуральных ЖМК из Тихого океана. На основе экспериментов установлены особенности гидродинамики процесса гидровзвешивания твердого компонента (ЖМК) с устойчивой зоной пульпообразования. На основе проведенных экспериментальных исследований по определению угла раскрытия затопленных прямооточных и кольцевых закрученных струй установлены их основные гидродинамические характеристики и выявлена функциональная зависимость плотности и объемной концентрации гидросмеси от угла раскрытия кольцевой закрученной струи.

Показано, что максимальная объемная концентрация гидросмеси ($\sim 35\%$) достигается коаксиально закрученными струями жидкости при угле раскрытия более 90° .

В четвертой главе А.Л. Вильмис представил разработанную им методологию расчета гидродинамических параметров загрузочного аппарата с вихревым пульпоприготовлением. При этом, в отличие от теории центробежной насадки (форсунки), предложенной Г.Н. Абрамовичем, автор аналитически исследует возможности кинетической энергии коаксиально-закрученных струй жидкости в районе формирования высоконасыщенной гидросмеси

Проведенные сравнительные аналитические исследования по определению гидродинамических параметров затопленных жидкостных струй позволили автору установить боковые границы распространения закрученного потока, формирующего псевдооживленный слой, определяемые тангенциальной скоростью струи и толщину псевдооживленного слоя определяемого осевой скоростью и гидравлической крупностью твердой фазы. Представлена методология расчета расходно-напорных характеристик геометрических параметров гидротранспортного аппарата.

В пятой главе диссертации рассматриваются вопросы, связанные с экологическими факторами, влияющими на загрязнение поверхности и придонного слоя океана. К этой части главы у рецензента имеются серьезные замечания (см. ниже). Дана энергетическая оценка основных способов глубоководного гидроподъема, которая представляется вполне обоснованной.

Общее впечатление о диссертации заключается в следующем: на основе проведенных исследований представлена перспективная технологическая структура добычного комплекса, включающая гидроподъемную установку–загрузочный аппарат и пульсационную колонну, составляющих гидроподъемный комплекс, новизна которого подтверждена патентом РФ. Работа содержит новые научные разработки и ценные практические рекомендации. Выдвинутые соискателем научные теоретические положения и технологические рекомендации можно считать обоснованными. Их значительная часть основана на результатах морских испытаний гидроподъема железомарганцевых конкреций на акватории Черного моря на научно-исследовательском судне «Полигон», проведенные кафедрой геотехнологических способов и физических процессов горного производства совместно с ЦКБ «Океангеотехника» и Черноморской опытно-геодезической экспедицией.

Автор достаточно корректно использует известные научные методы обоснования полученных аналитических и экспериментальных результатов, выводов и рекомендаций.

Достоверность экспериментальных данных обеспечивается использованием современных средств и методик проведения исследований.

Положения теории основываются на известных достижениях фундаментальных и прикладных научных дисциплин: математики и гидромеханики. В работе диссертант грамотно использует математический аппарат методологии расчета расходно-напорных характеристик геометрических параметров гидротранспортного аппарата.

Научная значимость работы заключается в обосновании применения гидроподъемного комплекса, состоящего из загрузочного аппарата вихревого пульпоприготовления и пульсационной колонны для гидроподъема высоконасыщенной гидросмеси при освоении глубоководных месторождений ЖМК.

Практическая значимость работы заключается в разработке методологических положений для расчетов гидродинамических параметров аппаратов вихревого

пульпоприготовления при проектировании технологических комплексов гидроподъема ЖМК на больших глубинах для их эффективного освоения.

Общие замечания по диссертационной работе

Существенным недостатком работы А.Л. Вильмиса следует считать неудачное техническое решение проблемы удаления шлама (т.е. успешно отделенного от поднимаемых конкреций разжиженного тонкозернистого осадка). Принятое автором выбрасывание суспензии осадка под напором через шламовую трубу прямо в придонную воду не может удовлетворить заявленному в заголовке и тексте работы требованию минимального негативного воздействия на окружающую среду. На самом деле, вопреки заявлению автора, шлам не «укладывается в отработанное пространство» на дне, а образует облако взвеси, гидромеханическое поведение которого еще следует изучить. Скорее всего оно, постепенно наращиваясь во время добычи, может оказывать значительное негативное воздействие на экологические условия жизни бентосной фауны. Мало того, передвигаясь движением придонных вод, это облако может покрыть дно непрозрачным слоем суспензии, тем самым препятствуя применению наиболее эффективных оптических способов слежения за ходом добычи. Вряд ли международные органы экологического контроля допустят такой метод удаления шлама.

В качестве альтернативы можно предложить подъем суспензии глубоководного пелагического осадка на поверхность по шламовой трубе, например, эрлифтом, с попутным извлечением из него полезных компонентов (в частности, редкоземельных элементов). Кстати, отсутствие в диссертации даже упоминания о возможности использования пелагических глинистых осадков (красных глин) в качестве попутных руд тоже относится к ее недостаткам.

В работе не рассматриваются проведенные Россией, США и рядом других стран в течение десятилетия с 1990 по 2000 г.г. данные эксперимента «BIE» (Benthic Impact Experiment «Удар по флоре и фауне») в районе разлома «Кларион-Клиппертон». Учитывая важность экологической безопасности при освоении глубоководных минеральных ресурсов необходимо более широко раскрыть эту проблему.

Указанные замечания должны служить дальнейшему усовершенствованию методов и технических средств освоения глубоководных месторождений конкреционных руд. Отмеченные рецензентом редакционные погрешности работы (например, увлечение автора слишком длинными предложениями) не снижают общей высокой оценки диссертации А.Л. Вильмиса.

Диссертационная работа оформлена согласно требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук. По каждому разделу и работе в целом сделаны исчерпывающие и обоснованные выводы. Содержание диссертационной работы соответствует формуле и пунктам области исследования Паспорта научной специальности 25.00.22 - "Геотехнология (подземная, открытая и строительная).

Полученные результаты связаны с решением научных и технических проблем данной специальности, а именно «Обоснованием освоения месторождений железомарганцевых конкреций на основе разработки энергосберегающей технологии глубоководного гидроподъема грузозачерпывающими аппаратами вихревого пульпоприготовления с укладкой шламовых фракций в выработанное пространство».

Автореферат даёт полное представление о выполненной диссертационной работе, содержит в сжатом виде необходимую информацию.

Оппонируемая диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором на высоком научном уровне. Представленные в работе оригинальные результаты исследований дают основание квалифицировать их как совокупность новых научно-обоснованных решений по предлагаемой системе гидроподъема твердых полезных ископаемых при освоении глубоководных месторождений морей и океанов с минимальным воздействием на окружающую среду.

Реализация данных решений вносит значительный вклад в развитие минерально-сырьевой базы страны и ее безопасность, что позволяет считать диссертацию соответствующей требованиям «Положения о присуждении учёных степеней» (далее – Положение), утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09. 2013 г., № 842 в части раздела II, п. 9.

Основные результаты диссертации опубликованы в 49 печатных работах, из которых 20 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикаций научных результатов диссертации, что соответствует нормативу, установленному в п. 13 Положения. Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и выводы, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе Вильмиса А.Л. в науку. Предложенные автором диссертации методы, модели и алгоритмы достоверны и аргументированы.

Считаю, что диссертационная работа Вильмиса Александра Леонидовича на тему: «Обоснование технологии глубоководного гидроподъема железомарганцевых конкреций грузозачерпывающими аппаратами с минимальным негативным воздействием на окружающую среду» соответствует п.9 Положения, а сам соискатель заслуживает присвоения ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.22 Геотехнология (подземная, открытая и строительная).

Отзыв рассмотрен и одобрен на совместном коллоквиуме геологического и технического направлений ИО РАН, протокол коллоквиума № 1 от «06» апреля 2021 г.

Доктор геолого-минералогических наук,
профессор, главный научный
сотрудник ИО РАН

Ивар Оскарович Мурдмаа

Я, Мурдмаа Ивар Оскарович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук (ИО РАН), 117997, Российская Федерация, Москва, Нахимовский проспект, дом 36
тел. +7 (499) 124-61-49, E-mail: office@ocean.ru



Зинбалова В.В.
[Signature]

06.04.2021