

## ДОВГОСТРОКОВА СТРАТЕГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ І РЕГУЛЮВАННЯ ГЛИБОКОВОДНИХ ГІДРОПІДЙОМІВ В СКЛАДІ СУДНОВИХ ВИДОБУВНИХ КОМПЛЕКСІВ

В.І. Самуся<sup>1</sup>, Є.О. Кириченко<sup>2</sup>, І.М. Чеберячко<sup>3</sup>, О.О. Бобришов<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", Дніпро, Україна, [samusia.v.i@nmu.one](mailto:samusia.v.i@nmu.one), ORCID 0000-0002-6073-9558

<sup>2</sup> Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", Дніпро, Україна, [kyrychenko.ye.o@nmu.one](mailto:kyrychenko.ye.o@nmu.one), ORCID 0000-0003-2748-989X

<sup>3</sup> Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", Дніпро, Україна, [cheberiachko.i.m@nmu.one](mailto:cheberiachko.i.m@nmu.one), ORCID 0000-0002-6193-5729

<sup>4</sup> Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", Дніпро, Україна, [bobryshov.o.o@nmu.one](mailto:bobryshov.o.o@nmu.one), ORCID 0000-0002-3712-7676

## LONG-TERM STRATEGY FOR THE DESIGN AND REGULATION OF DEEP-WATER HYDRAULIC HOISTS AS PART OF SHIP MINING COMPLEXES

V.I. Samusia<sup>1</sup>, Y.O. Kyrychenko<sup>2</sup>, I.M. Cheberiachko<sup>3</sup>, O.O. Bobryshov<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, [samusia.v.i@nmu.one](mailto:samusia.v.i@nmu.one), ORCID 0000-0002-6073-9558

<sup>2</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, [kyrychenko.ye.o@nmu.one](mailto:kyrychenko.ye.o@nmu.one), ORCID 0000-0003-2748-989X

<sup>3</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, [cheberiachko.i.m@nmu.one](mailto:cheberiachko.i.m@nmu.one), ORCID 0000-0002-6193-5729

<sup>4</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, [bobryshov.o.o@nmu.one](mailto:bobryshov.o.o@nmu.one), ORCID 0000-0002-3712-7676

***Анотація.** Шляхом узагальнення нових закономірностей і відомих результатів, отриманих даними авторським колективом, протягом більше 40 років розроблено довгострокову багатоступеня стратегія створення глибоководних гідропідйомів в складі морських видобувних комплексів. Запропонована стратегія базується на прогресивних методологічних принципах визначення раціональних проектних і експлуатаційних параметрів установок і інноваційних способах підвищення ефективності гідропідйомів в складних умовах великих глибин. Запропонована стратегія є потужним інструментом досліджень на всіх стадіях проектування і експлуатації, а також забезпечує правильний вибір найбільш обґрунтованого шляху до досягнення мети. Деформація запропонованої стратегії призводить до стрімкої девальвації практичних результатів.*

***Ключові слова:** глибоководний гідропідйом, глибоководний видобуток, трубопровідний став, гідротранспорт, насос, ерліфт, тверді корисні копалини, судновий видобувний комплекс.*

На ранней стадии освоения океанических месторождений твердых полезных ископаемых (ТПИ) глубоководные гидроподъемы, в общем, проектировались, как и в традиционном горном деле по аналогии с шахтными водоотливными установками. Основными тактическими задачами являлись определения оптимального диаметра транспортирующего трубопровода и рациональных расходных и энергетических параметров установок. При этом игнорировалась специфика транспортирования ТПИ с океанического дна на базовое плавсредство в толще морской воды. На этом этапе результаты многочисленных расчетных методик зачастую не совпадали не только количественно, но и на качественном уровне. Большинство проектных расчетов ошибочно базируются на некорректной физической модели [4, 5, 8, 16, 17], согласно которой гидродинамика и энергоемкость процесса транспортирования конкреций определялась объемом поднимаемой осредненной по физическим свойствам гидросмеси, а не массового расхода полезных ископаемых, что является конечной целью разработок. Понятно, что новая физическая модель исследуемого процесса требует и новой математической модели и новых расходных и энергетических характеристик, а, в конечном итоге, и новой теории гидроподъемов полиметаллических конкреций, тем более, что эти уникальные горные машины не имеют аналогов в традиционном горном деле.

К сожалению, на сегодняшнем этапе доминируют в основном теоретические подходы к решению проблемы [11 - 14], без необходимой поддержки экспериментальных исследований, что снижает достоверность результатов моделирования. Кроме того, при анализе эксплуатационных режимов ошибочно не

корректируется величина массового расхода и истинные концентрации твердого, а также энергетические показатели рабочих режимов, в соответствии с уровнем развития техники и технологии разработок. По нашему мнению, эти ошибки в первую очередь связаны с отсутствием научно обоснованной долгосрочной стратегией проектирования глубоководных гидроподъемов в составе морских судовых комплексов и определения рациональных эксплуатационных рабочих режимов в сопряженной постановке.

Очевидно, что разработка долгосрочной многоэтапной стратегии является предметом масштабной монографии, а не единичной статьи. Тем не менее, настоящая публикация актуальна и полезна, так, как отражает наиболее важные моменты проектирования и эксплуатации морских гидроподъемов впервые в сопряженной постановке.

**Цель** – повышение эффективности глубоководных насосных и эрлифтных гидроподъемов и снижение энергоёмкости установок путем определения их рациональных проектных и эксплуатационных параметров за счет внедрение разработанной современной стратегии моделирования пневмогидротранспортных процессов.

**Научная новизна** – задачи определения рациональных проектных параметров и регулирования рабочих режимов для обеспечения наиболее высоких показателей гидроподъемов решается в сопряженной постановке в рамках единой методологической концепции.

Насосный гидроподъем имеет ряд преимуществ, связанных с высокими производительностями и к.п.д. грунтовых насосов, а также возможностью подъема пульп высоких концентраций. Однако быстрый износ рабочих деталей грунтовых насосов вследствие контакта с транспортируемыми абразивными частицами обуславливает необходимость частого технического обслуживания оборудования в сложных условиях больших глубин.

В эрлифтном варианте гидроподъема основное электромеханическое оборудование располагается на поверхности водного бассейна, что значительно упрощает его техническое обслуживание и сокращает необходимые для этого периоды времени. Данное обстоятельство повышает работоспособность гидроподъемов такого принципа действия, однако высокая энергоёмкость компрессоров обуславливает низкие значения к.п.д. установок.

Согласно динамике патентования, при выборе оборудования для подъема горной массы на поверхность морской воды [13], насосные и эрлифтные установки имеют хорошие перспективы.

На рисунке 1 показана общая схема морского горно-добывающего комплекса (МГК) для добычи полиметаллических конкреций (ПМК).

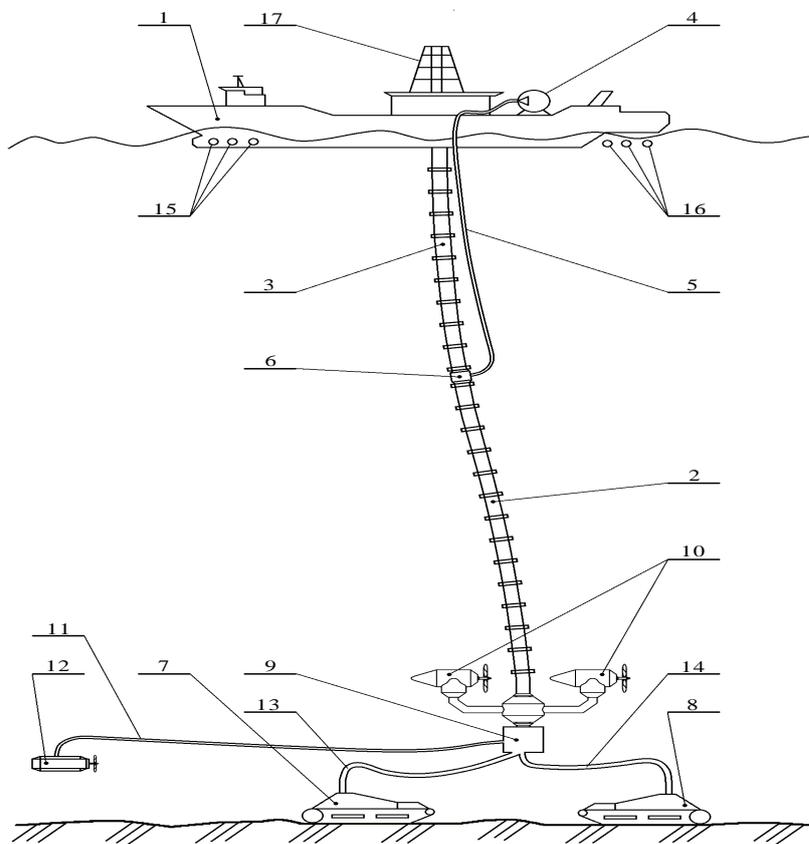


Рисунок 1 – Общая схема морского горнодобывающего комплекса

Один из современных вариантов реализации МГК, базирующегося на эрлифтном гидроподъеме, отображен на рис. 1 [15]. На базовом плавающем средстве 1 закреплен транспортный трубопровод системы гидроподъема (подводящий 2 и подъемный 3 трубопроводы глубоководного эрлифта). Компрессор 4 сообщен через пневмопровод 5 со смесителем 6. Агрегаты сбора самоходного типа 7, 8 расположены на дне водного бассейна и предназначены для сбора, дробления и отделения ПМК от донных осадков. Подводная технологическая платформа 9 присоединена к нижней части транспортного трубопровода, снабжена двигателем 10, а также сообщена посредством гибкого кабель-троса 11 с подводным навигационным модулем 12 и через соответствующие гибкие трубопроводы 13, 14 с агрегатами сбора 7, 8. По гибким трубопроводам осуществляется доставка твердого материала от агрегатов сбора на технологическую платформу, а транспортный трубопровод обеспечивает подъем минерального сырья до базового плавсредства. Технологическая платформа содержит бункер-дозатор со шнековым питателем, обеспечивающие соответственно промежуточное хранение запаса твердых полезных ископаемых и дозированную подачу минерального сырья в транспортный трубопровод. На базовом плавсредстве размещены центр оперативного управления оборудованием, автономная электрическая станция, а также комплекс оборудования для первичного обогащения горной массы, сброса хвостов и перегрузки полученного концентрата на транспортные суда-рудовозы. Подводный навигационный модуль служит для исследования ландшафта донной поверхности на пути движения агрегатов сбора. Система управления движением базового плавающего средства включает вспомогательные рулевые устройства 15 и выдвижные движительно-рулевые колонки 16, обеспечивающие динамическую стабилизацию судна. Вышка 17 предназначена для сборки трубных секций транспортного трубопровода глубоководного эрлифта.

Окончательный вывод о достоверности того или иного симуляционного метода может быть сделан путем сравнения расчетных результатов с экспериментальными данными, полученными на полномасштабных натуральных установках. Однако, «воплотить в жизнь» такие работоспособные установки невозможно без решения широкого спектра научно-исследовательских задач на этапе предпроектных исследований, подчиняющихся строгой научной стратегии.

Глубоководные насосные и эрлифтные гидроподъемы конкурентно способны по глубинам и производительностям и имеют общую часть по конструктивным и функциональным факторам. Особенность стратегии заключается в разработке универсальной пилотной установки по причине того, что в условиях неопределенности некоторых исходных данных и условий эксплуатации высока вероятность ошибочно выбрать первоначальный вариант гидроподъема ввиду обнаружения различного рода «подводных камней» [11]. В результате может оказаться, что лидирующий вариант или не рационален, или не реализуется в сложных условиях больших глубин. В этом случае, реализация запасного варианта будет дешевле и оперативнее. Поэтому целесообразно разработать универсальное методическое обеспечение и для насосного, и для эрлифтного варианта гидроподъема, тем более, что они базируются на модульном принципе.

Особое внимание следует уделить наиболее ответственному этапу проектирования, связанного с определением геометрических размеров экспериментальной пилотной установки. Ошибки при решении этой задачи уже на первом этапе проектирования могут свести на нет все последующие результаты, в том случае, если выбранная длина пилотной установки будет выбрана недостаточной для реализации, хотя бы одного, определяющего физического эффекта.

Предложенная стратегия базируется на полуэмпирической идеологии и **семи основополагающих принципах**.

Согласно принципу «Преемственности», методология дальнейшего усовершенствования теоретических и экспериментальных исследований гетерогенных сред должна базироваться на хорошо апробированных закономерностях однофазных потоков.

Принцип предварительного «Отсеивания» бесперспективных математических моделей на стадии предпроектных разработок заключается в следующем. Гидродинамические уравнения неразрывности, движения и энергии трехфазной твердожидкостногазовой смеси при обнулении расходных концентраций сначала твердой, а затем газовой фазы должны совпадать с указанными уравнениями сначала для газовой смеси, а затем и для однородной жидкости.

Суть принципа «Золотой середины» можно трактовать следующим образом. Морские гидроподъемы характеризуются большой протяженностью транспортирующих трактов и значительной инерционностью управляющих воздействий. А необходимость регулирования расходных параметров при изменении эксплуатационных режимов приводит к тому, что стационарные режимы транспортирования добытого сырья априори не возможны. Поэтому возможности исследования эксплуатационных режимов выходят за рамки корректного использования стационарных моделей. В тоже время симуляция неустановившихся процессов связана с существенным усложнением математического аппарата. Поэтому, исследование транспортных процессов на данном этапе развития горной техники в рамках квазистационарных моделей является золотой серединой между необходимостью моделирования неустановившихся процессов при эксплуатации реальных установок, и возможностью качественного усовершенствования современных расчетных методов.

Принцип соответствия «Достоверного масштаба» гласит, что экспериментальные исследования на стадии экспериментальной добычи должны выполняться на пилотной установке, геометрические размеры которой позволяют гарантированно реализоваться основным определяющим полномасштабным физическим эффектом в протяженных трубопроводах глубоководных гидрподъемах.

Принцип «Модульности» разработки программно-алгоритмического обеспечения предусматривает уже на ранней стадии создания программного продукта предусматривает использование отдельных программных модулей как и для насосов, так и для эрлифтов. Это при инструментальном моделировании исследуемых процессов позволит существенно уменьшить затраты интеллектуального труда и времени. Данный принцип органично согласуется с идеями декомпозиции сложных эффектов и с возможностями последовательного расширения и наращивания функциональности системы.

Принцип «Обратной связи» гласит о том, что на всех этапах проектирования и эксплуатации гидрподъемов для транспортирования добытого сырья, игнорирование их кинематических, технологических и функциональных связей с агрегатом сбора и судна-носителя неизбежно приводит к нереализуемым на практике рабочим режимам. Наличие постоянной обратной связи с характеристиками гидрподъемов, агрегатами сборов (АС), а также изменением траекторий позиционирования судна-носителя есть обязательным условием корректности энергетической оптимизации параметров эксплуатационных режимов.

Согласно принципу «Приоритетности» первоочередное внимание разработчика следует уделять обеспечению наиболее благоприятному режиму АС в плане его работоспособности и функциональности. Специфика глубоководного добычного комплекса заключается в том, что недостатки конструкции АС неизбежно приводят к дополнительным проблемам во всех звеньях технологической цепочки, а в первую очередь в организации гидрподъема. Достаточно сказать, что снижение показателя «выемки» конкреции при разработке месторождения для обеспечения заданной производительности приведет к необходимости увеличения скорости АС. Это в свою очередь, обуславливает увеличение скорости перемещения трубного стана гидрподъема в толще морской воды, рост гидродинамических сопротивлений и дополнительных энергозатрат движителя судноносителя.

Сформированные принципы представлены в популярной форме и могут быть особенно полезными для разработчиков методологического и программного обеспечения, которые делают только первые шаги в этом направлении, и могут легко запутаться в многочисленных, часто противоречащих друг другу рекомендациях. Изложенные принципы являются, как бы, своеобразным стволем долгосрочной стратегии, направленные на определение рациональных, расходных, конструктивных и энергетических параметров установок, и автоматически отсекают, как и нереализуемые, так и нерациональные режимы гидрподъема.

Предлагаемая стратегия сводится к **восьми основным этапам**. Первые семь этапов посвящены организации вопросов на стадии проектирования МГК с использованием разработанной блочно-иерархической структуры [5, 7, 15]. Структура последовательно отражает моменты определения параметров напряженно-деформированного состояния трубного става [13], его нестационарных аэрогидродинамических характеристик [18, 19], а также конструктивных, расходных и энергетических параметров гидрподъемов с учетом обратной связи со стороны влияния подводного оборудования добычного блока и судна-носителя [15].

На первом этапе стратегии разработка полуэмпирической теории, базирующейся на получении основных уравнений гидродинамики трехфазных смесей, корректной схемы и способа замыкания математических моделей [10]. Тенденция усовершенствования математических моделей к увеличению степени их универсальности.

Второй этап заключается в разработке пилотной эталонной экспериментальной установке, которая позволяет получить достоверные как качественные, так и количественные (а не только сомнительные качественные) данные и закономерности, и в конечном итоге, установить реальные расходные характеристики глубоководных гидрподъемов релевантны опытной добыче ста тысяч тонн в год конкреций с глубины 6 км.

На третьем этапе систематические экспериментальные исследования на разработанной пилотной установке сконцентрированы на получении надежных замыкающих эмпирических зависимостей в критериальном виде. К числу замыкающих зависимостей, в первую очередь, относятся потери давления на трение в двух и трех фазных потоках, скорости устойчивого транспортирования твердого материала, с учетом изменения морфологии многофазной смеси, а также истинные газосодержания [9].

На четвертом этапе - многофакторный численный эксперимент по корректировке расчетных схем, математических моделей, алгоритмов и методик путем обеспечения удовлетворительной для данного класса задач сходимости расчетных и экспериментальных данных [11 - 15].

На пятом этапе - комплекс расчетов рациональных, конструктивных, расходных и энергетических параметров гидрподъемов при опытной добыче конкреций. Выбранные параметры должны гарантированно обеспечивать целостность и работоспособность гидрподъемов [11, 13]. Следует отметить, что выполненные ранее исследования и соответствующие проектные расчеты [11 - 15] начинались сразу на пятом этапе, не рассматривая всю архиважную информацию предыдущих обязательных этапов.

Для шестого этапа необходимо наладить тесное взаимодействие с технологами, обогатителями, специалистами по системам управления и установить возможные эксплуатационные режимы с учетом объективных ограничений со стороны агрегата сбора, судна-носителя и другого технологического оборудования [15]. Игнорирование этого этапа приводит к попытке оптимизации нереализуемых на практике рабочих режимов.

На седьмом этапе - энергетическая оптимизация конструктивных и расходных параметров гидроподъемов на стадии опытной добычи конкреций.

Восьмой этап разработанной стратегии обобщенно отвечает за организацию работ на стадии эксплуатации МГК. Этот этап может быть проиллюстрирован с помощью функционально-оптимизационной системы экспериментальной АСУТП [15]. Предметом этой схемы является согласование технологических звеньев морского горнодобывающего комплекса с помощью экспериментальной системы управления АС [1-3, 6, 15], а также динамическим позиционированием судна-носителя и технологической платформы.

Восьмой этап в обозримом будущем предусматривает переход к промышленной добычи 1-3 млн. тонн в год конкреций с глубины 6-7 км. Данный этап требует информационной поддержки о взаимодействии гидроподъема с основными технологическими и функциональными блоками, связанные с очисткой добытого сырья от ила, дробления твердого, обогащением на судноносителе, перегрузкой сырья на базовое плавсредство и другими операциями. Особое внимание требуется уделить технологии экологической безопасности при транспортировании «хвостов» обогащения, что непрерывно связано с процессом гидроподъема добытого на дне сырья на морскую поверхность.

Изложенная стратегия предусматривает развитие и модернизацию комплекса технических средств, при накоплении достаточного опыта эксплуатации промышленных гидроподъемов. При этом целесообразно корректировать и основной показатель установки «производительность по твердому материалу» при усовершенствовании технологии добычи и соответствующего оборудования.

Так, на стадии предпроектных исследований теоретическая производительность по твердому материалу предварительно назначается по требованию обеспечения рентабельности добычи твердых полезных ископаемых.

На стадии эксплуатации фактическая производительность меньше теоретической ввиду целого ряда ограничений со стороны АС и всей технологической цепочки, а также зависит от ландшафта донной поверхности, плотности залегания конкреций и др. Более тщательный анализ эксплуатационных режимов предполагает достижения **трех последовательных уровней** развития техники и технологии. На первом уровне величина фактической производительности определяется максимально возможной для выбранных технологии и конфигурации технических средств [13, 15].

На втором уровне величина рационального массового расхода конкреций должна соответствовать максимальному КПД гидроподъема [15].

На третьем уровне при достижении должного развития АСУТП производительность определяется по минимальной удельной себестоимости добытого сырья [15]. При изменении условий эксплуатации величина фактической производительности корректируется согласно целям конкретного этапа освоения месторождения.

Третий уровень связан с развитием АСУТП и заключается в прогнозировании возможных аварийных ситуаций, в адаптации параметров изменения продолжительности работы подводного оборудования и диагностики работоспособности технологического оборудования. Другими словами, третий уровень эксплуатации непосредственно связан не только с гидроподъемом, но и с функционированием добычного блока и АСУТП и должен рассматриваться только в рамках системного подхода.

Авторы выражают уверенность, что изложенная стратегия будет способствовать на международном уровне координации усилий разработчиков национальных агентств разных стран в освоении богатств минерального потенциала Мирового океана.

### Выводы

1. Разработана прогрессивная долгосрочная стратегия создания глубоководных гидроподъемов в составе судовых добычных комплексов, проиллюстрированная с использованием интеллектуального алгоритма проектных исследований и анализа эксплуатационных режимов. Парадигма предложенной стратегии заключается в том что при выборе проектных конструктивных, расходных и энергетических параметров установок обязательно принимается во внимание основные регулировочные характеристики эксплуатационных режимов для обеспечения высоких технико-экономических показателей.

2. Разработаны прогрессивные методологические принципы новой стратегии создание гидроподъемов обеспечивающие преемственность уже апробированных теоретических методов исследований и новых экспериментальных результатов. Предложенные принципы являются основой для разработки теории оптимального проектирования уникальных гидроподъемов во взаимодействие с основным подводным и надводным технологическим оборудованием, путем отсеивания бесперспективных разработок.

3. На заключительной стадии находится разработка расчетной части ТЗ на создание эскизного проекта эталонной пилотной экспериментальной универсальной установки, для определения расходных параметров насосного и эрлифтного вариантов гидроподъема. Геометрические размеры и её тактические характеристики гарантированно обеспечивают объективную возможность осуществления корректных физических и численных экспериментов для моделирования исследуемых процессов на стадии опытной добычи полиметаллических конкреций с глубины 6 км.

4. Определены основные подходы и соответствующие критерии выбора фактической производительности на трех уровнях развития технологий гидроподъема и техники смежных областей в зависимости от целей конкретной стадии эксплуатации глубоководных месторождений.

**Список использованных источников**

1. Пат. 89861 Україна, МПК E21C50/00, E21C45/00, F04F1/18, F04F1/20, E02F7/00, B65G53/00. Спосіб керування роботою ерліфта / Кириченко С.О., Євтєєв В.В., Кириченко В.С., Романюков А.В., Татуревич А.А.; заявник та патенто-власник Національний гірничий університет. – № а200805542; заявл. 29.04.08; опубл. 10.03.10, Бюл. № 5.
2. Пат. 2460883 Российская Федерация, МПК E21C50/00. Способ непрерывного сбора полезных ископаемых подводных месторождений и многофункциональная система для его реализации / Пивняк Г.Г., Франчук В.П., Кириченко Е.А., Егурнов А.И., Евтеев В.В.; заявитель и патентообладатель Национальный горный университет. – № 2008141576/03; заявл. 16.10.08; опубл. 10.09.12, Бюл. № 25.
3. Пат. 97283 Україна, МПК E21C50/00, F04F1/00, F04F1/20, F04D13/12, E21B43/16, G05B13/00. Технології запуску, інтелектуального управління роботою та зупинки морського гірничовидобувного комплексу / Ткачов В.В., Кириченко С.О., Кириченко В.С., Шворак В.Г., Євтєєв В.В.; заявник та патентовласник Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет». – № а201001559; заявл. 15.02.10; опубл. 25.01.12, Бюл. № 1.
4. Pivnyak, G.G. Problems of deep-water hydraulic lifting of solid mineral resources / G.G. Pivnyak, E.A. Kyrychenko, V.P. Franchuk // New technologies in mining 21st World mining congress – Krakow, 2008. – P. 49–57.
5. Кириченко, Е.А. Определение проектных параметров гидротранс-портной установки на базе экономико-математической модели / Е.А. Кириченко, И.М. Чеберячко, В.Г. Шворак, В.В. Евтеев // Геотехническая механика: матер. III научн.-техн. конф. молодых ученых “Геотехнические проблемы разработки месторождений”. – Днепропетровск: ИГТМ, 2006. – Вып. 62. – С. 177–183.
6. Пат. 86471 Україна, МПК E21C50/00, F04F1/00. Технологія керування комплексом розробки підводних родовищ корисних копалин / Кириченко С.О., Шворак В.Г., Євтєєв В.В., Хоменко В.Л.; заявник та патентовласник Національний гірничий університет. – № а200706512; заявл. 11.06.07; опубл. 27.04.09, Бюл. № 8.
7. Кириченко, Е.А. Блочно-иерархический подход к разработке технологии управления глубоководными добычными комплексами / Е.А. Кириченко, В.И. Самуся, В.Е. Кириченко // Гірничя електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2008. – № 80. – С. 101–109.
8. Kyrychenko, Y. Research of dynamic processes in deep-water pumping hydrohoists lifting two-phase fluid / Y. Kyrychenko, V. Kyrychenko, A. Romanyukov // Technical and Geoinformational Systems in Mining. – CRC Press/Balkema, Taylor Francis Group, London, 2011. – PP. 115–124. – ISBN 978-0-415-68877-2.
9. Кириченко, Е.А. Анализ известных зависимостей для определения критических скоростей движения гидросмеси / Е.А. Кириченко, И.М. Чеберячко, В.Г. Шворак // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2004. – Вып. 20 (61). – С. 135–141.
10. К вопросу замыкания трехскоростной модели трехфазного течения применительно к расчету глубоководного эрлифта / Е.А. Кириченко, А.В. Романюков, В.В. Евтеев, В.Е. Кириченко // Зб. наук. праць Національного гірничого університету. – 2007. – № 29. – С. 92–98.
11. Кириченко, Е.А. Теория и алгоритмы расчета снарядного течения в эрлифте: [монография] / Е.А. Кириченко, В.Е. Кириченко, В.В. Евтеев. – Д.: Национальный горный университет, 2013. – 263 с. – ISBN 978-966-350-398-1.
12. Моделирование динамических процессов в глубоководных пневмотранспортных системах: [монография] / Е.А. Кириченко, О.Г. Гоман, В.Е. Кириченко, А.В. Романюков. – Д.: Национальный горный университет, 2012. – 268 с. – ISBN 978-966-350-350-9.
13. Кириченко, Е.А. Механика глубоководных гидротранспортных систем в морском горном деле: [монография] / Евгений Алексеевич Кириченко. – Д.: Национальный горный университет, 2009. – 344 с. – ISBN 978-966-350-170-3.
14. Динамика глубоководных гидроподъемов в морском горном деле: [монография] / Е.А. Кириченко, В.Г. Шворак, В.Е. Кириченко, В.В. Евтеев. – Д.: Национальный горный университет, 2010. – 259 с. – ISBN 978-966-350-231-1.
15. Основы проектирования систем гидротранспорта полиметаллических руд Мирового океана [Текст]: моногр. / Е.А. Кириченко, О.Г. Гоман, В.Е. Кириченко, В.В. Евтеев. – Д.: Национальный горный университет, 2014. – 611 с.
16. Kyrychenko, E.A. The technology of polymetallic concretions extraction and transporting / Kyrychenko E.A., Samusya V.I., Kyrychenko V.E. // Innovations in Non-Blasting Rock Destruction, Freiberg 2008. – P. 169–178.
17. Kyrychenko, Y. Advanced method for calculation of deep-water airlifts and the special software development [Text] / Y. Kyrychenko, V. Kyrychenko, A. Taturevych // Technical and Geoinformational Systems in Mining. – CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group, London, 2011. – P. 215–222. ISBN 978-0-415-68877-2.
18. Гоман, О.Г. Экспериментальные исследования аэроупругой неустойчивости элементов става [Текст] / О.Г. Гоман, И.Ю. Графский, Е.А. Кириченко // Сб. науч. тр. НГАУ. – Днепропетровск, 1998. – № 2. – С. 400–417.
19. Гоман, О.Г. Экспериментальные исследования аэродинамических характеристик элементов эрлифтных гидроподъемов [Текст] / О.Г. Гоман, И.Ю. Графский, Е.А. Кириченко // Збагачення корисних копалин. – 1999. – Вып. 4 (45). – С. 46–54.

**АННОТАЦИЯ**

Путем обобщения новых закономерностей и известных результатов, полученных данным авторским коллективом, на протяжении более 40 лет разработана долгосрочная многоэтапная стратегия создания глубоководных гидроподъемов в составе морских добычных комплексов. Предложенная стратегия базируется на прогрессивных методологических принципах определения рациональных проектных и эксплуатационных параметров установок и инновационных способах повышения эффективности гидроподъемов в сложных условиях больших глубин. Предложенная стратегия является мощным инструментом изысканий на всех стадиях проектирования и эксплуатации, а также обеспечивает правильный выбор наиболее обоснованного пути к достижению цели. Деформация предложенной стратегии приводит к стремительной девальвации практических результатов.

**Ключевые слова:** *глубоководный гидроподъем, глубоководная добыча, трубопроводный став, гидро-транспорт, насос, эрлифт, твердые полезные ископаемые, судовой добычной комплекс.*

**ABSTRACT**

By generalizing new patterns and known results obtained by this team of authors, a long-term multi-stage strategy for creating deep-water hydraulic lifts as part of offshore production complexes has been developed for more than 40 years. The proposed strategy is based on progressive methodological principles for determining rational design and operating parameters of installations and innovative ways to increase the efficiency of hydraulic lifting in difficult conditions of great depths. The proposed strategy is a powerful exploration tool at all stages of design and operation, and also ensures the correct choice of the most reasonable way to achieve the goal. The deformation of the proposed strategy leads to a rapid devaluation of practical results.

**Key words:** *deep-water hydraulic hoist, deep-water mining, pipeline, hydrotransport, pump, airlift, solid minerals, ship mining complex*

*Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Колосовим Д.Л.*