

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ САПР ГИДРОПОДЪЕМОВ В СОСТАВЕ СУДОВЫХ ДОБЫЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Рассмотрены особенности разработки САПР гидротранспортных систем в составе горно-морского предприятия. Предложена блочно-иерархическая структура САПР эрлифтных и насосных гидроподъемов, реализуемая посредством пакета научно-исследовательских программ, находящихся в стадии активной разработки в рамках математического и программного обеспечения САПР.

Розглянуто особливості розробки САПР гідротранспортних систем у складі гірничо-морського підприємства. Запропонована блоково-ієрархічна структура САПР ерліфтних і насосних гідропідйомів, що реалізується за допомогою пакету науково-дослідних програм, які знаходяться у стадії активної розробки в межах математичного і програмного забезпечення САПР.

The CAE development features of hydro-transport systems within marine mining enterprise are considered. The block-hierarchical structure for CAE of air-lift and pump hydraulic hoists is offered, that is realized by means of research software package, being in the stage of active development within the mathematical and programmatic framework of CAE.

Введение. Проектные задачи разработки оборудования для промышленного освоения глубоководных океанских месторождений полезных ископаемых являются, по сути, пионерскими. Ввиду сложности условий функционирования глубоководных гидроподъемов, сопоставимой с космической отраслью, приходится отказываться от сложившихся стереотипов проектирования традиционной горной техники. Конечно, говорить о создании систем автоматизированного проектирования горно-морских предприятий (ГМП), безусловно, преждевременно. Данный процесс требует огромных затрат интеллектуального труда и времени. С другой стороны, некоторые разработки уже сегодня могут служить основой создания математического и программного обеспечений САПР, особенно пакета научно-исследовательских программ.

Целью данной работы является разработка блочно-иерархической структуры автоматизированного проектирования насосных и эрлифтных установок в составе горно-морского предприятия, и соответствующего математического и программного обеспечений.

Изложение основного материала исследований. Задачи создания математического обеспечения (МО) и программного обеспечения (ПО) имеют ряд характерных особенностей, обусловленных спецификой горно-морских добычных комплексов, относящихся к объектам «высокой сложности» согласно классификации САПР (ГОСТ 23501.108-85). Очевидно, что математическое обеспечение проектирования установок должно адекватно описывать исследуемые физические процессы. Вместе с тем, реализовать уже разработанные элементы МО можно, вообще говоря, различными способами (различные численные методы на микро, макро и мета уровнях), что в значительной степени предопределяет структуру и функциональность программного обеспечения. Поэтому, для новой области использования горного оборудования, МО целесообразно строить с учетом возможностей и ограничений современной вычислительной техники в плане корректной программной реализации (рациональность, надеж-

ность, быстроедействие) всех компонент математического обеспечения. Сегодня такой подход при решении задач автоматизированного проектирования уникальных машиностроительных конструкций представляется наиболее эффективным.

Гидроподъем функционально, технологически и кинематически является связующим звеном между донным и надводным блоками ГМП, что является основополагающим фактором структуры САПР [1]. Так, параметры гидроподъема априори зависят от выбранной технологии ведения горных работ, возможностей добычного оборудования донного блока, и в первую очередь производительности агрегата сбора (АС), системы управления ГМП и т.д. С другой стороны, геометрия трубного става (ТС) и его равновесная форма, непосредственно определяющие прочность конструкции и устойчивость процесса транспортирования гидросмеси посредством аэродинамических коэффициентов существенно влияют на скорость движения судна-носителя (особенно при маневрах) и мощность маршевых движителей. Кроме того, форма ТС кинематически «отвечает» за непосредственный контакт рабочего органа АС с разрабатываемым пластом, что особенно актуально для буксируемого агрегата сбора. А в конечном итоге, с производительностью гидроподъема связаны выбор мощности и типа обогатительного оборудования, объем хранилища концентрата на судне-носителе и другие факторы, определяющие базовую компоновку машин и агрегатов судовых добычных комплексов (рис. 1) [2].

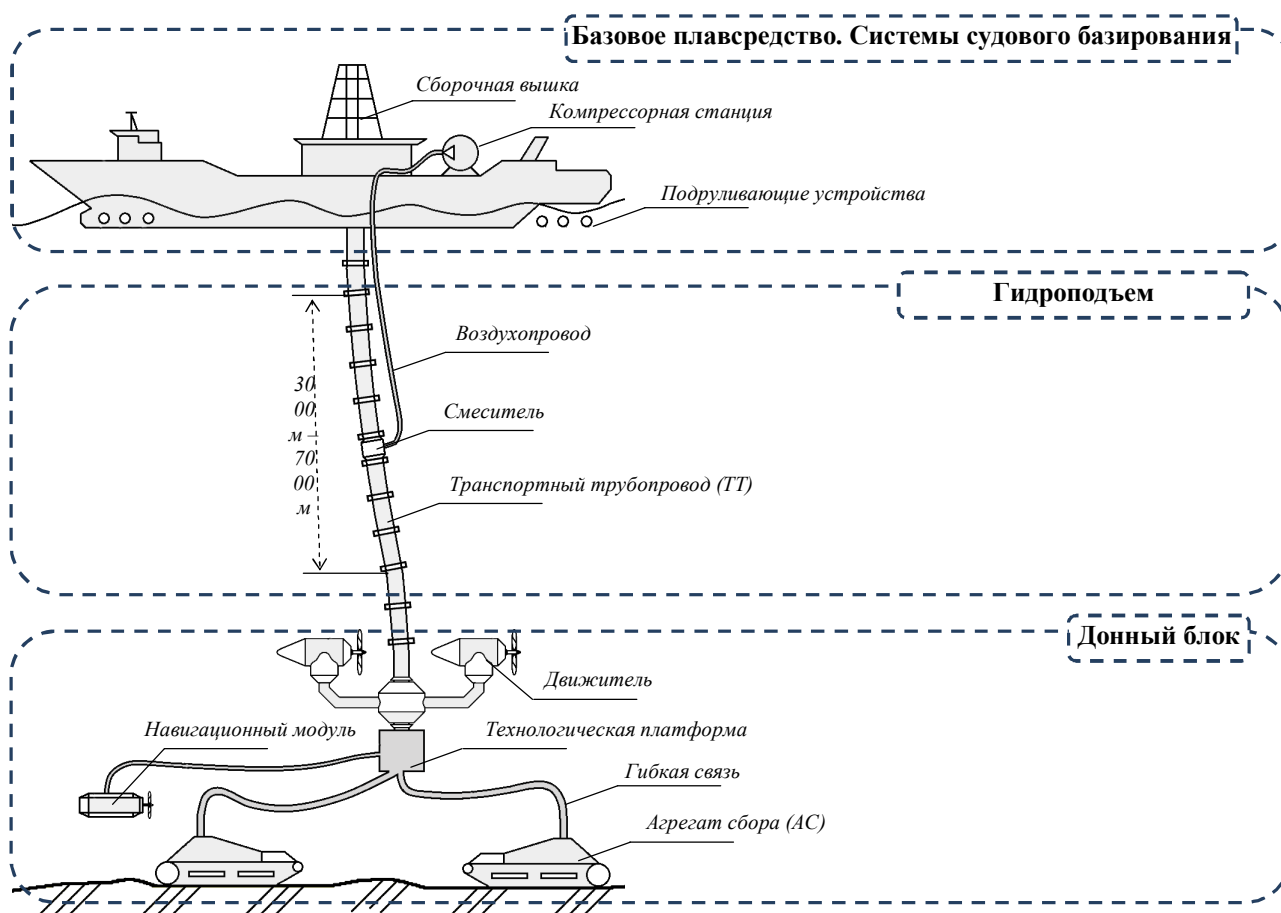


Рис.1. Горно-морской добычной комплекс

Многообразие и сложность взаимосвязанных задач определяют общую структуру проектирования гидроподъемов как многоуровневый иерархический объект, что нашло отражение в морфологической структуре проектирования гидроподъемов в составе ГМП (рис. 2). Реализация общей структуры достигалась путем уровневой декомпозиции процесса проектирования за счет модульного принципа решения задач теории упругости, гидроаэроупругости и гидродинамики многофазных течений в сопряженной постановке.

Необходимо подчеркнуть, что предметом авторских разработок является только гидроподъем (блоки, выделенные обычным шрифтом), а блоки, выделенные курсивом, приведены с целью указания их места и связей в общей структуре проектирования всего морского горнодобывающего предприятия.

Проектирование гидроподъемов связано с решением целого ряда задач [1]:

- определением статических и динамических характеристик напряженно-деформированного состояния транспортного трубопровода (ТТ);
- расчетом основных конструктивных, расходных и энергетических параметров установки;
- определением пространственной формы ТТ при его буксировке в толще воды;
- разработкой локальных систем регулирования расходных параметров гидроподъема и др.

Расчетное определение нагрузок – наиболее ответственный этап процесса проектирования, стимулируемый развитием компьютерной техники и методов вычислительной математики. Разработанные математические модели гидроупругого взаимодействия элементов ТС с окружающей морской средой и протекающей пульпой, а также расчетные схемы опираются на моделирование става в виде конечной совокупности стержней с постоянными по длине механическими и геометрическими характеристиками и учитывают следующие характерные черты и особенности конструкции [2]:

- кусочно-постоянный по длине ТТ закон изменения геометрических, механических и физических параметров, а также наличие сосредоточенных элементов;
- распределенные и сосредоточенные статические и динамические нагрузки, образующие пространственную схему сил;
- асимметричность поперечного сечения трубной системы подъема относительно оси центрального транспортного трубопровода;
- вертикальные и поперечные (попутные и боковые) колебания трубного става около положения равновесия;
- ступенчатую деформированную форму подвижного транспортного трубопровода при расчете гидравлических параметров течения пульпы.

Предварительное определение (задание) производительности агрегата сбора самоходного или буксируемого типа

Выбор параметров отмывочного и дробильного оборудования

Определение параметров перекачного насоса, а также гибкой связи в случае самоходного агрегата сбора

Определение параметров бункера-дозатора и шнекового питателя

I УРОВЕНЬ: Предварительное определение параметров гидроподъема

Предварительное определение внутренней геометрии вертикального транспортного трубопровода упрощенными методами гидравлического расчета.

Выбор компоновки ТС по предварительным аэрогидродинамическим исследованиям

Предварительное определение параметров НДС вертикального транспортного трубопровода упрощенными методами прочностного расчета

II УРОВЕНЬ: Определение параметров

Статика:

- Определение силы веса и силы Архимеда
- Определение прочностных параметров ТС, местоположений и параметров разгрузочных устройств, поплавков на проблемных узлах

Динамика:

- Определение собственных частот, форм и динамических напряжений вынужденных колебаний. Расчет параметров спайдерного устройства
- Определение суммарных напряжений
- Проверка возможности резонанса

Квазистатика:

- Определение аэрогидродинамических коэф-фициентов элементов ТС, технологической платформы, обтекателей; выдача исходных данных для определения мощности двигателей судна
- Определение формы ТТ. Расчет параметров устройств управления формой ТТ (двигатели судна, ТТ и технологической платформы; канатные лебедки полиспастной системы)
- Уточнение поверхностных сил
- Уточнение прочностных параметров ТТ

III УРОВЕНЬ: Определение нестационарных гидродинамических характери-

Определение параметров автоколебаний и напряжений при галопировании

Уточнение прочностных параметров ТТ

Уточнение суммарных напряжений

Определение области аэрогидроупругой устойчивости ТС и корректировка конструкции ТС путем включения специальных элементов

Уточнение формы ТТ

Проверка возможности резонанса

IV УРОВЕНЬ: Определение конструктивных, расходных и энергетических пара-

Насосный вариант:

- Уточнение конструктивных параметров насосного трубопровода и расходных параметров потока пульпы для достижения максимальных к.п.д.
- Выбор насосных агрегатов, схемы их подключения, способов регулирования, запорно-регулирующей арматуры, определение кавитационного запаса

Эрлифтный вариант:

- Уточнение глубины погружения смесителя, диаметра подводящего трубопровода, длин и диаметров ступеней подъемного трубопровода, расходных параметров потока гидросмеси для достижения максимальных к.п.д.
- Расчет параметров пневмосети и выбор компрессорной станции

Уточнение формы ТТ с учетом внутреннего потока гидросмеси

Уточнение конструктивных параметров гидроподъема с использованием экономико-математического моделирования

Диагностические тесты:

- Проверка транспортирующей способности потока
- Проверка динамической устойчивости ТС
- Проверка параметри-

Выбор спускоподъемных устройств для монтажа-демонтажа подводного оборудования

Определение емкости трюма для хранения концентрата

Уточнение мощности маршевых двигателей и выбор подруливающих устройств судна-носителя

Рис. 2. Блочная-иерархическая структура САПР гидроподъема в составе ГМП

Структура САПР гидроподъема содержит четыре уровня. Первый уровень предусматривает нахождение предварительных геометрических и расходных параметров глубоководного гидроподъема (ГГ), обеспечивающих соответственно целостность конструкции и устойчивость транспортирования гидро-смеси, в упрощенной постановке без учета ряда факторов. Эти параметры корректируются на последующих трех итерационных уровнях уже с учетом специфики эксплуатации морских гидроподъемов. Так, на втором уровне определяется пространственно-деформированная форма трубного става и рассматриваются вопросы обеспечения прочности его конструкции с учетом колебаний на морском волнении, решение которых, однако, не гарантирует транспортирование пульпы в зоне оптимальных по энергоемкости параметров. Информация по частотному спектру нужна для отстройки от возможных резонансных режимов путем изменения массовых и упругих характеристик конструкции. Третий уровень определяет форму и динамическую устойчивость трубного става с учетом аэрогидроупругих автоколебаний, вследствие взаимодействия с окружающей морской средой, после чего уточняются суммарные напряжения. Четвертый уровень определяет конструкцию и расходные параметры гидроподъемов для достижения максимальных к.п.д. установок.

Предлагаемая структура организует последовательное решение задач всех иерархических уровней с передачей результатов на нижележащие уровни в виде соответствующих ограничений или условий решения задач этих уровней [3].

Анализ приведенной структуры показывает, что в качестве основной передаточной функции различных уровней иерархии выступает форма трубопровода, определяемая в конечном итоге взаимовлиянием упругих, гидродинамических (внешнее обтекание, течение пульпы) и энергетических параметров.

Кроме того, в процессе разработки таких сложных конструкций с известной степенью неопределенности исходных данных (параметры ветроволнового режима, подводных течений и др.) следует уже на стадии проектирования предусмотреть принципиальные способы и средства локальных систем регулирования эксплуатационных параметров установок, что является новым научно-прикладным результатом. Поэтому для реализации основных принципов проектирования гидроподъемов в составе ГМП и управления технологическими процессами в рамках единой концепции в блочно-иерархической структуре предусмотрены следующие средства управления, которые укрупнено можно разбить на четыре группы:

1. Регулирование расходных характеристик течения пульпы в транспортном трубопроводе с целью минимизации удельных энергозатрат. Управляемыми параметрами будут плотность и скорость течения смеси, которые регулируются путем изменений скорости вращения шнекового питателя, подающего твердый материал из бункера-дозатора, и расхода морской воды.

2. Регулирование пространственной формы ТС, приближая ее к вертикальной, может осуществляться следующими способами:

- изменением скорости и траектории движения судна в случае гибкой связи ТС с агрегатом сбора;

- размещением в определенных местах трубного става специальных винтовых движителей;
- размещением на технологической платформе мощного подруливающего устройства;
- канатными лебедками полиспасной системы, соединяющими судно-носитель с различными участками трубного става.

3. Регулирование параметров автоколебательных процессов с целью снижения интенсивности вибраций сводится к разработке специальных мероприятий, направленных на нарушение периодичности вихреобразований, уменьшение нестационарного гидродинамического воздействия и увеличение гидродинамического демпфирования [2].

4. При вынужденных колебаниях наиболее приемлемой является частотная отстройка, т.е. изменение собственной частоты колебаний ТС по отношению к частоте возбуждающей силы. С этой целью конструкцию ТС следует сделать модельно управляемой. Например, управлять упругим шарнирным опиранием переменной жесткости в спайдерном устройстве, снабдить технологическую платформу управляемыми обтекателями для изменения ее инерционных характеристик и т.д.

В основе блочно-иерархической структуры заложен итерационный подход. Переход на следующую итерацию происходит путем возвращения к уровню II с последовательным прохождением всех ее пунктов. Данная структура предполагает дальнейшее совершенствование по мере углубления теоретических разработок и накопления данных экспериментальных исследований.

Для воплощения сложного математического обеспечения в программном коде было принято решение прибегнуть к помощи нескольких свободно-распространяемых хорошо зарекомендовавших себя библиотек.

Для работы с многомерными массивами хорошо подходит библиотека Armadillo [4], распространяемая по лицензии GNU LGPL. За счет интеграции Armadillo с пакетом MKL достигается высокая производительность расчетов.

Для специфических научных расчетов применяется Blitz++ [5]. Библиотека является Open Source проектом и основана на темплейтах, которые несут метаинформацию для компилятора. Используя её, компилятор генерирует оптимальный код, специфичный для указанного типа процессора, что позволяет добиться максимальной производительности.

Несколько сложных задач удается решить методом символьных вычислений благодаря мощной C++ библиотеке GiNaC [6], предназначенной для создания интегрированных систем, в которых символьные манипуляции сочетаются с численными методами. Библиотека является свободно-распространяемой (лицензия GNU GPL) и отличается удобным API (Application Layer Interface). Главным достоинством данной библиотеки является использование технологии CLN(Common Lisp Numbers) для решения дифференциальных уравнений.

Учитывая, что все выбранные библиотеки написаны на языке программирования C++, видится целесообразным вести разработку пакета научно-исследовательских программ на этом же языке. Как известно, слабым местом языка C++, точнее связанных с ним библиотек, сред и средств разработки, яв-

ляется скучные либо неудобные по современным меркам возможности по созданию графических интерфейсов. Здесь существует несколько основных путей преодоления данного неудобства.

Первый путь заключается в отказе от Native-UI («родной» интерфейс операционной системы) в пользу Web-интерфейса. Сегодня это популярный подход на рынке ПО, позволяющий относительно легко портировать конечный программный продукт на большинство распространенных платформ, включая мобильные ОС. Смысл подхода заключается в том, что программный продукт делится на два отдельных модуля: серверную часть (логика приложения) и клиентскую часть (пользовательский интерфейс). При портировании на каждую новую платформу изменениям подлежит только клиентский модуль, где, по большому счету, просто заменяется «web-движок», наиболее подходящий для целевой платформы. Однако данный способ достаточно эффективен для ПО ориентированного на массового потребителя, и, пожалуй, является малоприменимым для уникальных машиностроительных комплексов.

Второй путь состоит в том, что C++ код всегда можно «переложить» на платформу Microsoft .Net Framework (либо его linux-аналог MONO [7]), хотя и основательно повозившись.

Третий путь заключается в построении пользовательского интерфейса средствами бесплатной версии кроссплатформенного C++ фреймворка Qt 4.x.[8]. Выбор был сделан в пользу последнего варианта, хотя он имеет и ряд недостатков относительно второго.

Приведенные соображения использованы при разработке пакета прикладных программ, реализующего научно-исследовательские задачи САПР глубоководных гидроподъемов.

Выводы

1. Разработана блочно-иерархическая структура САПР глубоководных гидроподъемов в составе горно-морских предприятий с учетом соответствующих связей и ограничений со стороны смежных систем.

2. Предложен оригинальный подход для решения задач автоматизированного проектирования насосных и эрлифтных установок, основанный на разработке математического и программного обеспечения в сопряженной постановке.

3. В представленной блочно-иерархической структуре САПР реализованы принципы проектирования гидроподъемов в составе горно-морских предприятий и управления технологическими процессами в рамках единой концепции.

4. Разработаны программные модули по расчету напряженно-деформированного состояния трубного става и гидродинамических параметров гетерогенных потоков в проточных частях гидроподъемов.

Список литературы

1. Кириченко Е.А. Научное обоснование параметров трубных систем для гидроподъема полезных ископаемых: автореф. дис. на соискание научн. степени докт. техн. наук: спец. 05.05.06 «Горные машины» / Кириченко Евгений Алексеевич; Гос. высшее уч. заведение «Нац. горный ун-т». – Днепропетровск, 2001. – 38 с.

2. Кириченко Е.А. Механика глубоководных гидротранспортных систем в морском горном деле: [монография] / Евгений Алексеевич Кириченко. – Д.: Национальный горный университет, 2009. – 344 с.
3. К вопросу разработки способа автоматизированного управления переходными режимами в глубоководных эрлифтах / В.Е. Кириченко // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ: НГУ. – 2008. – № 11. – С. 71 - 75.
4. «Armadillo» C++ библиотека для решения задач линейной алгебры и матричных вычислений [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://arma.sourceforge.net/> – Название с домашней страницы интернет.
5. «Blitz++». C++ библиотека для быстрых математических расчетов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://blitz.sourceforge.net/> – Название с домашней страницы интернет.
6. «GiNaC». Мощная математическая библиотека с богатыми возможностями символьных вычислений [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ginac.de/> – Название с домашней страницы интернет.
7. «MONO». Кроссплатформенный .Net фреймворк с открытым исходным кодом [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.mono-project.com> – Название с домашней страницы интернет.
8. «QT». Кроссплатформенный C++ фреймворк с открытым исходным кодом. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://qt.digia.com>, <http://qt-project.org> – Название с домашней страницы интернет.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Мещеряковим Л.І.
Надійшла до редакції 03.11.2014*

УДК 550.428:553.93

© В.В. Ишков, Е.С. Козий

О КЛАССИФИКАЦИИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ПО СОДЕРЖАНИЮ ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА

Рассмотрены особенности использования кластерного анализа для классификации угольных пластов по содержанию токсичных элементов.

Розглянуто особливості використання кластерного аналізу для класифікації вугільних шарів щодо вмісту токсичних елементів.

There were considered features to apply cluster analysis to classify coal seams as for toxic elements content.

Изучение концентраций токсичных и потенциально токсичных элементов в углях пластов Красноармейского геолого-промышленного района обусловлено ужесточением требований к охране окружающей среды. Актуальность таких исследований обусловлена рядом Законов Украины, постановлениями Кабинета Министров, а также требованиями ГКЗ к качеству и содержанию геологических материалов при разведке угольных месторождений.

Научный и практический интерес вызывает установление возможностей классификации угольных пластов района по содержанию токсичных и потенциально токсичных элементов на основании результатов различных методов