

*Е.А. Кириченко, В.И. Самуся, д-ра техн. наук, В.Е. Кириченко  
(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)*

## **БЛОЧНО-ИЕРАРХИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ГЛУБОКОВОДНЫМИ ДОБЫЧНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ**

Сегодня в мире наблюдается существенный интерес к минеральному потенциалу Мирового океана в связи с отсутствием некоторых цветных металлов на суше. Исследования глубоководных месторождений полезных ископаемых являются приоритетным направлением укрепления стратегической сырьевой базы, обеспечивающей экономическую независимость страны. Среди твердых полезных ископаемых (ТПИ) наибольший интерес представляют железомарганцевые конкреции, кобальто-марганцевые корки, фосфатные конкреции, полиметаллические сульфиды, металлизированный ил и др.

Согласно документам Международного органа ООН по морскому дну и Международного трибунала по морскому праву геологические работы должны, в основном, закончиться к 2010 – 2012 г. Следующий этап связан с экспериментальной добычей полиметаллических конкреций, поэтому на первый план выходят задачи по созданию высокоэффективных способов и средств освоения глубоководных месторождений полезных ископаемых. Функционирование уникальных горно-морских предприятий в основном связано с многоплановой работой машиностроителей, технологов и специалистов по системам управления.

К основным рабочим режимам глубоководного добычного комплекса (ГДК) относятся: монтаж – демонтаж глубоководного оборудования, выход судна на исходную позицию, мягкая посадка агрегата сбора на грунт и вывод его на исходную траекторию, добыча твердых полезных ископаемых (ТПИ), подъем сырья на судно и первичное обогащение, передвижение базового плавсредства с развернутым подводным оборудованием, перегрузка сырья на суда рудовозы, профилактический и (или) аварийный подъем технологического оборудования и его спуск без демонтажа трубопровода, штормовой отстой.

Функционирование столь сложных технологических комплексов невозможно без создания АСУ оборудованием ГДК с целью отработки технологии добычных работ, достижения и поддержания заданных технологических параметров добычи ТПИ, создания условий для безопасной эксплуатации ГДК во всех рабочих режимах и выполнения спуско-монтажных и восстановительных работ.

В настоящее время определенные успехи можно отметить лишь при разработке агрегатов сбора и гидроподъема ТПИ [1-5]. Известные единичные работы по управлению процессами добычи и транспортирования сырья рассматривают их в отрыве от всей технологической цепочки [6,7]. Такой подход не учитывает взаимного влияния эксплуатационных параметров всего используемого оборудования, а также ограничения, накладываемые на рабочие режимы,

связанные с различными производственными ситуациями, работоспособностью и надежностью машин, характеристиками локальных систем регулирования и т.д.

Поэтому **целью** данной статьи является разработка блочно-иерархического подхода к созданию экспериментальной АСУ ГДК, при котором результаты решения задач высших уровней иерархии передаются на нижние в виде соответствующих ограничений и требований, позволяющих избежать пустых затрат интеллектуального труда и времени.

Экспериментальная установка ГДК предназначена для добычи ТПИ со дна океана при глубинах до 6000 м, а также для подъема затонувших объектов. Общий вид ГДК изображен на рис. 1.

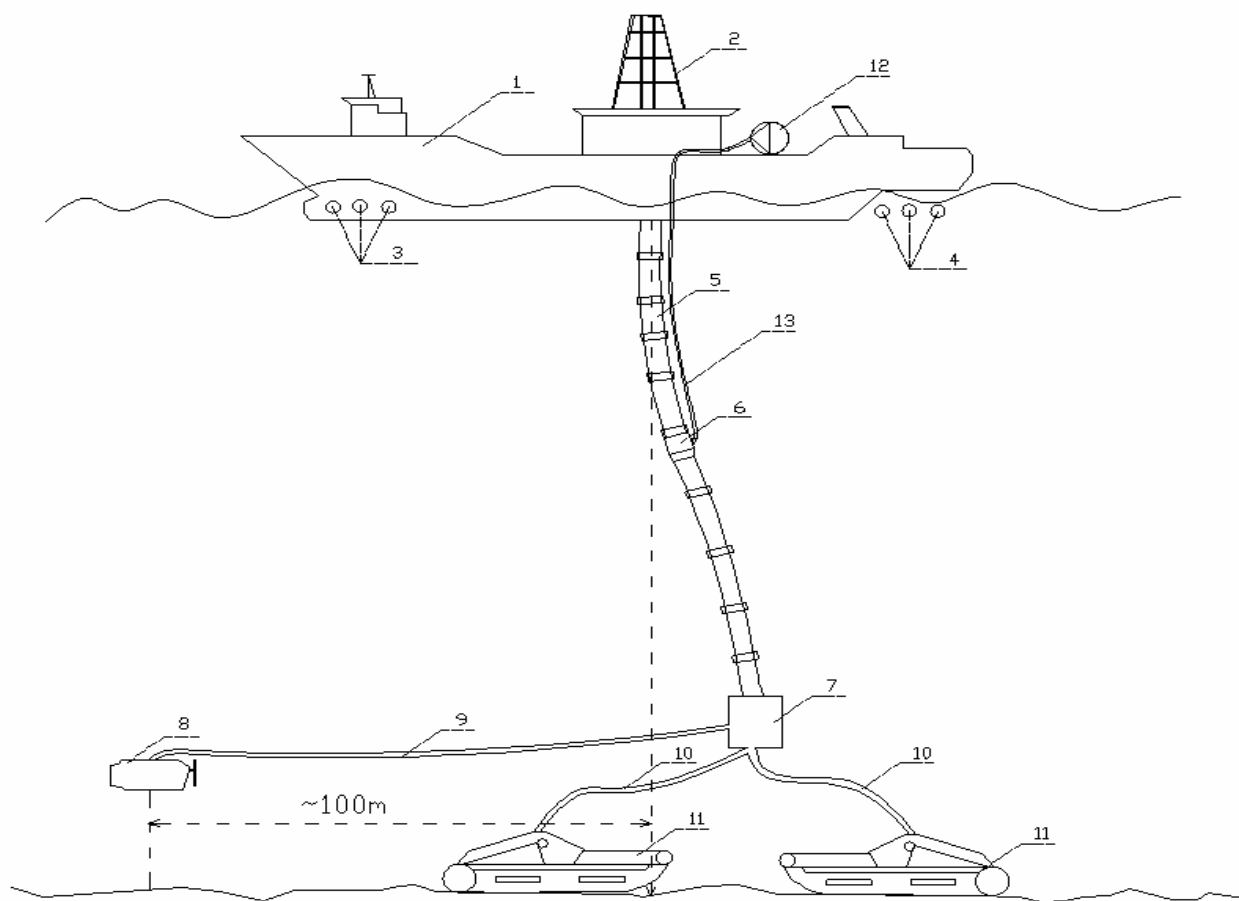


Рис.1. Общий вид глубоководного добычного комплекса

Функциональное назначение составных элементов ГДК следующее. На базовом плавсредстве 1 размещается все надводное оборудование, спуско-подъемные средства, бортовая система обогащения сырья, система приема и временного хранения сырья. Также на судне размещается система определения месторасположения и подсистема динамической стабилизации движения судна, которая требует применения дополнительных активных средств управления движением. К ним относятся подруливающие устройства 3 и выдвигные двигатель-рулевые колонки 4. Для сборки трубопровода на судне имеется специальная вышка 2. Трубопровод 5 в связке с компрессором 12, смесителем 6 и воздухопроводом 13 образуют эрлифтную установку, обеспечивающую подъем

ТПИ на судно. Длина трубопровода составляет до 6000 м, на нижнем его конце находится технологическая платформа 7. Технологическая платформа 7 располагается на расстоянии нескольких десятков метров от дна и содержит бункер-накопитель, предназначенный для промежуточного хранения запасов ТПИ и дозирования подачи ТПИ в трубопровод. Агрегат сбора (АС) 11 осуществляет непосредственный сбор ТПИ со дна океана, отмыв ТПИ от донных осадков и перекачку ТПИ через гибкий шланг 10 в расположенный на технологической платформе 7 бункер-накопитель. Навигационный модуль обеспечивает обзор донной поверхности в районе движения АС. Его основными функциями являются обнаружение препятствий по курсу движения АС, определение направления и скорости придонных течений, гидролокация донной обстановки, получение информации о залегании конкреций.

Экспериментальная АСУ ГДК является сложной многофункциональной системой, элементы и подсистемы которой тесно взаимосвязаны между собой. Структура АСУ значительно усложняется за счет реализации в ней большого количества адаптационных моделей, алгоритмов прогнозирования процессов в ускоренном масштабе времени. Кроме того, в АСУ задействованы схемы стабилизации управляемых процессов и согласования параметров регулирования функциональных элементов. Исходя из вышесказанного, авторами предлагается укрупненная структурная схема АСУ в виде трехуровневой блочной иерархии (рис 2), в которой задачи и функции управления распределены по уровням в обмен на некоторую степень допускаемой абстракции.

Перейдем к рассмотрению каждого из уровней. В первый уровень входят блок анализа производственных ситуаций (1.1) и блок адаптации к метеоусловиям (1.2). В блоке анализа производственных ситуаций решаются задачи «реакции» на внештатные ситуации глобального характера, исследования причин возникновения таких ситуаций и их предотвращения. Блок адаптации к метеоусловиям решает задачи адаптации производственного процесса к конкретным метеоусловиям, от чего зависит время работы установки. В зависимости от изменения времени работы добычного комплекса могут изменяться и тактические цели АСУ. Например, режим оптимальной производительности комплекса при минимальных энергозатратах может быть заменен на режим максимальной производительности. При штормовом предупреждении ГДК переходит в режим «штормового отстоя».

Второй уровень – управление надежностью и работоспособностью – решает задачи контроля и прогнозирования работоспособности технологического оборудования и функциональных элементов АСУ. Со всех подсистем сюда поступает информация, характеризующая состояние узлов и агрегатов ГДК, а также и об их текущих режимах. Во втором уровне блоки распределены на две группы: управление технологическим оборудованием (2.1) и управление надежностью АСУ (2.2).

На диагностических моделях надежности и работоспособности с помощью специальных тестов определяется состояние и исправность оборудования, прогнозируются его работоспособность и показатели надежности. Результаты решения задач уровня управления надежностью и работоспособностью пере-

даются оператору в виде рекомендательных инструкций по обслуживанию и резервированию оборудования, а также в третий уровень в виде ограничений на рабочие режимы. Работа блока прогнозирования развития внештатных и аварийных ситуаций (2.1.1) заключается в периодическом запросе информации о надежности технологического оборудования, которая предоставляется в качестве входных данных моделям и алгоритмам прогнозирования работоспособности и надежности оборудования ГДК. Диагностика технологического оборудования (2.1.2) осуществляется с помощью измерительных цепей экспериментальной АСУ ГДК. Диагностическая информация отображается на терминалах операторов, записывается в специальные базы данных и задействуется в автоматических контурах реакции на отказ оборудования. Блок прогнозирования устойчивости управляемых процессов (2.1.3) базируется на работе моделей в ускоренном времени. Обслуживание и восстановление технологического оборудования (2.1.4) может осуществляться как в автоматическом, так и в автоматизированном режимах. Обслуживание, в основном, проводится при помощи поднятия оборудования на поверхность океана, при этом широко используются средства монтажа, демонтажа (2.1.5). Восстановление оборудования осуществляется преимущественно агрегатным способом.

Помимо контроля работоспособности узлов и агрегатов ГДК существует необходимость контроля работоспособности самой АСУ (2.2). Для этого используются блоки второй группы. В состав аппаратуры, контролируемой блоком тестирования аппаратуры АСУ (2.2.1), входят линии связи и командно-измерительные контроллеры (микропроцессорные устройства, осуществляющие управление измерительными цепями и датчиками, а также выполняющие измерительные преобразования и двунаправленную передачу измерительной информации по линии связи). Процесс тестирования аппаратуры АСУ заключается в периодической передаче тест-пакетов удаленным командно-измерительным контроллерам и в последующем анализе результатов их выполнения. Блок тестирования и восстановления вычислительного процесса (2.2.2) относится большей частью к программному обеспечению (ПО). В задачи этого блока входит контроль вычислительных ресурсов, целостности данных, корректности межкомпонентных связей, а также принятие мер по возобновлению функциональности АСУ после системных сбоев. Блок контроля достоверности командно-измерительной информации (2.2.3) тесно взаимосвязан с двумя вышерассмотренными блоками. Достоверность командно-измерительной информации может быть нарушена за счет помех различной природы, возникающих при передаче информации в длинных линиях связи. Во избежание искажения информации в рассматриваемом блоке предусматривается применение помехоустойчивого кодирования. Резервное копирование экспериментальных, промежуточных и априорных данных (2.2.4) выполняется автоматически с заданной периодичностью, что позволяет оперативно восстановить вычислительный процесс при аварии вычислительной системы. Параллельная бесконфликтная работа операторов (2.2.5) обеспечивается за счет использования современных систем управления базами данных, например как механизмы транзакций и репликаций. Программное обеспечение экспериментальной АСУ ГДК должно быть макси-

мально защищено от неправильных действий операторов (2.2.6), даже с учетом высокой квалификации персонала. В зависимости от ситуации деструктивные действия операторов должны либо полностью блокироваться, либо они должны получать предупреждения от системы о последствиях выполнения данных действий.

На третьем уровне решаются задачи управления запасами твердого в емкостях, минимизации энергозатрат, согласования звеньев технологической цепочки при нестационарных и переходных процессах, что в основном связано с разработкой локальных систем регулирования.

Таким образом, **новым научным результатом** является разработанная блочно-иерархическая трехуровневая структура экспериментальной АСУ процессами добычи, перекачки и подъема ГПИ, которая:

- отражает движение потока твердого материала в технологической цепи, а также протекание статических, динамических и энергетических процессов в элементах добычного комплекса;

- предусматривает последовательное послойное решение задач управления в нисходящем порядке, при котором результаты решения задач высших уровней передаются в виде соответствующих ограничений, возможного диапазона изменения параметров, а также в виде формулировки требований к постановке и решению задач нижних уровней.

В связи с многофункциональностью и сложностью решаемых задач на данном этапе развития горно-морской техники целесообразно сформулировать требования к программному обеспечению разрабатываемой экспериментальной АСУ, что позволит сосредоточить усилия разработчиков в наиболее приоритетных направлениях.

Учитывая специфику области применения морских машиностроительных комплексов, ПО имеет смысл разделить на две категории: общее и специальное. В состав общего ПО должны входить операционные системы, стандартизированные системы управления базами данных (СУБД), средства интерпретирования, компилирования и отладки программных модулей, редакторы межкомпонентных связей, стандартные сетевые протоколы, пакеты научных и прикладных программ и др. Вопросы разработки общего ПО достаточно полно освещены в смежных областях и специальной литературе, поэтому основное внимание в данной статье уделено формулированию требований к разработке специального ПО, отражающего специфику функционирования горно-морского оборудования. Ниже сформулированы основные концептуальные требования к специальной части ПО, в рамках разработанной блочно-иерархической структуры АСУ ГДК.

Специальное ПО должно реализовывать модели и алгоритмы отдельных подсистем АСУ звеньями горного предприятия, а также осуществлять взаимодействие территориально распределенных подсистем АСУ, путем построения каналов связи на основе специализированных протоколов последовательной передачи данных, например как CAN, Modbus, Interbus и т.д. Состав специального ПО, реализующего функции первого уровня блочно-иерархической струк-

туры (рис.2), в значительной степени определяется спецификой информации метеорологических и сейсмологических служб. Ввиду уникальности технологического оборудования в составе блоков третьего уровня иерархии вопросы разработки специального ПО будут рассматриваться отдельно.

Рассмотрим более подробно требования к разработке специального ПО применительно ко второму уровню иерархии, первостепенными задачами которого являются управление надежностью и работоспособностью как технологического оборудования ГДК (блок 2.1 второго уровня иерархии, рис.2), так и функциональных элементов самой АСУ (блок 2.2 второго уровня иерархии). Для решения этой задачи ПО должно содержать информацию об аварийной и предаварийной работе проблемного агрегата с помощью специализированных СУБД. При этом средствами специального ПО предусматривается оперативное



Рис.2. Укрупненная блочно-иерархическая структура АСУ горно-морского предприятия

информирование операторов-технологов об утрате устройством его работоспособности путем вывода текстовой и графической информации на операторские терминалы. В состав информации входит местоположение устройства, характер поломки, предполагаемые последствия, рекомендации по устранению неисправности. Для замены поврежденного агрегата в состав специального ПО должны входить компоненты управления автоматизированными средствами монтажа и демонтажа технологического оборудования (блок 2.1.5). Специальное ПО должно осуществлять функционирование комплекса мероприятий по диагностике технологического оборудования (блок 2.1.2), реализацию моделей прогнозирования устойчивости управляемых процессов (блок 2.1.3) и развития аварийных ситуаций (блок 2.1.1). В результате реализации упомянутых процедур формируется рекомендации оперативному персоналу о проведении своевременных автоматизированных процедур по обслуживанию узлов и агрегатов ГДК (блок 2.1.4).

Как упоминалось раньше, специальное ПО должно реализовывать комплекс мероприятий по обеспечению надежности и работы АСУ. В этот комплекс должны входить методы контроля достоверности командно-измерительной информации (блок 2.2.3), реализации блокировок неправильных действий операторов (блок 2.2.6) и их параллельной бесконфликтной работы (блок 2.2.5). В обязательном порядке предусматриваются функции резервного копирования и архивирования данных (блок 2.2.4), а также их восстановления. Процедуры тестирования аппаратуры АСУ (блок 2.2.1) реализуются методом пересылки в каналах связи тест-пакетов, при этом их аппаратная приоритетность должна быть ниже приоритетности пакетов информационных. В случае аварии канала связи происходит автоматическое программное переключение на резервные каналы связи (блок 2.2.2).

Специальное ПО необходимо наделить возможностью модернизации реализуемых функций, большой гибкостью, позволяющей перенастраивать его на конкретные условия применения. В составе ПО предусматривается подробная структурированная документация, включающая описание компонент лингвистического обеспечения (языки программирования, информационно-поисковые, специализированные, вспомогательные языки и т.д.). При разработке ПО учитываются принципы модульности построения и унификации форматов данных. ПО должно быть организовано так, чтобы в случае необходимости позволять перенастройку системы на другой тип технологического оборудования с минимальными затратами ресурсов и времени. Требования, сформулированные в данном абзаце, в полной мере относятся и к специальному ПО третьего уровня иерархии.

## **Выводы**

1. В результате установления причинно-следственных связей, комплексно отражающих процессы добычи, перекачки в бункер-накопитель, транспортирования на базовое плавсредство, первичную переработку на судне полезных ископаемых и утилизацию отходов, разработан блочно-иерархический подход к



решению задач анализа возможных производственных ситуаций, диагностики надежности и управления живучестью технологического оборудования, регулирования параметров производственных процессов с целью минимизации энергозатрат и стабилизации рациональных режимов работы машин.

2. В рамках разработанной структуры АСУ горно-морским предприятием сформулированы концептуальные требования к программному обеспечению системы контроля и управления, позволяющие сконцентрировать внимание разработчиков на наиболее приоритетных направлениях.

### Список литературы

1. Кириченко Е.А. Исследование параметров течения гидросмеси в ступенчатом деформированном глубоководном пульпопроводе // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2000. – Вип. 10. – С. 148-156.
2. Кириченко Е.А. Исследование условий потери устойчивости транспортного трубопровода эрлифтного гидроподъема // Гірничя електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2000. – Вип. 64. – С. 109-113.
3. Кириченко Е.А. Исследование собственных частот продольных колебаний трубного става глубоководного гидроподъема // Геотехническая механика. – 2000. – Вып. 18. – С. 75-80.
4. Кириченко Е.А. Численное моделирование переходных процессов в глубоководном эрлифте // Гірничя електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 1998. – Вип. 1. – С. 116-124.
5. Кузьминский В.П., Кравченко В.Г., Кузнецов Ю.М., Кудрявцев Д.В. Проблемы создания технических средств для промышленной добычи полиметаллических конкреций и новые пути их решения // Геотехническая механика. – 1999. – Вып. 16. – С. 39-66.
6. Руденко А.И. Системы электроснабжения, электропривода и управления робототехническими комплексами // Геотехническая механика. – 1999. – Вып. 18. – С. 66-73.
7. Кириченко Е.А. Разработка стратегии проектирования и регулирования глубоководных эрлифтных гидроподъемов // Гірничя електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2000. – Вип. 65. – С. 114-121.
8. Энциклопедия эрлифтов / Ф.А. Папаяни, Л.Н. Козыряцкий, В.С. Пашенко, А.П. Кононенко. – М.: ИнформСвязьИздат, 1995. – 592 с.