

УДК [629.5.017 : 629.563.2 : 517.958] : 62-52

Проблемы обеспечения функционирования, безопасности и качества при эксплуатации судов с динамическими системами управления

Ю.И. Юдин, А.В. Барахта

Судоводительский факультет МА МГТУ, кафедра судовождения

Аннотация. В статье рассматриваются показатели качества и функционирования динамических систем управления, проблемы безопасной эксплуатации специализированных судов. Приводится анализ комплекса технических средств, использующих динамические системы управления в процессе освоения морских нефтегазовых месторождений.

Abstract. The problems of safe operation of special-purpose vessels and parameters of quality and functioning have been discussed in this paper. The analysis of technical means using dynamic control systems during the development of oil-and-gas offshore fields has been carried out.

Ключевые слова: динамические системы управления, показатели качества и функционирования, безопасность эксплуатации судов
Key words: dynamic control systems, parameters of quality and functioning, safety of vessel operation

1. Введение

Сложность технического оснащения, трудоемкость процесса управления судами и надводными объектами выявляет необходимость использования автоматизированных систем управления для обеспечения безопасной эксплуатации. В настоящее время судно представляет собой многомашинный объект, содержащий целый ряд систем управления судовыми энергетическими установками и технологическими процессами. Для исключения вероятности возникновения аварийных ситуаций, связанных с особенностями эксплуатации специализированных судов, алгоритмы управления систем должны обеспечивать высокие показатели надежности и функционирования при любых видах управляющих и возмущающих воздействий на судно и его оборудование.

2. Комплекс технических средств с динамическими системами управления

Строительство плавучих технических средств, предназначенных для освоения морских месторождений нефти и газа, началось в основном в 50-х годах прошлого столетия с создания буровых платформ. Интенсивное изучение нефтяных и газовых месторождений в море относится к концу 60-х годов, когда были открыты большие запасы нефти и газа в Северном море. В 70-х годах резкое увеличение мировых цен на нефть и газ сделало морские нефтегазовые месторождения конкурентоспособными. Для освоения морских нефтегазовых месторождений требуются большие капитальные затраты и значительно более дорогая техника, чем при разработке месторождений на суше. Затраты только на бурение на глубинах моря 20-30 м примерно в 2 раза превышают аналогичные затраты на суше, на глубине 50 м стоимость бурения возрастает в 3-4 раза, а на глубине 200 м – уже в 6 раз. Существенно выше затраты на прокладку подводных трубопроводов (в 1,5-3 раза) для транспортировки нефти на берег, а также стоимость постройки нефтехранилищ на морских месторождениях (в 4-8 раз) (Галахов и др., 1981).

Развертывание работ по добыче нефти в море потребовало постройки большого количества технических средств, принципиально отличающихся от традиционных. В связи с постоянным расширением площади освоенных районов континентального шельфа, где ведется бурение и добыча нефти и газа, совершенствуется и видоизменяется оборудование, технические средства, используемые при разработке месторождений, улучшаются их технико-эксплуатационные характеристики. Рост объемов добычи нефти и газа в море, а следовательно, и буровых работ приводит в первую очередь к увеличению числа буровых платформ и специализированных судов. Сегодня общей тенденцией можно считать создание буровых платформ и специализированных судов, приспособленных для работы в глубоководных районах и сложных гидрометеорологических условиях. Технические средства, с которых выполняется бурение в море, имеют ряд конструктивных особенностей, важнейшей из которых является способность с высокой степенью точности стабилизировать буровую платформу или судно над устьем скважины при воздействии волнения, ветра и течения. Такая стабилизация может быть достигнута при эксплуатации буровых судов в режиме динамического позиционирования (СДП).

Благодаря применению систем динамического позиционирования стали доступными значительные глубины моря, где работают как буровые суда, так и полупогружные буровые платформы. Это приводит к изменению конструктивного типа платформ, так как наиболее распространенный сегодня тип платформы с двумя продольными понтонами не обеспечивает постоянства возмущающих сил в зависимости от направления. Полупогружные буровые платформы с системой динамического позиционирования имеют симметричную конструкцию. В настоящее время ведутся исследования по гидродинамике буровой платформы с кольцевым понтоном и плоскообразной верхней площадкой.

Буровые суда используются для разведочно-поискового бурения в отдаленных от береговых баз районах и в местах, где могут встречаться плавучие льды. Они обладают хорошей мореходностью, большой грузоподъемностью и автономностью. Буровые суда имеют обычные судовые обводы и ряд конструктивных особенностей, связанных с установкой специализированного оборудования и систем, в частности:

- в центральной части судна в корпусе делается вырез и устанавливается буровая вышка для спуска инструмента и труб;
- судно оборудуется СДП с использованием развитых подруливающих устройств;
- на судне устанавливаются специальные компенсаторы качки, уменьшающие влияние вертикальных перемещений судна на колонну буровых труб.

Точность удержания судна в точке работ определяется качеством динамических систем управления.

Технологические запасы и другие грузы (цемент, глина, трубы, агрегаты, крупногабаритное оборудование) доставляют на буровые платформы суда снабжения. В соответствии со спецификой эксплуатации суда этого типа имеют архитектурно-конструктивные отличия. Суда указанного типа имеют носовую надстройку и свободную кормовую палубу для размещения палубного груза, составляющего до 70 % дедвейта судна. Суда снабжения однопалубные, низкортные с высоким баком. Высота надводного борта этих судов, даже предназначенных для Северного моря, составляет всего 1,0-1,2 м, а судов, работающих в Мексиканском заливе, – всего 0,6 м. Вследствие этого уменьшается масса корпусных конструкций, что позволяет увеличить грузоподъемность, но затрудняет работу команды в тяжелых гидрометеорологических условиях. Суда снабжения обычно высокоманевренные, оборудованные СДП, способной удерживать позицию на заданной точке. Обеспечение позиционирования является важнейшим эксплуатационным свойством судов снабжения, так как им часто приходится работать в непосредственной близости от буровой платформы в условиях развитого волнения и часто переменной ветровой нагрузки (*Проблемы исследования...*, 1979).

В последнее время наряду со специализированными судами снабжения строят универсальные суда, которые обеспечивают буксировку буровых платформ и других сложных плавучих гидротехнических сооружений, укладку и подъем их якорей, а также, при необходимости, и тушение пожаров на обозначенных плавучих объектах. Для этих целей на судах, выполняющих ряд специальных эксплуатационных функций в носовой части верхней палубы размещается специальная лебедка, а в корме – горизонтальный роул для проводки якорной цепи. Нормальное функционирование морских нефтепромыслов невозможно без флота специализированных и универсальных судов.

Добытая нефть транспортируется на берег с помощью подводных трубопроводов, прокладка которых в открытом море возможна с помощью специализированных судов-трубоукладчиков. Отличительной их особенностью является наличие в кормовой части ферменной рамы, которая носит название стрингер и обеспечивает спуск трубопровода без изгибов по плавной кривой. Необходимая точность удержания трубоукладчика относительно линии заданного курса составляет 30-100 м, а точность поступательного перемещения, определяемая необходимостью размещения очередного стыка трубопровода в пределах сварочного поста, $\pm 0,5$ м. Такое удержание и перемещение обеспечивается СДП. Высокие требования предъявляются к стабилизации трубоукладчика, поскольку сварка трубопровода ведётся из отдельных секций длиной по 24 м, при этом крен судна, осуществляющего укладку трубопровода, не должен превышать $\pm 3^\circ$, дифферент $\pm 2^\circ$. Для уменьшения влияния качки трубоукладчики имеют полупогружную конструкцию корпуса, а для обеспечения постоянной осадки, которая влияет на изгиб и напряжения в трубопроводе, применяют специальную балластную систему с автоматическим управлением. Сборка трубопровода осуществляется с остановками для контроля и изоляции стыков. Во время работы судно должно совершать циклические перемещения с высокой точностью и, кроме того, удерживаться в одной точке, что возможно эффективно осуществить только при работе в режиме динамического позиционирования.

Таким образом, для освоения месторождений нефти и газа на континентальном шельфе создан и непрерывно совершенствуется комплекс разнообразных технических средств с динамическими системами управления, которые отличаются по своей конструкции, габаритам, комплектуемому оборудованию и условиям эксплуатации от традиционных типов.

3. Математическое моделирование – основа динамических систем управления

Отметим два основных свойства судовых динамических систем управления:

- объекты управления такой системы весьма инерционны по сравнению со всеми остальными ее частями;
- основное предназначение судовых динамических систем управления – повышение уровня автоматизации деятельности человека-оператора, физико-психологические особенности которого ограничены.

При проектировании стремятся создать динамическую систему управления, обеспечивающую требуемые характеристики безопасной эксплуатации. Требования, предъявляемые к способам решения задач управления в режиме динамического позиционирования и их алгоритмам, должны соответствовать закономерностям, характерным для процесса удержания судна в заданной точке или на заданной траектории. Эти закономерности формулируются в виде количественных соотношений, которые требуют широкого использования математического аппарата для обоснования оптимальности получаемых решений, что в свою очередь приводит к необходимости математического моделирования процессов позиционирования (Юфа, 1987). Таким образом, математическая модель является основным элементом системы, описывающая ее динамические свойства. Математические модели являются тем "инструментом", с помощью которого разработчик находит из множества возможных наилучший путь достижения заданных требований, проектируемой динамической системы управления без непосредственного изготовления такой системы "в металле" (Куриленко, 1994).

Этап проектирования судовой динамической системы управления, связанный с построением и использованием математических моделей для определения оптимальных технических решений по показателям безопасного функционирования, является этапом синтеза законов управления. Прежде всего на этом этапе составляется базовая математическая модель. Ее параметры определяются выбранными составными частями и элементами судна. В результате определяется порядок дифференциальных уравнений базовой математической модели и её вид. На основании заданных исходных данных (технических требований к показателям безопасного функционирования), а также с учётом вида и порядка дифференциальных уравнений базовой математической модели, создаётся рабочая математическая модель. Используя физически реализуемые корректирующие устройства, осуществляют переход от базовой к рабочей математической модели, определяют законы управления динамической системой. Проверка результатов выбора законов управления и настройка судовых динамических систем управления осуществляется в соответствии с требованиями к их безопасному функционированию.

4. Показатели качества и функционирования судовых динамических систем управления

В настоящее время для судов все большее значение приобретает проблема комплексного совершенствования автоматизации, связанная с усложнением задач управления и ужесточением требований по безопасности, качеству и эффективности функционирования судовых динамических систем управления. Процесс совершенствования судовых динамических систем управления включает три циклически повторяющихся этапа.

Первый этап – производство судовой динамической системы управления по действующей документации. Этот этап характерен соответствующим уровнем отработки технологического процесса, составом комплектующих изделий (покупных или собственного изготовления).

Вторым этапом является процесс эксплуатации, в течение которого могут быть собраны статистические данные об основных эксплуатационных показателях судовых динамических систем управления. На основании сбора и обработки этих данных можно определить для судовой динамической системы управления фактические показатели её эффективности, а также фактическую вероятность безаварийной эксплуатации.

Третий этап – проектирование нового поколения судовых динамических систем управления. Данный этап совершенствования техники начинается разработкой, согласованием и утверждением задания на проектирование. В задании всегда в том или ином виде формулируется цель и результат проектирования. Их достижение контролируется через систему качественных показателей. Совокупность показателей качества судовых динамических систем управления, обеспечивающих эффективность и безопасную эксплуатацию, можно разделить на следующие группы:

- показатели качества функционирования, характеризующие динамические свойства, точность, быстродействие. С ростом уровня автоматизации эти показатели должны, безусловно, повышаться. При этом значительно усложняется конструктивная реализация системы;
- показатель надежности и безопасности, характеризующий вероятность безотказной работы системы. Очевидно, что с усложнением системы показатель надежности системы снижается. Возможны два пути повышения этих показателей: повышение надежности комплектующих изделий и применение

резервных (дублирующих) способов и соответствующих им резервных конструктивно самостоятельных каналов управления;

- обобщенные показатели судовых динамических систем управления характеризуются, прежде всего, массой, габаритами и стоимостью (Куриленко, 1994).

Совершенствование судовых динамических систем управления обычно связано с аппаратурным, конструктивным усложнением основного канала управления, введением в него специальных схем самонастройки, адаптивных контуров. Все это приводит к снижению общего показателя надежности основного канала. Именно для устранения такого недостатка основного канала управления судовой динамической системы управления в неё включают резервный канал. Являясь существенно более простым, он обладает более высокими характеристиками надежности и худшими показателями функционирования. При внезапном отказе элемента или схемы устройства сама система сохраняет работоспособность, но при худших показателях функционирования – происходит "частичный" отказ. При этом сам внезапный частичный отказ представляет собой переход на резервный способ управления и соответствующий ему конструктивно самостоятельный резервный канал при выходе из строя основного канала.

Заметим, что различные показатели качества судовых динамических систем управления в зависимости от режима работы объекта управления и внешних условий в различной степени "отвечают" за эффективную и за безопасную эксплуатацию самого объекта управления. Это объясняет различные по жесткости требования к показателям качества функционирования в части удержания их в заданных пределах. Так, например, величина максимального отклонения центра ротации судна в режиме динамического позиционирования в большей степени отвечает за безопасность судна при выполнении геотехнических работ, нежели точность удержания судна на курсе. Требование к обеспечению величины всплеска уравнивающего тока при автоматизации процесса включения синхронных генераторов на параллельную работу или к обеспечению значений скорости перемещения сектора газа газотурбинного двигателя в заданных границах значительно жестче, чем ко времени переходного процесса в этих системах.

Следовательно, система обязана "гарантировать", что любой из рассматриваемых показателей качества управления будет удерживаться в пределах, заданных условиями эффективной и безопасной эксплуатации судна.

5. Заключение

В практике проектирования судовых динамических систем управления осуществляется построение рабочих математических моделей, выбор и физическая реализация законов управления, обеспечивающих заданные требования по безопасной эксплуатации буровых, специализированных и универсальных судов, участвующих в едином технологическом цикле освоения природных ресурсов континентального шельфа. Для повышения показателей качества функционирования судовых динамических систем управления, используемых на судах, необходимо, чтобы уровень автоматизации разрабатываемой системы управления был повышен, но для улучшения показателей надежности следует стремиться к противоположному, поскольку объем аппаратуры в первом случае растёт, а это, в свою очередь, ухудшает надежность системы. В свою очередь, для повышения показателя надежности существует только два пути: использование более надежной схемно-конструктивной базы и введение резервирования (дублирования) элементов системы.

Для общей оценки судовой динамической системы управления необходимо иметь набор таких вероятностных оценок, отвечающих на вопрос, с какой вероятностью, рассчитанной как по условию случайного изменения параметров, так и по условию внезапных отказов элементов конструктивной реализации системы, тот или иной показатель качества функционирования будет удерживаться системой в безопасной зоне, определяемой условием эффективной и безопасной эксплуатации рассматриваемых типов судов.

Литература

- Галахов И.Н., Литонов О.Е., Алисейчик А.А. Плавучие буровые платформы. Конструкция и прочность. *Л., Судостроение*, 224 с., 1981.
- Куриленко А.М., Ледовский А.Д. Качество судовых динамических систем управления. *СПб., Судостроение*, 176 с., 1994.
- Проблемы исследования и освоения Мирового океана. Под ред. А.И. Вознесенского. *Л., Наука*, 406 с., 1979. (Техника освоения океана).
- Юфа А.Л. Автоматизация процессов управления маневрирующими надводными объектами. *Л., Судостроение*, 288 с., 1987.