

При использовании команды Поиск решения были получены оптимальные значения весовых коэффициентов, при которых значения суммы квадратов разницы равны $4,74 \cdot 10^{-4}$ и 0,001. Графики значений обучающей выборки и значений обученной сети имеют незначительную разницу, графики функции ошибки практически совместились с абсциссой. Полученный результат приведен на рисунке 7.

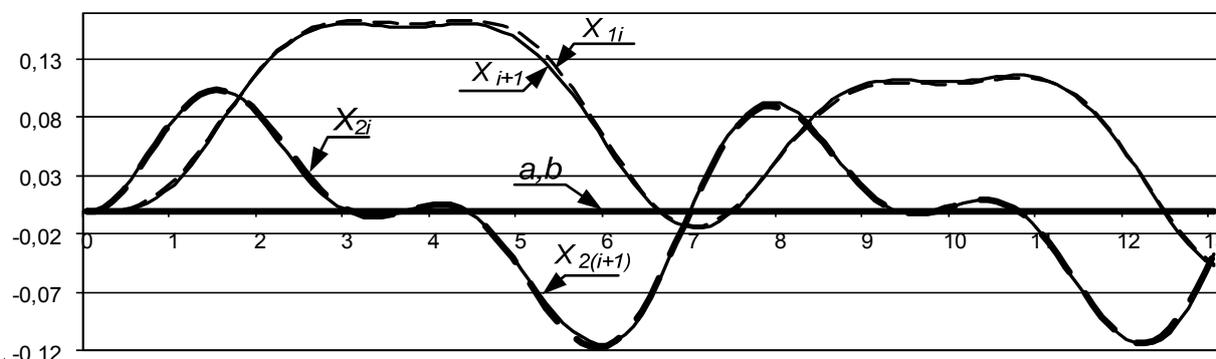


Рисунок 7 – Настроенная сеть

Тестирование с данными, не вошедшими в обучающую выборку, показало хороший результат. Моделирование с изменением коэффициентов модели Номото приводит к увеличению количества нейронов в слоях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Вагущенко, Л.Л. Системы автоматического управления движением судна / Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал. -2-е изд., перераб. и доп. -Одесса: Латстар, 2002. -310 с.
- 2 Юдин, Ю.И. Метод расчёта параметров математической модели судна / Ю.И. Юдин, А.Н. Гололобов, А.Г. Степахно //Вестн. МГТУ. -2009. -Т.12, №1. -С. 5-9.
- 3 Семенов, А.Д. Идентификация объектов управления: учеб. пособие / А.Д. Семенов, Д.В. Артамонов, А.В. Брюхачев. -Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2003. -211 с.
- 4 Narendra, K. Identification and Control of Dynamical Systems Using Neural Networks / K. Narendra, K. Parthasarathy // IEEE Trans. on Neural Networks. -1990. -Vol.1, N1 (march).
- 5 Омату, С. Нейроуправление и его приложения / С. Омату, М. Халид, Р. Юсуф. -М.: ИПРЖР, 2000. -272 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: адаптивное управление, устойчивость, переменные параметры, степенные ряды
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Дыда Александр Александрович, докт, техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
 Константинова Елена Анатольевна, доцент ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

СПОСОБ ПРОЕКТНОГО УЧЕТА ВЛИЯНИЯ ДОМИНИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СУДНА ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

АОЗТ «Нептун-Судомонтаж»

М.Э. Францев

WAY TO PROJECT ACCOUNTING IMPACT OF THE DOMINANT FACTORS IN THE DESIGN OF OPERATING A VESSEL MADE OF COMPOSITE MATERIALS
 «Neptun-Sudomontazh»
 M.E. Frantsev

This article about the method is taken into account the dominant factors for exploitation in project of boat at creating a vessel from composites. The boat hulls of prototype are studying by methods for non-destructive testing. Then the results of this studies correlate with the exploitation's characteristics and the resource use of these boats.

Keywords: the projecting of the vessel, composite materials, dominating factors operating

Предложен способ проектного учета доминирующих факторов эксплуатации при создании судна из композиционных материалов путем исследования корпусов судов-прототипов методами неразрушающего контроля и определения взаимосвязи между результатами этих исследований, эксплуатационными характеристиками судов и ресурсом их использования.

Современный этап развития судостроения характеризуется все более широким применением композиционных материалов для корпусных конструкций. Как известно, с физической точки зрения композит представляет собой сложный материал, который обладает свойствами, отсутствующими у его компонентов в чистом виде. Масштабное использование композитов в качестве конструкционного материала в малотоннажном судостроении привело к тому, что по мере накопления опыта проектирования, строительства и эксплуатации судов из композитов, конструкция их корпусов стала все больше и больше отличаться от конструкции корпусов судов, изготовленных из традиционных материалов. Сегодня можно говорить о создании принципиально другой конструкции корпуса судна из композитов, наилучшим образом использующей некоторые положительные качества этих материалов.

Корпус современных судов из композитов – это система поверхностей, образующих объемно-прочную конструкцию. И корпус без палубы, и палуба без корпуса не обладают достаточной прочностью и жесткостью. Только после соединения их в единое целое, установки в жесткий контур продольных и поперечных переборок, они приобретают необходимый набор качеств. При этом каждая из поверхностей корпуса и палубы имеет свой набор механических свойств. Эти свойства могут изменяться, как по толщине поверхности, так и по ее площади [7, 9].

В процессе эксплуатации на корпус судна из композиционных материалов действуют различные эксплуатационные нагрузки. Природа, характер и продолжительность воздействия этих нагрузок на корпус судна из композитов целиком и полностью идентичны аналогичным характеристикам эксплуатационных нагрузок, действующим на корпуса судов, изготовленных из традиционных материалов. В то же время, характер реагирования композиционных материалов судовых корпусных конструкций на действие эксплуатационных нагрузок изучен мало. В связи с этим при проектировании судовых конструкций из композитов проблемы их долговечности решаются не вполне корректно.

Одним из ключевых вопросов проектирования судов из композиционных материалов является обеспечение прочности и долговечности созданных конструкций в заданных условиях эксплуатации.

В работе [1] указано, что желательно, чтобы результаты работ по строительной механике корабля и конструкции корпуса шире использовались при создании методов определения массы корпуса.

В соответствии с принципами строительной механики корабля, обеспечение прочности представляет собой сложную систему взаимодействующих между собой подсистем: нагрузки, размеров, формы конструкции и конструкционных материалов.

В рамках взаимодействия этих подсистем существует целый ряд классификаций:

- внешних сил (например, случайные, постоянные, непрерывно меняющиеся, статические переменные, динамические);
- напряжений (например, общие и местные);
- условий, приводящих к разрушению.

На этой основе, как правило, назначаются критические пределы, а также нормы допускаемых напряжений, в соответствии с системой нормирования прочности построенной на учете статистического и отчасти временного факторов (для переменных нагрузок) [2].

В развитие идей И.Г. Бубнова, современные трактовки вопросов нормирования прочности судов дополнились следующими новыми аспектами, такими как:

- разделение начального подхода на метод напряжений и метод предельных нагрузок;
- рассмотрение комплекса классических теорий прочности и анализ их применимости к различным случаям нагружения корпусных конструкций.

Доминирующие факторы эксплуатации разделяются на две группы:

- доминирующие факторы эксплуатации, действующие на судно независимо от материала его корпуса;
- доминирующие факторы эксплуатации, действующие на композиционный материал корпуса судна.

К первой группе доминирующих факторов, которые влияют на подсистему, объединяю-

щую архитектурно-компоновочную схему судна, его вместимость и нагрузку масс, а также подсистему в виде гидродинамического комплекса судна, можно отнести следующие факторы:

- ветровое воздействие;
- волнение;
- ледообразование и обледенение;
- мелководье.

Влияние данной группы доминирующих факторов эксплуатации на подсистемы судна независимо от материала его корпуса изучено к настоящему времени всесторонне.

Ко второй группе доминирующих факторов, которые влияют непосредственно на подсистему «Корпус» судна из композиционных материалов можно отнести следующие факторы:

- нагрузки;
- увлажнение;
- нагрев;
- воздействие солнечного света (старение).

Одним из важных факторов, влияющих на снижение прочности судовой корпусной конструкции, является развитие в ней эксплуатационных дефектов. В качестве одного из достоверных критериев уменьшения характеристик ее прочности может служить динамика их развития [7, 8, 9].

В корпусах судов из композитных материалов в процессе эксплуатации возникают дефекты различного характера. Дефекты развиваются в конструкции с момента ее изготовления в течение всего срока службы. Развитие дефектов в корпусной конструкции ведет к снижению ее прочностных качеств и способности противостоять неблагоприятным эксплуатационным воздействиям.

Влияние каждого вида дефекта на физико-механические свойства судовой конструкции из композитов различно. Наружные дефекты в начальный период эксплуатации судна заметного влияния на механические свойства материала не оказывают. Однако со временем эти поверхностные дефекты могут привести к значительному ослаблению материала, если конструкция работает в условиях агрессивных сред. Под действием воды незащищенные полимерной матрицей армирующие материалы быстро разрушаются, что приводит к снижению физико-механических свойств композита и, следовательно, к сокращению срока эксплуатации судна.

В отличие от внешних дефектов, влияние внутренних дефектов, как правило, отражается на физико-механических характеристиках композита с самого начала, причем со временем это влияние усугубляется. Большинство внутренних дефектов оказывает отрицательное влияние на физико-механические свойства композита. Степень влияния определяется видом дефекта, его размером, местоположением и условиями работы материала. Величина снижения механических свойств дефектного композита зависит, как от типа связующего и армирующих материалов, образующих композит, так и от технологии формования корпуса.

Присутствие одних видов дефектов бывает тесно связано с наличием других. Поэтому не всегда удается выделить влияние отдельного вида дефекта на физико-механические характеристики всей конструкции. Однако из опыта эксплуатации конструкций из композиционных материалов известно, что наибольшее влияние на работоспособность конструкции оказывают две крупные группы дефектов: дефекты типа расслоение и дефекты, связанные с воздействием на композит воды, больше известные под обобщающим названием – осмос. Обе группы дефектов по мере своего развития в судовой конструкции из композитов способствуют существенному снижению ее прочности. Перечисленные виды дефектов в процессе эксплуатации судна могут быть выявлены при помощи дефектоскопии с использованием методов неразрушающего контроля [7-9].

Наблюдение процессов развития внутренних дефектов в виде расслоений с помощью различных методов неразрушающего контроля дает возможность оценки изменения механических свойств композиционных материалов в процессе эксплуатации. Поэтому разработка норм проектной годности конструкции с точки зрения существования в ней дефектов тесно переплетается с проблемой прогнозирования динамики их развития и параллельного изменения прочности конструкции в сторону ее снижения.

Существует несколько точек зрения на проблему прогнозирования изменения прочности композиционных материалов. Широко распространенный традиционный путь прогнози-

рования и нормирования прочности корпусных конструкций, базирующийся на эмпирических подходах и непосредственном увязывании расчетных коэффициентов запаса прочности с результатами целенаправленно поставленных экспериментов постепенно утрачивает свою эффективность. Для решения указанной задачи необходимо в прогнозную расчетную схему внести предположения о накоплении повреждений в материале конструкций в процессе эксплуатации. При этом необходимо учитывать все факторы эксплуатации, оказывающие значимое влияние на работоспособность конструкций из композита. Понятно, что введение в расчет элементов, учитывающих действие подобных эксплуатационных факторов, значительно усложняет и удорожает расчеты прочности и жесткости, нивелируя достигнутую в других разделах проекта экономию.

Выявление и изучение влияния эксплуатационных факторов на развитие дефектов, а также самой динамики их развития, дает ключ к оценке надежности и долговечности корпусных конструкций из композиционных материалов. Исследование динамики развития дефектов позволяет достоверно оценивать изменение технического состояния корпуса судна из композитов в процессе эксплуатации, прогнозировать изменение его эксплуатационной прочности в течение всего срока службы и, в конечном итоге, делать выводы о долговечности конструкции в целом [9].

Особенности разрушений композитов, возникающих на структурном уровне (дробление волокон, расслоение по границам компонентов, растрескивание матрицы), связанные с многообразием эксплуатационных ситуаций, требуют создания специализированных структурных моделей этих материалов. В то же время, имеющиеся математические модели микро-неоднородных сред пока не в состоянии достаточно полно учесть многообразие реальных механизмов разрушения на микроуровне. При их применении значительная часть экспериментальной информации об отдельных особенностях разрушений в композитах на микроуровне, сопровождающихся накоплением повреждений, остается без эффективного использования [3-5].

Необходимо отметить, что специфика изменения характера и механизма динамического разрушения полимерных материалов в жидкостях, связанного с изменением температуры и влажности материала, что характерно, например, для наружной обшивки корпуса судна с динамическим поддержанием, создает принципиальные затруднения в разработке методов ускоренных динамических испытаний, воспроизводящих реальные условия.

Исследование разрушений, связанных с действием на судовые конструкции из композитов интенсивных импульсных нагрузок, должно развиваться в нескольких направлениях. Наряду с совершенствованием техники эксперимента, расширением исследований по разработке моделей поведения конструкционных материалов в условиях интенсивных ударных нагрузок, повышением роли численного эксперимента необходима регистрация степени поврежденности материала в зоне разрушения в разных опытах.

В зависимости от интенсивности напряжений такая регистрация дает информацию о кинетике и характере развития процесса разрушения, что, в конечном итоге, позволяет определить уровни нагружения, соответствующие зарождению повреждений на микроскопическом уровне. Такие исследования, позволяют фактически обнаружить и оценить процессы разрушения в композиционных материалах, проходящие задолго до их окончательного разрушения [5].

Наблюдение с помощью различных методов неразрушающего контроля процессов усталостного развития внутренних дефектов в виде микротрещин и расслоений дает возможность оценки изменения механических свойств композиционных материалов в процессе эксплуатации. Это позволяет выдвинуть ряд новых теорий и критериев прочности, основанных на концепции накопления повреждений [5].

Исследования, направленные на регистрацию степени поврежденности композиционного материала в зоне разрушения, в сочетании с численными экспериментами и моделированием при помощи вычислительной техники динамических эффектов, сопутствующих разрушению хрупких компонентов, позволяют глубже понять качественное многообразие ситуаций, возникающих при накоплении повреждений в композите на микроструктурном уровне. Выявление динамических эффектов и исследование их влияния на развитие разрушения композиционных материалов приобретает особое значение при разработке структурных моделей композитов и имитации на ЭВМ взаимодействия отдельных разрушения на микроскопическом уровне [3, 4].

В настоящее время выполняются работы по определению дефектов корпусов судов из

композиционных материалов возрастом старше пяти лет, находящихся в эксплуатации под техническим наблюдением Московского филиала Российского Речного Регистра. Эта работа сопровождается аналитической и методической обработкой полученных результатов. В 2007-2010 годах методами неразрушающего контроля было обследовано более 118 корпусов судов из композиционных материалов в соответствии с определенной методикой. Обследованные корпуса судов из композитов имеют ресурс использования, в среднем, не более 200 ч движения в навигацию или, в среднем, не более 1000 ч за пять лет [6].

Анализ результатов исследований, направленных на регистрацию степени поврежденности композиционного материала в зоне разрушения, в сочетании с количественным подтверждением качественной зависимости концентрации внутренних дефектов типа расслоение от эксплуатационных характеристик судна из композиционных материалов дает возможность получить информацию о кинетике и характере развития процесса разрушения. Это, в конечном итоге, позволяет определить уровни нагрузок, соответствующие развитию повреждений на микроскопическом уровне. Такие исследования, позволяют фактически обнаружить и оценить процессы разрушения в композиционных материалах, проходящие задолго до их окончательного разрушения [3-5].

Для оценки зависимости между возникновением внутренних дефектов типа расслоение, доминирующими факторами эксплуатации и эксплуатационными качествами судов из композитов необходим критерий, позволяющий связать между собой эти характеристики, условия и процессы. В качестве такого критерия можно рассматривать величину концентрации дефектов на поверхности судового корпуса.

При эксплуатации судовые конструкции из композитов подвергаются действию самых различных нагрузок, меняющихся во времени. Поэтому применительно к конструкционным жестким композиционным материалам, не обладающим восстановительными свойствами, пригодную для практического применения основу дает кинетическая теория прочности в сочетании с гипотезой линейного суммирования повреждений в соответствии с критерием Бейли.

На основании выполненных исследований произведен расчет концентрации внутренних дефектов типа расслоение в соответствии с критерием Бейли для группы судов на основании базы данных судов из композитов, прошедших операцию дефектоскопии в 2007-2010 гг. В этом расчете предпринята попытка получить при помощи количественных оценок подтверждение качественной зависимости концентрации внутренних дефектов типа расслоение от эксплуатационных характеристик судна из композиционных материалов в виде энерговооруженности, ресурса времени и интегрированного ресурса использования. Полученные значения величины коэффициента концентрации аппроксимированы по линейному закону (рисунок).

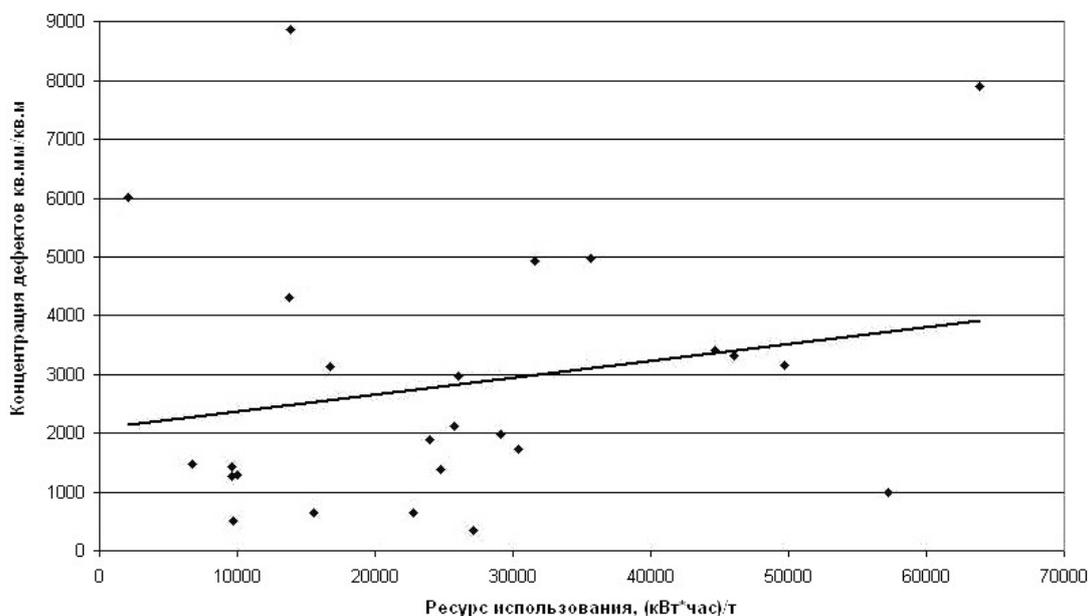


Рисунок – Зависимость концентрации дефектов от интегральной величины в виде произведения энерговооруженности и ресурса использования корпуса

Выполненный расчет подтверждает принципиальную возможность применения гипотезы линейного суммирования повреждений в варианте Бейли для анализа и прогнозирования изменения характеристик долговечности корпусов судов из композитов под действием эксплуатационных нагрузок. Расчет также подтверждает существование взаимосвязи между эксплуатационными характеристиками судна из композитов в виде энерговооруженности и различных форм ресурса использования и концентрацией дефектов.

Таким образом, прогнозирование изменения характеристик долговечности корпуса судна из композитов может рассматриваться, как расчет значений функции на определенном интервале

$$K = f(t),$$

где K – коэффициент концентрации расслоений;

t – ресурс использования корпуса.

В то же время, для получения формализованных зависимостей, позволяющих анализировать и прогнозировать изменение характеристик долговечности корпусов судов из композитов, требуется обработка данных методами статистического анализа по достаточно большому количеству однотипных судов.

Использование данных о динамике развития эксплуатационных дефектов в корпусных конструкциях близкого прототипа, полученных методами неразрушающего контроля, при новом проектировании может позволить достоверно учесть всю гамму ожидаемых эксплуатационных факторов. Это может позволить выдвинуть ряд новых теорий и критериев прочности судовых корпусных конструкций из композиционных материалов, основанных на концепции накопления повреждений в процессе эксплуатации. Кроме того, оно позволит прогнозировать изменение его эксплуатационной прочности в течение всего срока службы и, в конечном итоге, делать выводы о долговечности конструкции из композиционного материала в целом без существенного удорожания проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ашик, В.В. Проектирование судов / В.В. Ашик. -Л.: Судостроение, 1985. -486 с.
- 2 Бубнов, И.Г. Строительная механика корабля. Ч.1 / И.Г. Бубнов. -СПб.: Изд-во Мор. М-ва, 1912. -330 с.
- 3 Бураковский, Е.П. Об одной задаче нормирования общей прочности корпусов судов, содержащих эксплуатационные дефекты / Е.П. Бураковский, В.А. Дмитриевский // Сборник научных трудов Калининградского государственного технического университета, посвященный 300-летию Российского флота. -Калининград, 1996. -С. 251-262.
- 4 Бураковский, Е.П. Применение теории потоков при оценке и прогнозировании технического состояния корпусных конструкций, содержащих эксплуатационные дефекты / Е.П. Бураковский, В.А. Дмитриевский // Сборник научных трудов Калининградского государственного технического университета, посвященный 300-летию Российского флота. - Калининград, 1996. -С. 263-278.
- 5 Композиционные материалы: справочник / В.В. Васильев [и др.]. -М.: Машиностроение, 1990. -512 с.
- 6 Результаты освидетельствований корпусов судов из композиционных материалов, находящихся под техническим наблюдением Московского филиала РРР, методами неразрушающего контроля в 2007 году: науч. -техн. отчет / Моск. фил. Рос. Реч. Регистра. -М, 2007. - 48 с.
- 7 Францев, М.Э. Изучение проектных и эксплуатационных способов обеспечения безопасности судов из композиционных материалов / М.Э. Францев // Сборник докладов Международного семинара «Суда будущего» Секции «Проектирование судов» Центрального Правления НТО судостроителей им. Акад. А.Н. Крылова. -СПб, 2007. -С. 20-24.
- 8 Францев, М.Э. Обоснование проектных критериев эксплуатационной прочности и долговечности композитных катеров // Сборник докладов Международного семинара «Суда будущего» Секции «Проектирование судов» Центрального Правления НТО судостроителей им. Акад. А.Н. Крылова. -СПб., 2007. -С. 86-91.
- 9 Францев, М.Э. Проектная оценка эксплуатационных нагрузок и характеристик долговечности корпусов судов из композиционных материалов / М.Э. Францев // Мор. вестн. -2008. -№4(28). -С. 93-98.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: проектирование судов, композиционные материалы, доминирующие факторы эксплуатации
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Францев Михаил Эрнстович, канд. техн. наук, директор АОЗТ «Нептун-Судомонтаж»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 141703, Московская область, г. Долгопрудный, пос. Водники, АОЗТ «Нептун-Судомонтаж»

ПРИМЕНЕНИЕ СТЕПЕННЫХ РЯДОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КУРСОМ СУДНА

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

А.А. Дыда, Е.П. Чинчукова, М.В. Шевченко

THE USE OF POWER SERIES TO CONSTRUCT AN ADAPTIVE CONTROL SYSTEM THE SHIP'S COURSE

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»

A.A. Dyda, E.P. Chinchukova, M.V. Shevchenko

Ship is an example of a dynamic object with structural and parametric uncertainty. This paper is devoted to research of the possibility adaptive control system design with power series.

Keywords: adaptive control, stability, variation parameters, power series

Судно является объектом со структурно-параметрической неопределенностью. В работе исследуется перспективность подхода к построению адаптивной системы управления подобными объектами на основе представления математической модели с применением степенных рядов.

Большинство известных методов построения систем управления движением морских подвижных объектов (МПО) основываются на приближенных линейных моделях с постоянными параметрами [2]. Это допущение вполне оправдано для случая сравнительно малых отклонений переменных. При глубоком маневрировании МПО точность линеаризованных математических моделей значительно снижается и для их усовершенствования требуется учет нелинейностей.

Одним из наиболее существенных факторов, оказывающих влияние на динамику МПО и, в частности, судна является воздействие окружающей водной среды, которое проявляется в присоединении водных масс и вязком сопротивлении в процессе движения объекта. Значение присоединенных масс и моментов инерции, а так же аналитический вид функций, описывающих силы и моменты вязкого сопротивления, априорно неизвестны. Традиционным путем определения этих характеристик является экспериментальные исследования и последующая обработка полученных результатов. Такой подход связан со значительными затратами. Кроме того, при изменении конфигураций, загрузки судна, могут потребоваться повторные экспериментальные исследования.

Более эффективный подход, на наш взгляд, состоит в применении принципа адаптивного управления, совмещающего процесс исследования объекта (идентификации) и управления им [1]. Построение большинства алгоритмов адаптивного управления основано на предположении о том, что вид нелинейной функции, входящей в математическую модель объекта, известен.

Анализ научно-технической литературы показывает, что не существует единой математической модели, описывающей силы и моменты вязкого сопротивления, которые испытывает судно при движении в водной среде.

В связи с этим, в настоящей работе считается, что описание указанных сил (моментов) отсутствует. Таким образом, в работе предполагается, что судно является объектом со структурно-параметрической неопределенностью.

Рассмотрим следующую модель судна

$$J\ddot{\phi} = -f(\dot{\phi}) + K\delta, \quad (1)$$

где ϕ – угол (курс судна);

$\dot{\phi}, \ddot{\phi}$ – угловая скорость и ускорение соответственно;

J – общий момент инерции судна, включающий собственный момент инерции J_c и момент инерции присоединенных масс J_n ,

$$J = J_c + J_n;$$