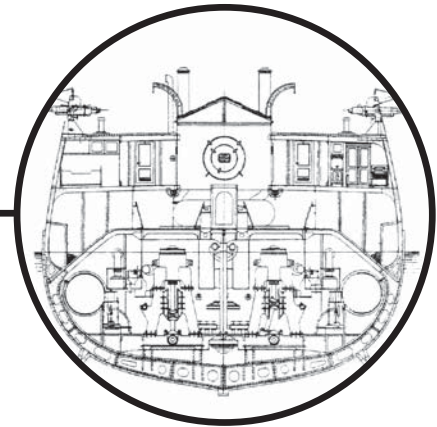




DOI 10.15589/jnn20170401

УДК 004.942:629.5.01

T78

COMPUTER MODEL OF THE DYNAMICS OF A MARINE TETHERED SYSTEM WITH FLEXIBLE CONNECTION

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ МОРСКОЙ ПРИВЯЗНОЙ СИСТЕМЫ С ГИБКОЙ СВЯЗЬЮ

Kostiantyn S. Trunin

trunin.konstantin.stanislav@gmail.com

ORCID: 0000-0001-6345-6257

К. С. Трунин,

канд. техн. наук, доц.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев

Abstract. There has been developed a computer model of the MTS with FC that allows modeling the FC based on the specified MTS parameters and improving the process of designing of the MTS with FC. The computer program for the modeling of the MTS FC dynamics is developed in the Delphi system on the basis of the algorithm for solving the system of equations of the mathematical model of the FC dynamics. The program is launched by the activation of the file FILUM_CIRKUL.EXE. The program interface has windows for setting the values of 54 MTS parameters and 4 parameters of the algorithm. To their right, the parameter names and measurement units are given. The modeling results are presented in a graphic form on four diagrams at specified moments of time. The latter are displayed next to the diagrams and determined by the time interval of the diagrams change. They are set by the parameter “visualization step, s”. Three diagrams show spatial arrangement of the CV, FC and UV projected on the XOZ, YOZ and XOY planes of a rectangular Cartesian coordinate system. The fourth diagram shows distribution of the tensile force of the FC along its length. Numerical results are displayed in a textbox after the program’s execution. Modeling of the MTS FC dynamics starts after clicking the FILUM button of the program’s interface.

Keywords: computer model of a marine tethered system; flexible connection; flexible connection modeling; improvement of flexible connection modeling.

Аннотация. Создано математическую модель морской привязной системы (МПС) с гибкой связью (ГС), которая позволяет моделировать ГС в составе МПС на основании заданных параметров МПС и совершенствовать проектирование МПС с ГС.

Ключевые слова: компьютерная модель морской привязной системы; гибкая связь; моделирование гибкой связи; совершенствование проектирования гибкой связи.

Анотація. Створено математичну модель морської прив’язної системи (МПС) із гнучким зв’язком (ГЗ), що дозволяє моделювати ГЗ у складі МПС на основі заданих параметрів МПС й удосконалювати проектування МПС із ГЗ.

Ключові слова: комп’ютерна модель морської прив’язної системи; гнучкий зв’язок; моделювання гнучкого зв’язку; удосконалювання проектування гнучкого зв’язку.

REFERENCES

- [1] Abramova N. T. *Kiberneticheskaya model i postroeniye teorii* [Cybernetic model and construction of theory]. *Ekperiment. Model. Teoriya*. [Experiment. Model. Theory]. Moscow, Nauka Publ., 1982, pp. 168–182.
- [2] Apter M. *Kibernetika i razvitie* [Cybernetics and development]. Moscow, 1970. 234 p.
- [3] Afanasev V. G. *Sotsialnaya informatsiya i upravlenie obshchestvom* [Social information and society management]. *Ekperiment. Model. Teoriya*. [Experiment. Model. Theory]. Moscow, Nauka Publ., 1982, pp. 34–36.
- [4] Bazhenov L. B., Biryukov B. A., Shtoff V. N. *Modelirovanie* [Modeling]. *Filosofskaya entsiklopediya* [Philosophical encyclopedia]. Moscow, Nauka Publ., 1965, vol. 3, pp. 48–53.
- [5] Glushkov V. M. *Gnoseologicheskaya priroda informatsionnogo modelirovaniya* [Gnoseological nature of information modeling]. *Voprosy filosofii* [Issues of Philosophy], 1963, no. 10, pp. 16–21.
- [6] Gutchin I. B. *Kiberneticheskie modeli tvorchestva: Kontseptsiya informatsii i biologicheskie sistemy* [Cybernetic models of a creative process: the concept of information and biological systems]. Moscow, Nauka Publ., 1966. 326 p.
- [7] Gutchin I. B. *Kiberneticheskie modeli tvorchestva* [Cybernetic models of a creative process]. *Ekperiment. Model. Teoriya*. [Experiment. Model. Theory]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 333 p.
- [8] Kavalero G. I., Mandelshtam S. M. *Vvedenie v informatsionnyu teoriyu izmereniy* [Introduction to the information theory of measurement]. Moscow, 1974. 238 p.
- [9] Klaus G. *Kibernetika i obshchestvo* [Cybernetics and society]. Moscow, Nauka Publ., 1967. 181 p.
- [10] Kosenkov V. M. *Kratkiy kurs lektsiy po chislennym metodam* [Brief course of lectures on numerical methods]. Nikolaev, NUK Publ., 2012. 73 p.
- [11] Lebedev Ya. Ya. *Ocherki teorii sotsialnogo upravleniya* [Outlines of the theory of social management]. *Ekperiment. Model. Teoriya*. [Experiment. Model. Theory]. Moscow, Nauka Publ., 1982, pp. 86–93.
- [12] Milsum Dzh. *Analiz biologicheskikh sistem upravleniya* [Analysis of biological control systems]. Moscow, Nauka Publ., 1969. 163 p.
- [13] Mol A., Fuks L., Kassler M. *Iskusstvo i EVM* [The art and the computer]. *Ekperiment. Model. Teoriya*. [Experiment. Model. Theory]. Moscow, Nauka Publ., 1982, pp. 235–238.
- [14] Novitskiy P. V. *Osnovy informatsionnoy teorii izmeritelnykh ustroystv* [Fundamentals of the information theory of measurement tools]. Leningrad, Nauka Publ., 1968. 256 p.
- [15] Novik I. B. *O modelirovanii slozhnykh sistem* [On the modeling of complex systems]. *Filosofskaya entsiklopediya* [Philosophical encyclopedia]. Moscow, Nauka Publ., 1965, vol. 3, pp. 147–154.
- [16] Pribram K. *Yazyk mozga* [The language of brain]. *Ekperiment. Model. Teoriya*. [Experiment. Model. Theory]. Moscow, Nauka Publ., 1982, pp. 136–142.
- [17] Tyukhtin V. S. *O gnoseologicheskoy statuse matematicheskoy teorii eksperimenta* [On the gnoseological status of the mathematical theory of experiment]. *Ekperiment. Model. Teoriya*. [Experiment. Model. Theory]. Moscow, Nauka Publ., 1982, pp. 62–75.
- [18] Uemov A. I. *Logicheskie osnovy modelirovaniya* [Logical foundations of modeling]. Moscow, 1972. 211 p.
- [19] Shmalgauzen I. I. *Kiberneticheskie voprosy biologii* [Cybernetic problems of biology]. Novosibirsk, 1968. 186 p.
- [20] Shtoff V. A. *Modelirovanie i filosofiya* [Modeling and philosophy]. *Filosofskaya entsiklopediya* [Philosophical encyclopedia]. Moscow, Nauka Publ., 1965, vol. 3, pp. 214–218.
- [21] *Elektronnoe modelirovanie i mashinnoe upravlenie v ekonomike* [Electronic modeling and machine control in economy]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 278 p.
- [22] Eshbi R. *Sistemy i informatsiya* [Systems and information]. *Voprosy filosofii* [Issues of Philosophy], 1963, no. 3, pp. 82–84.
- [23] Trunin K. S. *Klasyfikatsiya morskikh pryvaznykh sistem* [Classification of marine tethered systems]. *Sb. nauk. prats Sevastopolskogo viiskovo-morskogo ordena Chervonoï Zirky in-tu im. P. S. Nakhimova — Collection of scientific papers of the Nakhimov Sevastopol Naval Institute of the Order of the Red Star*, 2009, issue 1(16), pp. 77–89.
- [24] Trunin K. S. *Klassifikatsiya kabel-trosov dlya podvodnykh issledovaniy* [Classification of tethers for underwater studies]. *Materialy 9-oi mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Naukovi doslidzhennia – teoriia ta*

- eksperiment»* [Proceedings of the 9th International Scientific and Practical Conference “Scientific Research – Theory and Experiment”]. Poltava, InterHrafika Publ., 2013., vol. 5, pp. 69–73.
- [25] Trunin K. S. *Udoskonalennia metodiv proektuvannia hnuchkykh zviazkiv morskyykh pryv'iaznykh system* [Improvement of the methods for designing the flexible connection of a marine tethered system]. *Materialy Pershoi Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Innovatsii v sudnobuduvanni ta okeanotekhnitsi»* [Proceedings of the 1st International Scientific and Technical Conference “Innovations in Shipbuilding and Ocean Engineering”]. Mykolaiv, NUK Publ., 2010, pp. 137–138.
- [26] Trunin K. S. *Problemy sovershenstvovaniya metodov proektirovaniya gibkikh svyazey morskikh pryv'iaznykh sistem* [Problems of perfection of the methods for designing the flexible connection of a marine tethered system]. *Materialy vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Suchasni problemy v okeanotekhnitsi»* [Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Technical Conference “Modern Problems in Ocean Engineering”]. Sevastopol, SevNTU Publ., 2013, pp. 10–13.
- [27] Trunin K. S. *Osobennosti proektirovaniya gibkikh svyazey morskikh pryv'iaznykh sistem* [Special features of designing flexible connection of a marine tethered system]. *Materialy IV Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Innovatsii v sudnobuduvanni ta okeanotekhnitsi»* [Proceedings of the 4th International Scientific and Technical Conference “Innovations in Shipbuilding and Ocean Engineering”]. Mykolaiv, NUK Publ., 2013, pp. 100–103.
- [28] Trunin K. S. *Sovershenstvovanie proektirovaniya gibkikh svyazey dlya morskikh pryv'iaznykh sistem* [Improvement of designing flexible connection of a marine tethered system]. *Visnyk NUK*, 2013, no. 1. Available at: <http://evn.nuos.edu.ua/article/view/19485/18273>
- [29] Trunin K. S. *Kompyuternaya model dinamiki morskoy pryv'iaznoy sistemy s gibkoy svyazyu* [Computer model of the dynamics of a marine tethered system with flexible connection]. *Innovatsii v sudnobuduvanni ta okeanotekhnitsi: materialy VII Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii* [Proceedings of the 7th International Scientific and Technical Conference “Innovations in Shipbuilding and Ocean Engineering”]. Mykolaiv, 2016, pp. 296–298.
- [30] Trunin K. S. *Modelirovaniye prostranstvennogo dvizheniya morskoy pryv'iaznoy sistemy* [Modeling of spatial movement of a marine tethered system]. *Pidvodna tekhnika i tekhnolohiia, PTT-2016: Materialy VI Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu: v 2 ch.* [Proceedings of the 6th All-Ukrainian Scientific and Technical Conference with International Participation “Underwater Engineering and Technology 2016”, in two parts]. Mykolaiv, 2016, part 1, pp. 47–55.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Среди разнообразной океанской техники особое место занимают морские привязные системы (МПС), представляющие собой широкий класс морских технических систем (МТС) [23]. В состав МПС могут входить несколько отдельных модулей (звеньев) и соединяющих их гибких связей (ГС), которые обеспечивают в рабочем состоянии привязной системе необходимую пространственную конфигурацию [24].

Следует учитывать также и то, что использование ГС осуществляется одновременно в двух средах: воздухе и морской воде. В связи с этим возникает необходимость теоретического обоснования методов расчёта и проектирования МПС с ГС: совершенствования проектных расчётов конструктивных элементов привязных систем с ГС на основе математических моделей в квазистационарных и динамических режимах эксплуатации; разработки рекомендаций по прогнозированию возможных нагрузок, необходимых для проектирования их элементов и комплексов в целом, доведение их до уровня инженерного приложения [25–28].

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В основе кибернетического моделирования лежит подобного рода общность. Абстрактные кибернетические структуры прилагают к исходным концептам частных наук таким образом, что обнаруживают гомоморфизм информационно-управленческих структур [1, с. 175]. Поскольку эти структуры присущи различным классам самоуправляемых систем, постольку описывающие эти феномены идеи в одинаковой степени справедливы для достаточно широкого круга явлений. К их числу относятся, например, принципы кодирования и механизма обработки информации, обратной связи, иерархичности и целеполагания и др.

Широкое использование ЭВМ в научных исследованиях теснейшим образом связано с появлением в структуре эксперимента качественно нового звена — экспериментирования с математическими моделями на машине [17, с. 65], благодаря чему в современном способе познания возник существенно новый вид эксперимента — математический. На вероятностно-статистической основе он синтезирует дедуктивный и индуктивный, экспериментальный аспекты матема-

тики и является обобщением метода эвристического использования ЭВМ в процессе научного познания, впервые предложенного фон Нейманом. По своей сути он аналогичен традиционному методу познания «гипотеза – дедукция – эксперимент», но только теперь реальный эксперимент заменяется вычислением поведения изучаемого объекта на ЭВМ. Сначала исследователь строит некоторую гипотезу относительно уравнений, описывающих данный объект, затем ищутся критические случаи поведения и для них на ЭВМ решаются уравнения, полученные результаты сравниваются с гипотетическими и формулируется новая гипотеза (последовательное планирование эксперимента). Этот цикл повторяется до тех пор, пока мы не получим оптимального решения или не решим окончить запланированные эксперименты.

В период появления кибернетики и ее бурного экстенсивного развития границы применимости кибернетических идей очерчивались определением Н. Винера [1, с. 178.]. Это позволяло считать возможным их приложение к гораздо более широкому кругу явлений, чем тот, который может быть в действительности охвачен. Основная причина этой уверенности связана с представлением об общности кибернетических принципов и понятий для любых сложноорганизованных систем. Отсюда следовал другой вывод, что кибернетические средства познания могут с успехом применяться в самых различных областях науки. Эта теоретико-познавательная ситуация утверждала об универсальности данных методов, порождавший тенденцию использования кибернетических средств познания в социологии, философии, психологии, биологии, медицине и других науках [2, 6, 9, 12, 21], попытки решить с их помощью многообразные проблемы.

Как считают В. С. Тюхтин и С. Н. Вовк [17], математический эксперимент являет собой вероятностное обобщение процесса применения метода эксперимента Галилея, позволяющее эффективно создавать новый теоретический плацдарм для более глубокого раскрытия структуры и сущности объективного мира. Сущность этого плацдарма заключается в том, что на базе ЭВМ интенсифицируется развитие экспериментального аспекта математики, а результаты исследований представляются не одной, а множеством моделей.

В современном научном знании весьма широко распространена тенденция построения кибернетических моделей объектов самых различных классов. Под моделью в широком смысле понимается объект, замещающий другие объекты и способный давать о них информацию [1, с. 168]. Как отмечает В. М. Глушков, «существо всякой информационной модели состоит не в копировании объекта, а в описании его поведения» [5, с. 16]. Кибернетический этап в исследовании сложных систем озаглавлен существенным преоб-

разованием «языка науки», характеризуется возможностью выражения основных особенностей этих систем в терминах теорий информации и управления, что сделало доступным их математический анализ. В литературе обсуждается вопрос о различных типах моделей (о понятии моделей) [4, 15, 18, 20] и др. Кибернетическая модель используется и как общее эвристическое средство, и как искусственный организм, и как система-заменитель, и в функции демонстрационной модели, проверяющей сходство общих принципов устройства модели и прототипа.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ — описание кибернетической модели на основе разработанной математической модели (определена система уравнений), описывающей динамику элемента ГС МПС в результате действия на него внешних сил и реакций растяжения, изгиба и поворота, и полученного алгоритма моделирования динамики ГС МПС, которые позволяют описать динамику МПС и в конечном итоге упростить проектные расчёты МПС с ГС.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Несмотря на то, что первые численные методы появились ещё в глубокой древности, их широкое применение стало возможным только с развитием вычислительной техники. В свою очередь, использование компьютеров привело к совершенствованию существующих и созданию принципиально новых численных методов, обеспечивающих решение задач с достаточно малой погрешностью, что позволило формулировать задачи детального исследования естественнонаучных и общественных проблем, постановка которых ранее была невозможна или не позволяла получить их решение другими методами [10].

Из анализа приложения кибернетики к задачам различных классов вытекает, что определенный круг теоретических идей формирует определенное видение объекта исследования. Объект познания и его результат детерминированы некоторой общей теорией, из которой частная дисциплина при построении модели черпает общие понятия и методы исследования [7]. Задача частной дисциплины состоит в том, чтобы, сохраняя точный смысл общих понятий, показать их специфическое, нетривиальное содержание в своей собственной области. Н. Т. Абрамова обращает внимание на следующую особенность кибернетического моделирования: исходные концепты (кибернетические законы, принципы и пр.) определяют принципиальные черты конечного результата исследования [1, с. 174]. Задачи управления и связи, решаемые для объектов самых различных областей, относятся к одному и тому же классу, однако, в пределах этого класса выводы могут иметь новое содержание. Может ли факт изначальной заданности результатов исследования быть свидетельством того, что кибернетическое моделирование выступает мето-

дом эмпирического описания? Не будет ли такой вывод находиться в противоречии с ранее высказанным утверждением о возможности повышения уровня теоретических исследований на основе кибернетического моделирования в различных областях? Если данный метод является лишь средством описания, то как он может способствовать теоретическим работам, тем более повышению их уровня?

Специфический статус кибернетических идей обсуждался многими видными учеными. Отмечалось, что фундаментальная роль в современной науке, результативность применения кибернетических идей не связывается, обычно, с открытием каких-то новых экспериментальных данных. Они несут эвристическую функцию [1, с. 179]. Существенным в этом случае будет не столько приложение этих средств познания к конкретным областям, сколько порождение на их основе ряда новых идей.

Строя кибернетическую модель, специалист конкретных наук связывает себя с определенным кругом теоретических представлений. В результате происходит известное переосмысление исходных концептов, представлений, законов. При этом не только имеет место модификация, спецификация данных конкретных областей знания, но и идеи кибернетики также подвергаются изменениям в зависимости от специфики предмета исследования. Тем самым система кибернетических понятий, используемая для изучения объектов различных классов, рассматривается как их теория. А. А. Олицкий [1], подчеркивая ограниченные возможности кибернетического подхода, всё же приходит к тому, что формально-кибернетическое знание может с известным ограничением быть рассмотрено как теория или какой-либо её эквивалент. Путь по созданию теории, по его мнению, может идти через построение ряда идеальных моделей, которые, не обладая всеми признаками развитой теории, тем не менее являются элементами теоретического знания и выполняют вплоть до формирования достаточно зрелой теории её функции.

Характеризуя процесс кибернетического моделирования, обращают внимание на следующее обстоятельство [1, с. 170]: модель, будучи аналогом исследуемого явления, никогда не может достигнуть степени сложности последнего. При построении моделей прибегают к известным упрощениям, целью которых является стремление отобразить не весь объект во всей его сложности, а с максимальной полнотой охарактеризовать некоторый его «срез». Задача заключается в том, чтобы путем введения ряда упрощающих допущений выделить важные для исследования свойства. Другими словами, создавая кибернетическую модель, задают информационно-управленческие свойства, все иные стороны этого объекта остаются вне рассмотрения. Поскольку кибернетическая модель фиксирует только вполне определенный срез, постольку, говоря

о ее пределах и возможностях, обращают внимание на ее неполноту, на невозможность выразить на ее основе другие аспекты сложной системы.

На чрезвычайную важность поисков путей исследования сложных систем методом наложения определенных упрощающих предположений указывает Р. Эшби [22]: «В прошлом, — отмечает он, — наблюдалось некоторое пренебрежение к упрощениям. Исследователи сложных систем должны заниматься упрощенными формами, ибо всеобъемлющие исследования бывают зачастую совершенно невозможны». При этом Р. Эшби подчеркивает, что упрощенные модели должны быть в то же время «полными в себе»: хотя они дают только частичное знание (неполную истину), но это знание в границах своей применимости должно быть правильным [1, с. 171].

С помощью кибернетической модели исследователь ставит своей целью раскрыть, уточнить определенную задачу. Так, известный вклад идей теории информации в разработку проблем эволюции позволил подразделить элементарный цикл эволюционных преобразований на отдельные звенья, выделить факторы, ответственные за преобразования, и внести методы количественной оценки изучаемых явлений [21, с. 141].

Анализируя процесс приложения кибернетических моделей в различных областях знания, можно заметить расширение сферы их применения, т. е. экстенсивное развитие. Подтверждением этому служит широкое использование кибернетического моделирования в науках о мозге [19], в социологии [3], искусстве [13] и ряде технических наук [6], в частности, в современной измерительной технике нашли приложение информационные модели. Возникшая на их основе информационная теория измерения и измерительных устройств — это новый раздел современной прикладной метрологии. По мнению специалистов, на базе информационно-энергетического подхода к вопросам теории измерительных устройств получают, хотя еще далеко неполную, но в значительной степени законченную систему взглядов, положений, оценок. Эта система не противоречит прежним, классическим представлениям, а является их логическим развитием, позволяющим с помощью новых идей преодолеть ограниченность некоторых старых оценок, существенно их дополняя [11, 14].

Приведём описание интерфейса программы моделирования движения МПС. Компьютерная программа моделирования динамики ГС МПС разработана в системе Delphi на основе алгоритма решения системы уравнений математической модели динамики МПС [29].

Работа программы начинается после активизации файла FILUM_CIRKUL.EXE, в результате чего на экране компьютера появляется рабочее окно программы (рис. 1).

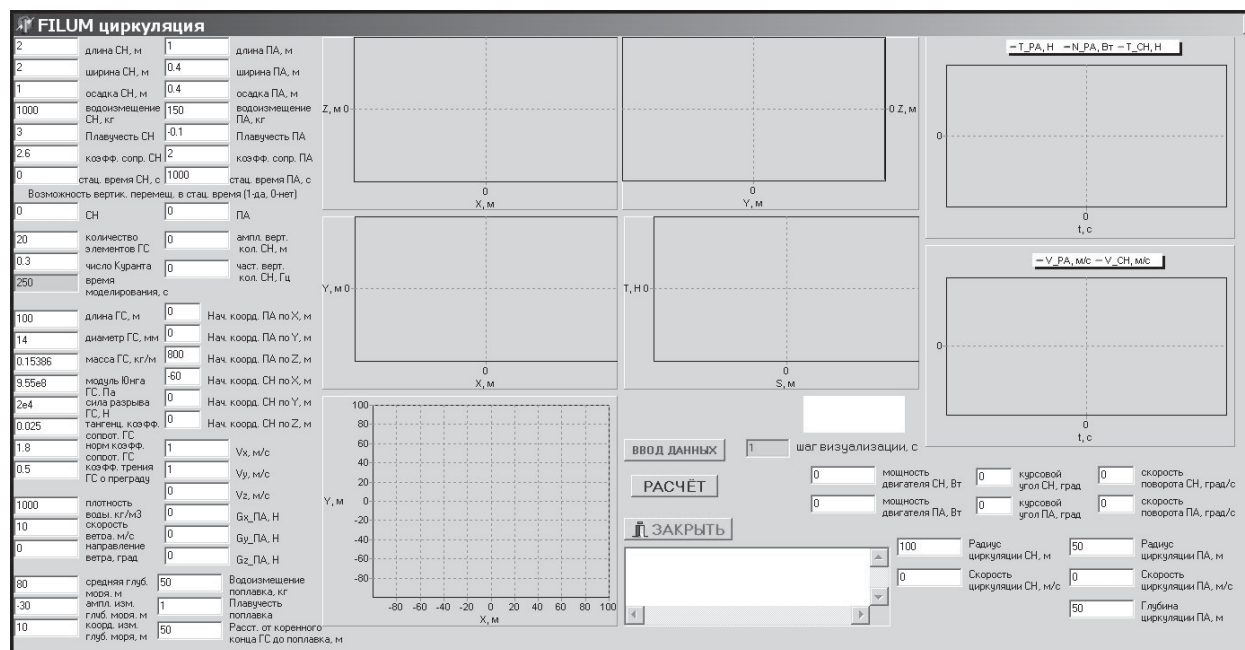


Рис. 1. Начальный вид рабочего окна программы моделирования динамики МПС с ГС

Рабочее окно программы содержит окна для задания величин 58 параметров МПС и 4 параметров алгоритма. Справа от этих окон кратко записано название параметров и их размерности.

К числу параметров алгоритма относятся:

- количество элементов ГС;
- число Куранта;
- время моделирования динамики МПС, с;
- шаг визуализации, с.

Количество элементов ГС устанавливает погрешность моделирования и затраты времени на выполнение расчётов. Чем больше элементов ГС, тем меньше погрешность расчёта, но тем больше его длительность. В программе можно задавать не более 100 элементов ГС. Ориентировочно длина одного элемента не должна превышать 20 м. Окончательный выбор количества элементов ГС можно выполнить в результате сравнения решений задачи, полученных с разным количеством элементов ГС.

Число Куранта определяет устойчивость алгоритма к погрешностям, появляющимся в результате аппроксимации ГС конечным числом элементов. Оно не должно быть больше единицы. Чем больше нормальный и тангенциальный коэффициенты сопротивления ГС, тем меньше число Куранта и длительнее будет расчёт. Поэтому число Куранта должно быть как можно больше при условии обеспечения устойчивости вычислений.

Время моделирования динамики МПС выбирают в зависимости от длительности переходного процесса в МПС.

Шаг визуализации результатов моделирования фиксирует частоту обновления диаграмм в рабочем

окне программы и записи результатов в файлы на жёстком диске компьютера.

Две группы, по восемь параметров в каждой, описывают характеристики судна-носителя (СН) и подводного аппарата (ПА), к которым относятся:

- длина СН (ПА), м;
- ширина СН (ПА), м;
- осадка СН (ПА), м;
- водоизмещение СН (ПА), кг;
- плавучесть СН (ПА);
- коэффициент сопротивления СН (ПА);
- стационарное время СН (ПА), с;
- возможность вертикального перемещения СН (ПА) в стационарное время (1 — да, 0 — нет).

Предпоследний параметр определяет время от начала моделирования динамики МПС, в течение которого СН или ПА остаются неподвижными в плоскости моря, а последний параметр устанавливает возможность вертикального перемещения СН (ПА) в течение заданного стационарного времени (1 — да, 0 — нет).

Следующие 8 параметров характеризуют свойства ГС, к которым относятся:

- начальная длина ГС, м;
- начальный диаметр ГС, м;
- плотность единицы длины ГС, кг/м;
- модуль Юнга материала ГС, Па;
- допустимая сила растяжения ГС, Н;
- тангенциальный коэффициент гидродинамического сопротивления ГС;
- нормальный коэффициент гидродинамического сопротивления ГС;
- коэффициент трения ГС о преграду.

Если в процессе моделирования динамики МПС сила растяжения ГС превышает допустимое значение, тогда программа завершает работу и помещает на рабочем окне сообщение «Разрыв ГС!!!» с указанием момента времени, при котором разрыв ГС произошёл.

Вода моря считается несжимаемой и характеризуется плотностью, кг/м^3 .

Характеристики установившегося волнения на поверхности моря определяются двумя параметрами:

- скорость ветра, м/с ;
- угол направления ветра, град.

Однородное по объёму акватории морское течение отличается тремя проекциями его скорости на оси координат:

- V_x , м/с ;
- V_y , м/с ;
- V_z , м/с .

Рельеф дна акватории характеризуется тремя параметрами:

- средняя глубина моря, м ;
- амплитуда изменения глубины моря, м ;
- координата (по оси X) изменения глубины моря, м .

При задании этих параметров необходимо учитывать, что вертикальная ось координат (ось Z) направлена к центру Земли, поэтому средняя глубина моря всегда положительна. Глубина моря изменяется ступенчато на величину заданной амплитуды, постоянной вдоль линии параллельной оси Y , положение которой в направлении оси X определяется координатой изменения глубины моря. Если глубина моря уменьшается, то амплитуда отрицательная, иначе — она положительная.

Начальные координаты ГС кстанавливается тремя координатами СН и ПА:

- начальная координата СН по X , м ;
- начальная координата СН по Y , м ;
- начальная координата СН по Z , м ;
- начальная координата ПА по X , м ;
- начальная координата ПА по Y , м ;
- начальная координата ПА по Z , м .

В начальный момент времени ГС имеет форму прямой нерастянутой линии (сила натяжения равна нулю), соединяющей точки с координатами СН и ПА. Если начальная длина ГС больше, чем расстояние между СН и ПА, тогда алгоритм программы автоматически изменяет координаты положения ПА в плоскости XOY , не затрагивая при этом заданную координату его положения по Z , а затем, до начала моделирования динамики МПС, перемещает ПА в первоначально заданную точку. При этом, если заданная координата ПА по оси Z больше, чем минимальная глубина моря, тогда координата ПА по оси Z задаётся равной минимальной глубине моря.

В программе предусмотрено задание дополнительной, постоянной по времени, силы действующей на ПА (например, создаваемой «отводителями»

и т. п.), которая определяется тремя её проекциями на оси координат:

- G_x ПА, Н ;
- G_y ПА, Н ;
- G_z ПА, Н .

Предполагается размещение на ГС дополнительного поплавка (или груза, если его плавучесть меньше нуля), что характеризуется тремя параметрами:

- водоизмещение поплавка, кг ;
- плавучесть поплавка;
- расстояние от коренного конца ГС (от СН) до поплавка, м . Поплавок отсутствует, если его водоизмещение равно нулю.

Программа предусматривает возможность исследования амплитудно-частотных характеристик МПС. Для этого необходимо задать два параметра:

- амплитуда вертикальных колебаний СН, м ;
- частота вертикальных колебаний СН, Гц .

В этом случае можно изучить амплитудно-частотные особенности перемещения ПА, скорости его движения, сил натяжения ГС как при отсутствии других внешних воздействий на МПС, так и при их наличии.

В программе существует возможность моделирования динамики МПС при наличии у СН или ПА энергетических установок с помощью шести параметров:

- мощность двигателя СН, Вт ;
- курсовой угол СН, град;
- скорость поворота СН, град/с ;
- мощность двигателя ПА, Вт ;
- курсовой угол ПА, град;
- скорость поворота ПА, град/с .

В программе учтено, что 50 % мощности двигателя используется для сообщения движения СН или ПА (по статистическим данным от 45 до 55 %). Курсовые углы СН и ПА отсчитываются от меридиана Земли в направлении часовой стрелки (направление оси X совпадает с направлением меридиана). Скорость поворота СН и ПА положительна в направлении часовой стрелки.

Программа позволяет определять характеристики МПС, когда СН или ПА совершают циркуляцию по окружности заданного радиуса и с заданной скоростью [30]. Для этого необходимы следующие параметры:

- радиус циркуляции СН, м ;
- скорость циркуляции СН, м/с ;
- радиус циркуляции ПА, м ;
- скорость циркуляции ПА, м/с ;
- глубина циркуляции ПА, м .

Если скорость циркуляции СН или ПА равна нулю, тогда циркуляция СН или ПА не происходит, иначе она осуществляется при блокировании всех остальных режимов движения СН или ПА. Если скорость циркуляции СН или ПА положительна, тогда СН или ПА циркулируют по часовой стрелке, иначе

– в противоположном направлении. Глубина циркуляции ПА может не совпадать с заданной глубиной его положения вначале моделирования, тогда программа включает процедуру плавного перехода ПА в процессе его циркуляции на глубину циркуляции. Если глубина циркуляции ГС больше заданной глубины моря, тогда программа увеличивает глубину моря.

Результаты моделирования представляются графически на семи диаграммах в заданные моменты времени, которые показываются в окне рядом с диаграммами. Эти моменты определяются интервалом времени, через который происходит смена изображений на диаграммах, и задаются параметром «шаг визуализации, с». Три диаграммы отображают пространственное расположение СН, ГС и ПА в проекциях на плоскости XOZ, YOZ и XOY прямоугольной декартовой системы координат, а четвёртая диаграмма показывает распределение силы растяжения ГС вдоль её длины (координата S). На первых трёх диаграммах диапазон координат непрерывно меняется, адаптируясь к расположению МПС в текущий момент времени, поэтому для большей наглядности на пятой диаграмме координаты X и Y изменяются только в пределах ± 100 м. На шестой диаграмме располагаются данные об изменении во времени сил натяжения ГС, действующих на ПА и СН. Если включен режим циркуляции ПА (скорость его циркуляции не равна нулю), тогда на диаграмме видно изменение мощности двигателя ПА. По этой мощности, зная пропульсивный КПД валопровода и двигателя ПА, можно

определить необходимую мощность двигателя ПА, обеспечивающую заданный режим его циркуляции. На седьмой диаграмме демонстрируется изменение скорости СН и ПА в процессе их движения.

Числовые результаты выводятся в текстовое окно с полосами прокрутки данных в нём для их просмотра после выполнения программы (рис. 2).

В заданные моменты времени (с заданным шагом визуализации) происходит запись обобщённых координат узлов ГС, СН и ПА, а также сил растяжения ГС в узлах её элементов в файловой системе компьютера. Эти файлы становятся доступны для анализа данных после завершения работы программы.

Программа вводит заданные параметры МПС после щелчка левой клавиши «мыши» по кнопке «ВВОД ДАННЫХ», а также демонстрирует введённые данные на диаграммах и в текстовом окне с полосами прокрутки для проверки точности их ввода. Выполнение программы начинается после щелчка по кнопке «РАСЧЁТ». После ввода данных или окончания расчёта работу программы можно завершить щелчком по кнопке «ЗАКРЫТЬ». Во время выполнения программы кнопка «ЗАКРЫТЬ» не активна.

В процессе выполнения программы пользователь может наблюдать на диаграммах её рабочего окна изменение положения узлов элементов ГС, на концах которой большими маркерами показаны координаты СН (зелёный маркер) и ПА (лиловый маркер), а также изменение сил растяжения ГС в узлах её элементов (рис. 3).

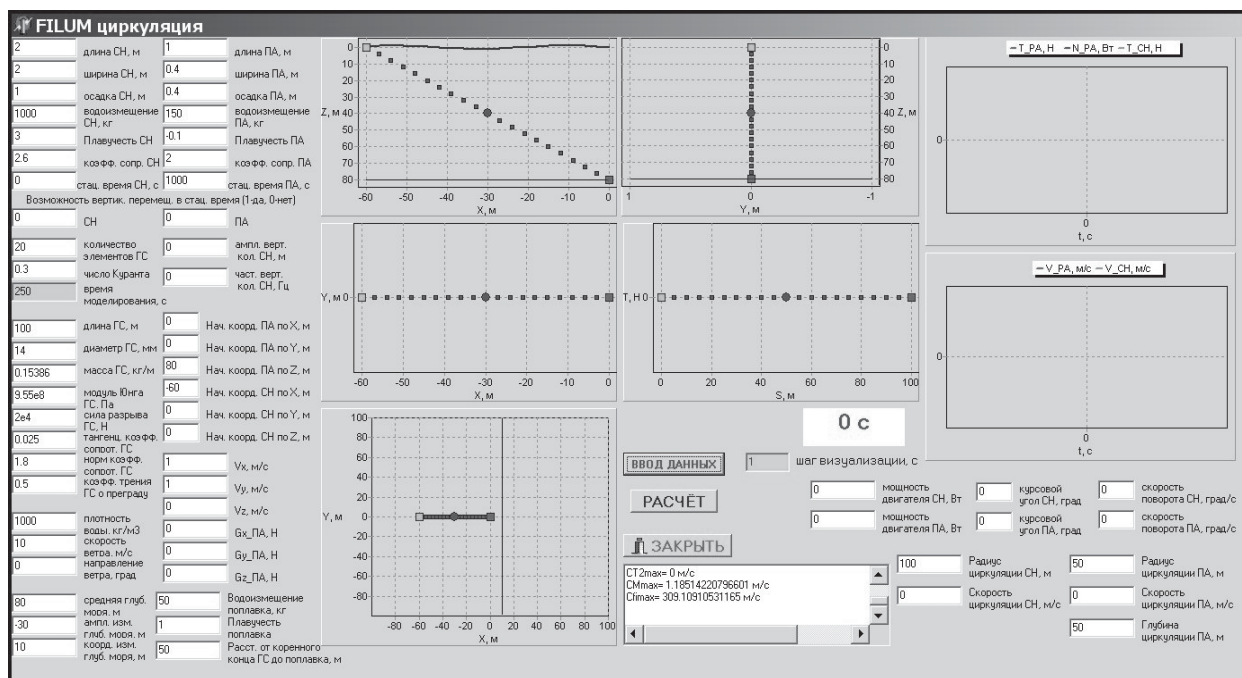


Рис. 2. Вид рабочего окна программы моделирования динамики МПС после ввода исходных данных

Это позволяет оперативно определять правильность выбора параметров МПС при заданных режимах движения СН и ПА в условиях морских течений, волнения поверхности моря (синяя линия на диаграммах) и взаимодействия элементов МПС с морским дном.

Если сила растяжения ГС достигнет или превысит заданную допустимую силу её растяжения, тогда программа прекращает работу, на рабочем окне появляется запись «Разрыв ГС!!!», а на диаграмме, показывающей силы растяжения ГС, можно увидеть, в каком её узле произошёл разрыв (рис. 4, при других параметрах МПС).

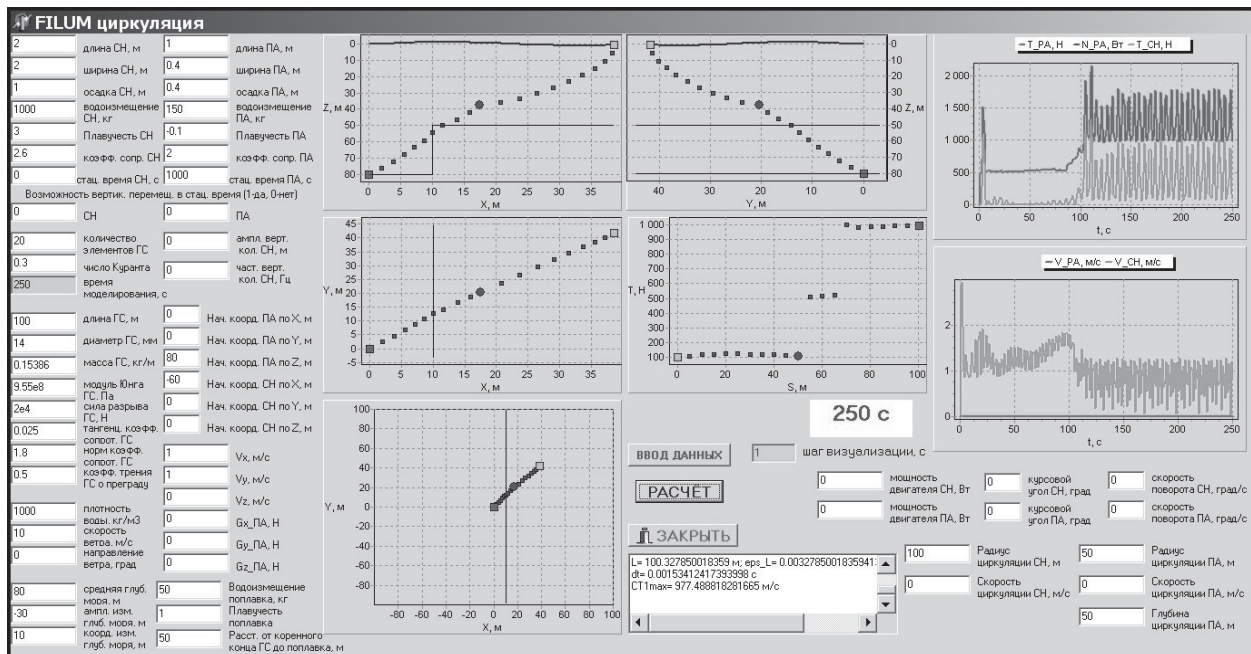


Рис. 3. Вид рабочего окна программы моделирования динамики МПС после завершения её выполнения

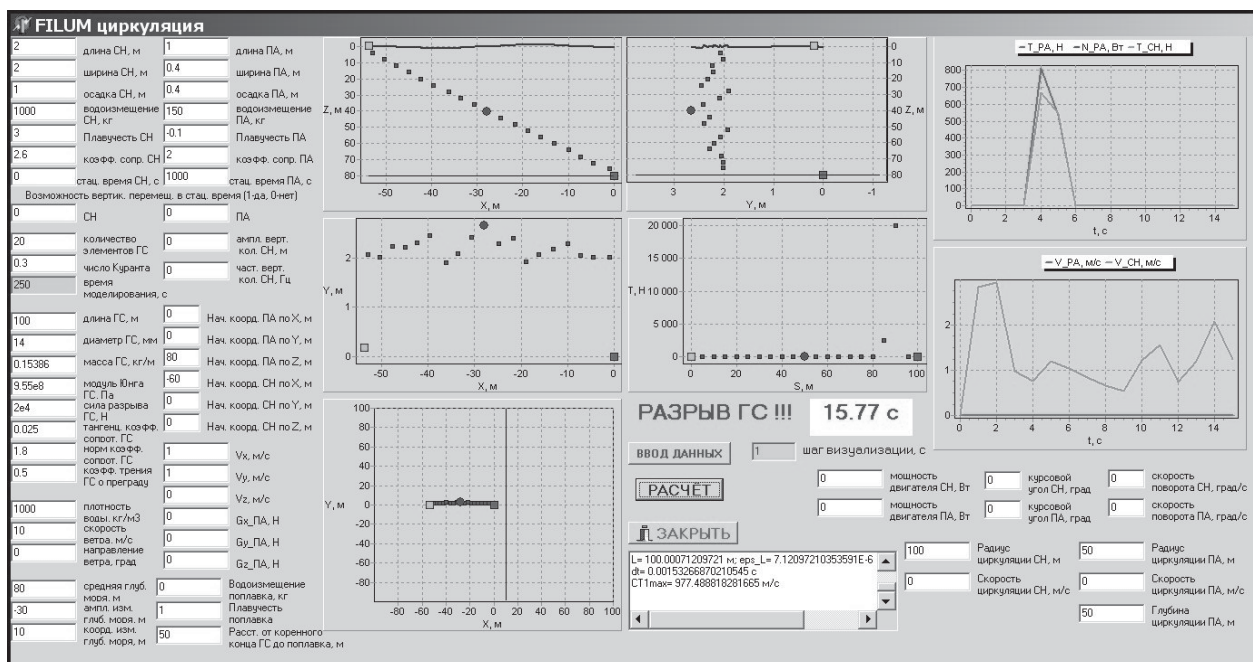


Рис. 4. Вид рабочего окна программы моделирования динамики МПС после завершения её выполнения раньше заданного времени в результате разрыва ГС

ВЫВОДЫ. Создана компьютерная модель (компьютерная программа) динамики МПС с ГС, позволяющая моделировать ГС в составе МПС на основе 54 заданных параметров МПС и совершенствовать проектирование МПС с ГС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Абрамова Н. Т.** Кибернетическая модель и построение теории [Текст] / Н. Т. Абрамова // Эксперимент. Модель. Теория : [сб. статей]. — АН СССР. Ин-т философии. — М. : Наука, 1982. — С. 168–182.
- [2] **Аптер М.** Кибернетика и развитие [Текст] / М. Аптер. — М., 1970. — 234 с.
- [3] **Афанасьев В. Г.** Социальная информация и управление обществом [Текст] / В. Г. Афанасьев // Эксперимент. Модель. Теория : [сб. статей]. — АН СССР. Ин-т философии. — М. : Наука, 1982. — С. 34–36.
- [4] **Баженов Л. Б.** Моделирование [Текст] / Л. Б. Баженов, Б. А. Бирюков, В. Н. Штофф // Философская энциклопедия. — М. : Наука, 1965. — Т. 3. — С. 48–53.
- [5] **Глушков В. М.** Гносеологическая природа информационного моделирования [Текст] / В. М. Глушков // Вопросы философии. — 1963. — № 10. — С. 16–21.
- [6] **Гутчин И. Б.** Кибернетические модели творчества: Концепция информации и биологические системы [Текст] / И. Б. Гутчин. — М. : Наука, 1966. — 326 с.
- [7] **Гутчин И. Б.** Кибернетические модели творчества [Текст] / И. Б. Гутчин // Эксперимент. Модель. Теория : [сб. статей]. — АН СССР. Ин-т философии. — М. : Наука, 1982. — 333 с.
- [8] **Кавалеров Г. И.** Введение в информационную теорию измерений [Текст] / Г. И. Кавалеров, С. М. Мандельштам. — М., 1974. — 238 с.
- [9] **Клаус Г.** Кибернетика и общество [Текст] / Г. Клаус. — М. : Наука, 1967. — 181 с.
- [10] **Косенков В. М.** Краткий курс лекций по численным методам [Текст] : учебное пособие / В. М. Косенков. — Николаев : НУК, 2012. — 73 с.
- [11] **Лебедев Я. Я.** Очерки теории социального управления [Текст] / Я. Я. Лебедев // Эксперимент. Модель. Теория : [сб. статей]. — АН СССР. Ин-т философии. — М. : Наука, 1982. — С. 86–93.
- [12] **Милсум Дж.** Анализ биологических систем управления [Текст] / Дж. Милсум. — М. : Наука, 1969. — 163 с.
- [13] **Моль А.** Искусство и ЭВМ [Текст] / А. Моль, Л. Фукс, М. Касслер // Эксперимент. Модель. Теория : [сб. статей]. — АН СССР. Ин-т философии. — М. : Наука, 1982. — С. 235–238.
- [14] **Новицкий П. В.** Основы информационной теории измерительных устройств [Текст] / П. В. Новицкий. — Л. : Наука, 1968. — 256 с.
- [15] **Новик И. Б.** О моделировании сложных систем [Текст] / И. Б. Новик // Философская энциклопедия. — М. : Наука, 1965. — Т. 3. — С. 147–154.
- [16] **Прибрам К.** Язык мозга [Текст] / К. Прибрам // Эксперимент. Модель. Теория : [сб. статей]. — АН СССР. Ин-т философии. — М. : Наука, 1982. — С. 136–142.
- [17] **Тюхтин В. С.** О гносеологическом статусе математической теории эксперимента [Текст] / В. С. Тюхтин, С. Н. Вовк // Эксперимент. Модель. Теория : [сб. статей]. — АН СССР. Ин-т философии. — М. : Наука, 1982. — С. 62–75.
- [18] **Уемов А. И.** Логические основы моделирования [Текст] / А. И. Уемов. — М., 1972. — 211 с.
- [19] **Шмальгаузен И. И.** Кибернетические вопросы биологии [Текст] / И. И. Шмальгаузен. — Новосибирск, 1968. — 186 с.
- [20] **Штофф В. А.** Моделирование и философия [Текст] / В. А. Штофф // Философская энциклопедия. — М. : Наука, 1965. — Т. 3. — С. 214–218.
- [21] **Электронное моделирование и машинное управление в экономике** [Текст]. — М. : Наука, 1965. — 278 с.
- [22] **Эшби Р.** Системы и информация [Текст] / Р. Эшби // Вопросы философии. — 1963. — № 3. — С. 82–84.
- [23] **Трунин К. С.** Классификация морских привязных систем [Текст] / К. С. Трунин // 36. наук. праць Севастопольського військово-морського ордена Червоної Зірки ін-ту ім. П. С. Нахімова. — Севастополь : СВМІ ім. П. С. Нахімова, 2009. — Вип. 1 (16). — С. 77–89.
- [24] **Трунин К. С.** Классификация кабель-тросов для подводных исследований [Текст] / К. С. Трунин // Матеріали 9-ої міжнародної науково-практичної конференції «Наукові дослідження — теорія та експеримент». — Полтава : Вид-во «ІнтерГрафіка», 2013. — Т. 5. — С. 69–73.
- [25] **Трунін К. С.** Удосконалення методів проектування гнучких зв'язків морських прив'язних систем [Текст] / К. С. Трунин // Матеріали Першої Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». — Миколаїв : НУК, 2010. — С. 137–138.
- [26] **Трунин К. С.** Проблемы совершенствования методов проектирования гибких связей морских привязных систем [Текст] / К. С. Трунин. // Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні проблеми в океанотехніці». — Севастополь : СевНТУ, 2013. — С. 10–13.
- [27] **Трунин К. С.** Особенности проектирования гибких связей морских привязных систем [Текст] / К. С. Трунин. // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». — Миколаїв : НУК, 2013. — С. 100–103.

- [28] **Трунин К. С.** Совершенствование проектирования гибких связей для морских привязных систем [Электронный ресурс] / К. С. Трунин // Вісник НУК, 2013. — № 1. — Режим доступа: <http://evn.nuos.edu.ua/article/view/19485/18273>
- [29] **Трунин К. С.** Компьютерная модель динамики морской привязной системы с гибкой связью [Текст] / К. С. Трунин // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції. — Миколаїв : НУК, 2016. — С. 296–298.
- [30] **Трунин К. С.** Моделирование пространственного движения морской привязной системы // Підводна техніка і технологія, ПТТ-2016: Матеріали VI Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю: в 2 ч. — Миколаїв : НУК, 2016. — Ч. 1. — С. 47–55.

© К. С. Трунін

Надійшла до редколегії 26.10.17
Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. В. С. Блінцов