



**Kostiantyn S. Trunin**  
Трунин  
Константин  
Станиславович

УДК 004.415.53:531.391  
Т78

## TESTING OF A COMPUTER PROGRAM FOR THE DYNAMICS OF THE MODEL OF A MARINE TETHERED SYSTEM WITH FLEXIBLE CONNECTION

ТЕСТИРОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ  
МОРСКОЙ ПРИВЯЗНОЙ СИСТЕМЫ С ГИБКОЙ СВЯЗЬЮ

DOI 10.15589/SMI20170114

**Kostiantyn S. Trunin** К. С. Трунин, канд. техн. наук, доц.  
trunin.konstantin.stanislav@gmail.com  
ORC ID: 0000-0001-6345-6257

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaev*

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Николаєв*

**Abstract.** There have been studied the existing marine tethered systems (MTS) which have a flexible connection (FC) in their composition. There are obtained equations of the dynamics of the FC element of the MTS, which allow describing its substantial displacement in the absolute coordinate system. On the basis of these equations, a mathematical model of two linked FC elements is created, making it possible to develop an algorithm for calculating the dynamics of the FC at its large displacements. Based on the developed mathematical model, there is defined a system of equations that describes the dynamics of the FC element under the impact of external forces and the reactions of stretching, bending and turning. An algorithm for modeling the FC dynamics is obtained, which makes it possible to perform calculations of the dynamics of the MTS FC and proceed to further development of a computer program describing the dynamics of the MTS with FC. Based on the algorithm for modeling the FC dynamics, a computer program has been developed that describes the dynamics of the MTS with FC. However, this computer program requires verification (testing) and the possibility of application for improvement of the theory and methods of designing the MTS with FC. Automation of the process of designing of the FC with the use of the developed computer model should significantly reduce the costs of the entire process of designing the MTS with FC. The testing of the MTS dynamics model developed on the basis of the computer program's algorithm has shown the program's operability and allowed for its debugging.

**Keywords:** computer program; algorithm of the dynamics of a marine tethered system (MTS) with flexible connection (FC); model of the marine tethered system (MTS) dynamics; flexible connection (FC); software testing.

**Аннотация.** Проведено тестирование написанной на основе алгоритма компьютерной программы модели динамики МПС, которое показало работоспособность программы и позволило её отладить

**Ключевые слова:** компьютерная программа; алгоритм динамики морской привязной системы (МПС) с гибкой связью (ГС); модель динамики МПС; гибкая связь (ГС); тестирование компьютерной программы.

**Анотація.** Проведено тестування розробленої на основі алгоритму комп'ютерної програми моделі динаміки морської прив'язної системи (МПС), що показало працездатність програми й дозволило здійснити її перевірку.

**Ключові слова:** комп'ютерна програма; алгоритм динаміки МПС з гнучким зв'язком (ГЗ); модель динаміки МПС; гнучкий зв'язок (ГЗ); тестування комп'ютерної програми.

### References

- [1] Abramova N. T. *Kiberneticheskaya model i postroeniye teorii* [Cybernetic model and construction of theory]. *Eksp'eriment. Model. Teoriya* [Experiment. Model. Theory]. Moscow, Nauka, 1982, pp. 168–182.
- [2] Babkin G. V. *Otsenka energeticheskikh kharakteristik dvukhzhvennoy privyaznoy podvodnoy sistemy s buyem-otvoditelem* [Assessment of the energy characteristics of a two-connection underwater tethered system with an otter-buoy]. *Druha Mizhnarodna naukova-tekhnichna konferentsiia "Problemy energozberezheniia i ekologii sudnobuduvannia"* [Proceedings

of the 2nd International Scientific and Technical Conference “Problems of Energy Conservation and Shipbuilding Ecology”. Mykolaev, UDMTU Publ., 1998.

[3] Bugayenko B. A. *Dinamika sudovykh spuskopodyemnykh operatsiy* [Dynamics of ship launching and lifting operations]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 2004. 320 p.

[4] *Formalnaya verifikatsiya* [Formal verification]. Available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Формальная\\_верификация](https://ru.wikipedia.org/wiki/Формальная_верификация).

[5] Gerts G. *Sootnosheniye mezhdu eksperimentom, modelyu i teoriey v protsesse estestvennogo poznaniya* [Correlation between experiment, model and theory in the process of natural cognition]. *Eksperiment. Model. Teoriya*. [Experiment. Model. Theory]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 333 p.

[6] Zagnitko A. P., Shchukina I. A. *Velykyi tlmachnyi slovnyk. Suchasna ukrainska mova* [Modern Ukrainian language]. Donetsk, TOV VKF «BAO» Publ., 2008. 704 p.

[7] Kaziev V. M. *Vvedenie v informatiku: Lektsii. Metody razrabotki i analiza algoritmov* [Introduction to Informatics: Lectures. Methods for developing and analyzing algorithms]. Available at: [www.intuit.ru/intuituser/userpage/v\\_m\\_kaziev](http://www.intuit.ru/intuituser/userpage/v_m_kaziev).

[8] Kosenkov V. M. *Kratkiy kurs lektsiy po chislennym metodam* [Brief course of lectures on numerical methods]. Nikolaev, NUK Publ., 2012. 73 p.

[9] Kuznetsov I. V. *O sootnoshenii struktury nauchnoy teorii i struktury obyektu* [On the relationship between the structure of scientific theory and the structure of an object]. *Ocherki istorii i teorii nauki* [Essays on History and Theory of Science]. Moscow, Nauka Publ., 1969. 236 p.

[10] Nalimov V. V., Golikova T. I. *Logicheskiye osnovaniya planirovaniya experimenta* [Logical bases for experiment planning]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 348 p.

[11] Nuzhnyy S. N. *Osobennosti proektirovaniya kabel-trosov dlya samokhodnykh privyaznykh apparatov* [Special features of designing tethers for self-propelled underwater vehicles]. *Respublikanskyi mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk elektrychnogo mashynobuduvannia ta elektroobladnannia* [Republican Interdepartmental Scientific and Technical Collection for Electrical Machine Building And Electrical Equipment]. Odesa, 1998. 224 p.

[12] Paul Z. *Evrysticheskaya funktsiya matematiki v protsesse nauchnogo poznaniya* [Heuristic function of mathematics in the process of scientific knowledge]. *Eksperiment. Model. Teoriya*. [Experiment. Model. Theory.]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 333 p.

[13] *Slovar inostrannykh slov* [Dictionary of foreign words]. Moscow, Rus. yaz. Publ., 1989, issue 18. 624 p.

[14] *Slovar po kibernetike* [Dictionary of cybernetic terms]. Kiev: Glavnaya redaktsiya Ukrainy Sovetskoy Entsiklopedii imeni M. P. Bazhana, issue 2. 751 p.

[15] Solovyev S. V., Tsoy R. I., Grinkrug L. S. *Technologiya razrabotki prikladnogo programnogo obespecheniya* [Technology of application software development]. Moscow, Akademiya Estestvoznaniya, 2011. Available at: <http://express.rae.ru>.

[16] *Testirovaniye program na EVM. Osnovnie etapy resheniya zadach na EVM* [Testing programs on a computer. Basic stages of solving problems on a computer]. Available at: [www.intuit.ru/intuituser/userpage/v\\_m\\_kaziev](http://www.intuit.ru/intuituser/userpage/v_m_kaziev).

[17] Tronin Yu. N., Maslennchenkov Yu. S. *Upravlencheskiye resheniya* [Management decisions]. Moscow, UNITI-DANA Publ., 2004. 310 p.

[18] Trunin K. S. *Klasyfikatsiia morskyykh pryviaznykh system* [Classification of marine tethered systems]. *Sb. nauk. prats Sevastopolskogo viiskovo-morskogo ordena Chervonoj 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.

[19] Trunin K. S. *Matematicheskaya model gibkoy svyazi v sostave morskoy privyaznoy sistemy* [Mathematical model of the flexible connection within a marine tethered system]. *Innovatsii v sudnobuduvanni ta okeanotekhnitsi: materialy VI Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii* [Proceedings of the 6th International Scientific and Technical Conference “Innovations in Shipbuilding and Ocean Engineering”]. Mykolaiv, 2015, pp. 300–304.

[20] Trunin K. S. *Algoritm modelirovaniya dinamiki morskoy privyaznoy sistemy s gibkoy svyazy* [Algorithm of modeling of the dynamics of a marine tethered system with flexible connection]. *Materialy vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu “Pidvodna tekhnika i tekhnologiiia”* [Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Technical Conference with International Participation “Underwater Equipment and Technology”]. Mykolaiv, 2014, part 1, pp. 36–42.

[21] Trunin K. S. *Kompyuternaya model dinamiki morskoy privyaznoy sistemy s gibkoy svyazy* [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.

[22] Trunin K. S. *Testirovanie kompyuternoy programmy modeli dinamiki morskoy privyaznoy sistemy s gibkoy svyazy* [Testing of the computer program of the model for the dynamics of a marine tethered system with flexible connections]. *Innovatsii v sudnobuduvanni ta okeanotekhnitsi: materialy VII Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi kon-*

*ferentsii* [Proceedings of the 7th International Scientific and Technical Conference “Innovations in Shipbuilding and Ocean Engineering”]. Mykolaiv, 2016. pp. 298–303.

[23] Tyukhtin V.S., Vovk S.N. *O gnoseologicheskoy statuse matematicheskoy teorii experimenta* [On the gnoseological status of mathematical theory of experiment]. *Eksperiment. Model. Teoriya*. [Experiment. Model. Theory.]. Moscow, Nauka Publ., 1982, pp. 62–75.

[24] Shtoff V.A. *Modelirovanie i filosofiya* [Modeling and philosophy]. *Eksperiment. Model. Teoriya*. [Experiment. Model. Theory.]. Moscow, Nauka Publ., 1966. 234 p.

**Problem statement.** There have been studied the existing marine tethered systems (MTS) [18] which have a flexible connection (FC) in their composition. There are obtained equations of the dynamics of the FC element of the MTS, which allow describing its substantial displacement in the absolute coordinate system [19]. On the basis of these equations, a mathematical model of two linked FC elements is created, making it possible to develop an algorithm for calculating the dynamics of the FC at its large displacements [20].

The mathematical model of the MTS allows solving the following problems:

- Identifying the change in the FC shape and tension load in the process of maneuvering of the carrier vessel and underwater vehicle (CV and UV) with account for sea waves, underwater currents, wind loading of the CV, the sea depth and its changes in the given water area, mass and elastic properties of the FC;
- defining the relative position of the CV and UV during their maneuvering;
- **determining the resonance modes of the FC stretching** and the maximum FC loading in order to assess its strength in the process of the CV and UV maneuvering;
- determining the modes of the MTS maneuvering leading to the formation of loops (“pegs”) on the FC, which usually occurs on stretched FC with a “slack” and under the torque depending on the tension of the FC;
- determining the modes of the MTS maneuvering leading to the vibration of high-drag FCs in the stream.

The developed mathematical model allowed determining a system of equations that describes the dynamics of the FC element under the impact of external forces and the reactions of stretching, bending and turning. An algorithm for simulating the dynamics of the FC is obtained, which makes it possible to perform calculations of the dynamics of the FC of the MTS, and in the future proceed to the development of a computer program describing the dynamics of the MMS with FC. Based on the algorithm for modeling the FC dynamics, a computer program has been developed that describes the dynamics of the MTS with FC [21]. However, this computer program requires verification (testing) and the possibility of application for improvement of the theory and methods of designing the MTS with FC. Automation of the process of designing of the FC with the use of the developed

**Постановка проблемы.** Нами изучены существующие морские привязные системы (МПС) [18], имеющие в своём составе гибкие связи (ГС). Были получены уравнения динамики элемента ГС МПС, описывающие его значительные перемещения в абсолютной системе координат [19], на основе которых создана математическая модель двух связанных элементов ГС МПС, которая позволила разработать алгоритм расчёта динамики ГС при её больших перемещениях [20].

Математическая модель МПС даёт возможность решать следующие задачи:

1. Определять изменение формы ГС и сил её натяжения в процессе маневрирования судна-носителя (СН) и подводного аппарата (ПА) с учётом морских волн, подводных течений, ветровых нагрузок на СН, глубины моря и её изменения в заданной акватории, массы и упругих свойств ГС.
2. Установить относительное положение СН и ПА в процессе их маневрирования.
3. Распознавать резонансные режимы растяжения ГС и максимальные нагрузки на ГС для оценки её прочности в процессе маневрирования СН и ПА.
4. Определять режимы маневрирования МПС, приводящей к образованию петель («колышек») на ГС. Обычно образуются на растянутых ГС при появлении в них «слабины» и наличии крутящего момента (крутящий момент зависит от натяжения ГС).
5. Находить режимы маневрирования МПС, приводящие к вибрации плохообтекаемых ГС в потоке.

На основе разработанной математической модели составлена система уравнений, описывающая динамику элемента ГС в результате действия на неё внешних сил и реакций растяжения, изгиба и поворота. Получен алгоритм моделирования динамики ГС, позволяющий выполнять расчёты динамики ГС МПС, и в дальнейшем перейти к разработке компьютерной программы, характеризующей динамику МПС с ГС. На основе алгоритма моделирования динамики ГС, выполняющей расчёты динамики ГС МПС, разработана компьютерная программа, описывающая динамику МПС с ГС [21]. Однако данная компьютерная программа требует проверки (тестирования) и возможности использования для совершенствования теории и методов проектирования МПС с ГС. Автоматизация процесса проектирования ГС с использованием созданной компьютерной модели должна значительно снизить затраты на весь процесс проектирования МПС с ГС [22].

computer model should significantly reduce the costs of the entire process of designing the MTS with FC [22].

**Latest research and publication analysis.** Sometimes there is debate about which term is more appropriate: verification or testing. Verification is a formal substantiation with the use of an abstract mathematical model of the system under the assumption that the correspondence between the mathematical model and the nature of the system is considered to be given initially. For example, it is specified by the model structure or mathematical analysis and proof of the correctness of algorithms and programs.

Verification [*fr.* verification, < *lat.* verus meaning true + *facere* meaning to do] is the establishment of the correctness and/or accuracy of theoretical propositions by experimental means [13].

There is another definition of verification: it is a technique of testing whether the hypothesis is true [6, 14]. Thus, the Appendix to [17, p. 285] considers the types of verification. According to this publication, verification of a hypothesis is possible by its development with the help of a method different from the one used originally, or by comparing it with the hypotheses obtained from other sources of information.

Since formal verification (even a simple one) is a plain routine and its full automation is theoretically possible, automatic verification with the use of specially developed software is usually implied when talking about formal verification [4]. Let us distinguish the following approaches to formal verification:

- model checking;
- systematic analysis of algorithms and programs.

At that, the algorithm contains errors if it gives incorrect results or does not give results at all for particular valid initial data. As noted in [4], program testing can not prove that the system, algorithm or program does not contain any errors and flaws and meets a certain requirement. This can be proved by formal verification, which can be applied to test such systems as programs in the form of source code, cryptographic protocols, combinatorial logic circuits, and digital circuits with internal memory.

Examples of mathematical objects commonly used for modeling and formal verification of programs and systems include structured algorithms and structured programs.

Practical verification makes it possible to decide whether the measurement errors included in the prerequisites lie within the required accuracy limits, and whether the assumptions are acceptable in this particular case [12, p. 200]. The accuracy of the result mainly depends on how accurately the modeled reality can be mapped with

**Анализ последних исследований и публикаций.** Иногда происходят споры о том, какой из терминов лучше использовать: верификацию или тестирование? Верификация представляет собой формальное доказательство на абстрактной математической модели системы в предположении о том, что соответствие между математической моделью и природой системы считается изначально заданным. Например, по построению модели либо математического анализа и доказательства правильности алгоритмов и программ.

Верификация [*фр.* verification, < *лат.* verus — истинный + *facere* — делать] — проверка истинности теоретических положений, установление достоверности опытным путём [13].

Существует и другое понятие верификации: Верификация — способ проверки гипотезы на истинность [6, 14]. Так, в Приложении к [17, с. 285] рассматриваются виды верификации, говорится о верификации прогноза путем его разработки методом, отличным от первоначально использованного, либо верификации прогноза посредством его сопоставления с прогнозами, полученными из других источников информации.

Из-за рутинности даже простой формальной верификации и теоретической возможности их полной автоматизации под формальной верификацией обычно подразумевают автоматическую верификацию с помощью программы [4]. Из существующих подходов к формальной верификации выделим следующие:

- проверка моделей;
- систематический анализ алгоритмов и программ.

При этом алгоритм содержит ошибки, если он дает неправильные результаты либо не дает результатов вообще для некоторых допустимых исходных данных. Как отмечается в [4], тестирование программного обеспечения не может доказать, что система, алгоритм или программа не содержит никаких ошибок и дефектов и удовлетворяет определённому свойству. Это может сделать формальная верификация, которая может применяться для проверки таких систем, как программное обеспечение, представленное в виде исходных текстов, криптографические протоколы, комбинаторные логические схемы, цифровые схемы с внутренней памятью.

Примерами математических объектов, часто используемых для моделирования и формальной верификации программ и систем являются структурированные алгоритмы и программы.

Практическая проверка позволяет также решать, находятся ли в требуемых границах точности ошибки измерения, входящие в предпосылки, и приемлемы ли в данном конкретном случае сделанные предположения [12, с. 200]. Точность результата как раз и зависит главным образом от того, насколько точно с помощью сделанных предположений может быть отражена моделируемая реальность. Как считает

the help of the assumptions provided. According to Z. Paul [12], it may turn out that the original mathematical rendering describes the phenomenon adequately only to some extent, since only the facts subject to mathematical rendering are recorded. Moreover, these formal or mathematical operations may lead to such conclusions made from the mathematical rendering that are impossible to interpret with respect to the given subject area. In this case, the application of the corresponding operations should be limited in such a way that it would be possible to deduce conclusions subject to interpretation. At first, these conclusions represent potentially new knowledge, and only subsequent studies show that they are not verifiable and, therefore, make no sense.

Analyzing the cybernetic model from the point of view of its meaning [1, p. 173], it should be noted that the object of the subject's abstractive activity is a certain logical structure, where a particular side of the system under study receives adequate rendering. This aspect of the adequacy of rendering has a completely different nature than the adequacy of rendering of inanimate objects or the ability of living organisms to reflect a certain realm of reality depending on the scope of their activities. Speaking about the essence of adequacy of the cybernetic model, N. T. Abramova [1] implies the possibilities of cybernetic theory to render a certain variety of properties of self-controlled systems. A model adequately renders the analyzed object to the same extent as the cybernetic model reveals the content and mechanisms of the information-control processes. In this case, adequacy appears as a certain correlation between knowledge about the object and the theory taken as the basis for the formation of this knowledge. As I. V. Kuznetsov has fairly noted [9, p. 118], no system of knowledge is absolutely adequate with regard to its object; it must satisfy the requirement of adequacy within its applicability and isomorphically render the group of interrelations of objects which has been identified and recorded.

Thus, the problem of adequacy resides in the analysis of special features of the relationship between the model which records certain knowledge of the object and the theory underlying the model. Cybernetic theory is not only a method of research, but also a vision that reflects the inner layers of specific scientific forms of knowledge. This vision and the corresponding logical and mathematical apparatus set certain properties of the object. All other properties are inherent in self-controlled systems. Building a cybernetic model, the researcher abstracts from all other aspects of the complex system [23, p. 74]. These model hypotheses, or models of indirect analogy, are then tested and elaborated in a series of experiments until a general law is formulated.

З. Пауль [12], может оказаться, что первоначальное математическое отображение описывает отражаемое явление хотя и адекватно (односторонне адекватно, потому что фиксируется только то, что поддается математическому отображению), однако с помощью этих формальнологических или математических операций из математического отображения могут быть сделаны выводы, не поддающиеся интерпретации в отношении данной предметной области. В таком случае следует ограничить применение соответствующих операций таким образом, чтобы из первоначального математического отображения могли быть выведены поддающиеся интерпретации следствия. Эти выводы на первых порах представляют собой потенциально новое знание. И лишь последующие исследования показывают, что они не верифицируемы и, следовательно, не имеют реального смысла.

Анализируя кибернетическую модель с точки зрения того содержания, которое в ней представлено, можно заметить [1, с. 173], что предметом абстрагирующей деятельности субъекта выступает некоторая логическая конструкция, в которой адекватное отображение получает заданная сторона исследуемой системы. Данный аспект адекватности отражения имеет совсем иное содержание, нежели адекватность отображения в неживой природе или способность живых организмов к отражению определенной сферы реальности в зависимости от сферы их деятельности. Говоря о сути адекватности кибернетической модели, Н. Т. Абрамова [1] имеет в виду возможности кибернетической теории отображать некоторое многообразие свойств самоуправляемых систем. В той степени, в какой кибернетическая модель раскрывает содержание и механизмы «информационно-управленческих» процессов, можно говорить, что эта модель адекватно отражает анализируемый объект. Адекватность в данном случае выступает как определенное соотношение между знанием об объекте и той теорией, на основе которой это знание сформировалось. Как справедливо заметил И. В. Кузнецов [9, с. 118], «никакая система знаний не является абсолютно адекватной объекту, она должна удовлетворять требованию адекватности в пределах своей применимости. Она должна изоморфно отражать ту группу взаимосвязей объектов, которая выявлена и зафиксирована».

Таким образом, проблема адекватности заключается в анализе специфики отношения между моделью, в которой зафиксировано некоторое знание об объекте, и теорией, лежащей в основании модели. Кибернетическая теория является не только определенным методом исследования, но и специфическим видением, отображающим внутренние слои частных научных форм знаний. Данное видение и соответствующий логико-математический аппарат задают определенные свойства объекта. Все иные стороны, присущие самоуправляемым системам. Строя кибернетическую модель, исследователь абстрагируется от всех других аспектов сложной системы [23, с. 74]. Эти модели-гипотезы, или модели непрямой анало-

As noted by V. S. Tyukhtin and S. N. Vovk [23, p. 75], the historically transient relative nature of the practice and any experiment resides in the fact that experimental data can not completely, absolutely accurately and profoundly prove the adequacy of a particular model or hypothesis. Adoption of a certain model on the basis of some experiments does not let us ignore the fact that the results of these observations may not contradict many other possible models. Hence it follows that approaching the most plausible, “most true” model can be achieved by choosing, or preferring, one of several competing models. This problem entails formulation and planning of the so-called discriminating experiments [10, Ch. 7]. In this case, the measurement results should not be invariant in relation to substitution of one of the competing models by another one. The choice of the most appropriate model as a result of discriminating experiments is carried out with the help of certain criteria.

As G. Gerts points out [5], it would be a simplification to reduce the model to the rendering or reproduction of the objects of research like V. S. Shtoff does [24, p. 19]. The process of scientific cognition takes place in different directions, and the functions of the model change accordingly. At that, the variety of the model’s functions noted in the complex process of cognition [5, p.17] implies different relations between the model and the rendering. When regarding a model as a rendered unity in the sense of a quasi-object, it does not feature the nature of rendering, but contains preliminary representations of the model by which the model is sought for or constructed. It reflects the relationship between the model and the object. As the result of the analysis of the model, theoretical ideas on model relationships are developed; within analogy, they serve as a rendering for the object; however, theoretical knowledge and models do not replace the theory of the object. Models in the sense of the project as quasi-theories, which represent the synthesis of the experimental and theoretically analyzed aspects, have a rendering nature.

As V. Kaziev of the Kabardino-Balkar State University highlights [7], algorithm testing implies proving the correctness or incorrectness of the algorithm’s operation with specific tests or test cases – problems with known input data and results (sometimes their approximations are sufficient). The test set should be minimal and complete, that is, providing testing of each individual type of sets of input data, particularly exceptional cases. Algorithm testing cannot give a 100% guarantee of the algorithm’s correctness for all possible sets of input data, especially for fairly complex algorithms. A complete guarantee of the algorithm’s correctness can be provided by the description of the algorithm’s operation and results with the help of the system of axioms and derivation rules,

затем проверяются и уточняются в серии экспериментов, пока мы не приходим к формулированию общего закона.

Как отмечают В. С. Тюхтин и С. Н. Вовк [23, с. 75], исторически переходящий относительный характер практики, любого эксперимента состоит в том, что экспериментальные данные не могут полностью, абсолютно точно и глубоко доказать адекватность той или иной модели, гипотезы. Принятие какой-то определенной модели на основе тех или иных экспериментов не отменяет того, что результаты данных наблюдений в принципе могут не противоречить и множеству других возможных моделей. Отсюда вытекает, что приближение к наиболее правдоподобной, «более истинной» модели может быть достигнуто путем выбора, или предпочтения, одной из нескольких конкурирующих моделей. Эта задача влечет постановку и планирование так называемых дискриминирующих экспериментов [10, гл. 7]. При этом результаты измерений, естественно, не должны быть инвариантны относительно замены одной из конкурирующих моделей другой. Выбор предпочтительной модели в результате дискриминирующих экспериментов осуществляется с помощью тех или иных критериев.

Как отмечает Г. Гёрц [5], было бы упрощением сводить модель, как это делает В.С. Штофф [24, с. 19], к отражению или воспроизведению объектов исследования. Процесс научного познания протекает в различных направлениях, и в зависимости от этого изменяются функции модели. При этом отмечаются различные функции модели в сложном процессе познания [5, с. 17], из чего вытекает и различное отношение модели к отражению. При рассмотрении модели в качестве единства отображения в смысле квазиобъекта не имеет характера отображения, но содержит предварительные представления о модели, по которым производятся поиски или конструирование модели. Она отражает связь между моделью и объектом. В результате анализа модели вырабатываются теоретические представления о модельных связях, которые в рамках аналогии имеют характер отражения и для объекта, однако, теоретические знания и модели не заменяют теорию объекта. Модели в смысле проекта как квазитеорий, представляющие уже синтез экспериментально и теоретически проанализированных существенных моментов, имеют характер отражения.

Как отмечает В. Казиев из Кабардино-Балкарского государственного университета [7], тестирование алгоритма — это проверка правильности или неправильности работы алгоритма на специально заданных тестах или тестовых примерах — задачах с известными входными данными и результатами (иногда достаточны их приближения). Тестовый набор должен быть минимальным и полным, то есть обеспечивающим проверку каждого отдельного типа наборов входных данных, особенно исключительных случаев. Тестирование алгоритма не может дать пол-

or by the algorithm verification. For simple algorithms, competent selection of tests and full testing can give a complete picture of their operability (or inoperability).

**THE ARTICLE AIM** is verification of operability of the algorithm and the computer program developed for modeling the FC dynamics, which allow performing calculations of the dynamics of the MTS with FC in order to improve the process of its designing.

**Basic material.** As noted by V.M. Kosenkov [8], when specifying the quantities and obtaining the solution of the problem, an error arises that is determined by the difference between the mathematical model and the modeled object. It should be taken into account in the process of solving the problem and analyzing the results. For calculations performed with the help of computer programs, the rounding error is usually negligible.

Testing of a program is a process of checking them with the help of computer tests [16]. Tests are sets of source data with the correct results supplied. A set of tests is structurally complete, if each alternative, each sequence and each cycle is performed one or more times in this set of tests.

Testing cannot guarantee the absence of errors in the programs. It can only be provided by a comprehensive analysis of the correctness of algorithms and programs. The analysis and proof of the correctness of algorithms and programs can and should be done after a structurally complete testing of programs on a computer.

Thus, the dispute about the use of the terms “verification” and “testing” with regard to computer programs shows that in this case, the latter is more appropriate, since the former is more applicable for proving the correctness of the experimental data.

When testing programs, solution of the problem on a computer has the number of stages, which are listed below [15].

1. Statement of the problem.
2. Determination of the methods of solution.
3. Development of algorithms.
4. Development of computer programs.
5. Debugging of the programs.
6. Obtaining the results.

Statement of the problem is a precise setting of the required results and the initial data of the problem. The results are considered correct if they meet the requirements of the objectives assigned; they are incorrect if they contradict the requirements.

To debug a program, one has to test its operability with some input data [7]. Thus, the input data should be somehow selected. Then, after running the program with the input data, one should compare the result obtained with that to be obtained if the program is working cor-

rectly (100%-ой) гарантией правильности алгоритма для всех возможных наборов входных данных, особенно для достаточно сложных алгоритмов. Полную гарантию правильности алгоритма может дать описание работы и результатов алгоритма с помощью системы аксиом и правил вывода или верификация алгоритма. Для несложных алгоритмов грамотный подбор тестов и полное тестирование может дать полную картину их работоспособности (либо неработоспособности).

**ЦЕЛЮЮ СТАТЬИ** является проверка работоспособности созданных алгоритма и компьютерной программы моделирования динамики ГС, позволяющих выполнять расчёты динамики МПС с ГС для совершенствования процесса проектирования МПС с ГС.

**Изложение основного материала.** При задании величин и получения решения задачи, как отмечает В.М. Косенков [8], возникает погрешность, определяемая отличием математической модели от моделируемого объекта, которую необходимо учитывать в процессе решения и при анализе результата. При вычислениях с помощью компьютерных программ погрешность округления обычно пренебрежимо мала.

Тестирование программ — это процесс проверки программ на ЭВМ с помощью тестов [16]. Тесты — это наборы тестовых исходных данных с перечнем правильных результатов. Набор тестов структурно полный, если при этом выполняется каждая альтернатива, каждая последовательность и каждый цикл один или несколько раз.

Тестирование не может гарантировать отсутствие ошибок в программах. Гарантии отсутствия ошибок может дать только исчерпывающий анализ правильности алгоритмов и программ. Анализ и доказательств правильности алгоритмов и программ можно и нужно проводить после структурно полного тестирования программ на ЭВМ.

Таким образом, спор о правомерности использования термина «верификация» или «тестирование» компьютерных программ показывает, что в данном случае более целесообразно применение термина «тестирование», т. к. термин «верификация» более применим в случае подтверждения истинности экспериментальных данных.

При тестировании программ на ЭВМ основные этапы решения задач следующие [15]:

1. Постановка задачи.
2. Определение методов решения.
3. Составление алгоритмов.
4. Написание программ для ЭВМ.
5. Отладка программ на ЭВМ.
6. Получение результатов на ЭВМ.

Постановка задачи — точное и четкое определение требуемых результатов и исходных условий в задаче. Результаты правильные, если они отвечают требованиям поставленных задач, и результаты неправильные, если они противоречат поставленным требованиям.

rectly. This is the essence of testing. If the result obtained differs from the reference one, the test is considered successful, as it helped to detect the error. If the answer coincides with the correct one, it should not be considered indicative. One test cannot verify the entire program completely, since the error could be contained in the part not involved in the test run. Testing the entire program and checking all the special cases possible requires not a single test but a set of tests.

The testing plan usually includes the six stages listed below.

1. Comparison of the program with the algorithm scheme.

2. Visual control of the program on the display screen or visual examination of the program printout and its comparison with the original of the program sheet. The first two stages of testing can eliminate most errors, both syntactic and semantic ones; the latter is very important, as it allows avoiding their search in the process of further debugging, which is quite time-consuming.

3. Translation of the program into machine language. At this stage, syntax errors are detected. Compilers from the C and Pascal languages provide a diagnostic message about syntax errors in the program listing.

4. Editing of external links and program packaging. At the stage of editing of the external links of program modules, the external link editor or task builder detects such syntax errors as the mismatch of the number of parameters in the description of the subprogram and in its call, calling a nonexistent standard program, etc.

5. Running of the program. After elimination of the syntax errors discovered by the translator and the external link editor (task builder), the next stage is execution of the program on the computer in the machine language. The program is loaded into the random access memory, the input data are set, and the calculation begins. The occurrence of errors in the process of the data input or in the process of calculation leads to interruption of the latter and showing a notification about it. Errors necessitate debugging; the absence of an error message does not mean their absence in the program. The testing plan includes checking the correctness of the results obtained for any valid values of the input data.

6. Testing the program. If the program runs successfully, it is preferable to conclude with testing with the input data which assume the values threshold for the program or exceeding the allowable limits.

Test cases (tests) are specially selected problems, the solutions of which are known in advance or can be determined without substantial expenses.

Let us consider the results of testing of the mathematical model of the dynamics of the MTS with FC [19,

Для отладки программы, нужно проверить ее работоспособность на каких-то входных данных [7]. Следовательно, эти входные данные должны быть каким-то образом подобраны. Затем, после выполнения программы на этих входных данных, нужно сравнить полученный результат с тем, который должен получиться, если программа работает правильно. Этот процесс и называется тестированием. Если полученный результат отличается от эталонного, то тест считается удачным, потому что он помог обнаружить ошибку. А если полученный ответ совпал с правильным — радоваться рано. Один тест не может полностью проверить всю программу, ошибка вполне могла затаиться в той части, которая осталась на сей раз невыполненной. Для того чтобы протестировать всю программу, проверить все возможные частные случаи, составляют не один тест, а набор тестов.

В план тестирования обычно входят следующие этапы:

1. Сравнение программы со схемой алгоритма.

2. Визуальный контроль программы на экране дисплея или визуальное изучение распечатки программы и сравнение ее с оригиналом на программном бланке. Первые два этапа тестирования способны устранить большее количество ошибок как синтаксических (что не так важно), так и семантических (что очень важно, так как позволяет исключить их трудоемкий поиск в процессе дальнейшей отладки).

3. Трансляция программы на машинных языках. На этом этапе выявляются синтаксические ошибки. Компиляторы с языков Си, Паскаль выдают диагностическое сообщение о синтаксических ошибках в листинге программы.

4. Редактирование внешних связей и компоновка программы. На этапе редактирования внешних связей программных модулей программа-редактор внешних связей или компоновщик задач обнаруживает такие синтаксические ошибки, как несоответствие числа параметров в описании подпрограммы и обращении к ней, вызов несуществующей стандартной программы.

5. Выполнение программы. После устранения обнаруженных транслятором и редактором внешних связей (компоновщиком задач) синтаксических ошибок переходят к следующему этапу — выполнению программы на ЭВМ на машинном языке: программа загружается в оперативную память, в соответствии с программой вводятся исходные данные и начинается счет. Проявление ошибки в процессе ввода исходных данных или в процессе счета приводит к прерыванию счета и выдаче диагностического сообщения рабочей программы. Проявление ошибки дает повод для выполнения отладочных действий; отсутствие же сообщений об ошибках не означает их отсутствия в программе. План тестирования включает при этом проверку правильности полученных результатов для каких-либо допустимых значений исходных данных.



21, 22]. A steel tether with the diameter of 25 mm, length of 141 m and mass per unit length of 3.5 kg/m is attached to the buoy with the mass of 100 kg with its root end and to the anchor at the depth of 100 m with its running end. The buoy's hydrodynamic drag is equal to zero, and the seafloor is flat and has a constant depth. The Young's modulus of the tether is assumed equal to 109 Pa. The normal coefficient of resistance of the tether is equal to 1. At the start time, the tether has a rectilinear shape with a slope to the side opposite to the sea current with the velocity of 1 m/s along the meridian from south to north.

At the moment  $t = 0$ , the buoy with the tether is released and begins to move under the action of gravity and sea current. Fig. 1 shows the positions of the tether and the buoy at certain moments of time (in seconds).

Distribution of the tether's tension loading along its length at different moments of time is shown in Fig. 2.

( $S$  is the coordinate along the tether's length, from its root end to its running end)

Testing of the MTS mathematical model and the calculation algorithm [20, 22] is performed with the use of examples of the stationary towing mode of three kinds of tethered systems. The developed mathematical model [19] is ultimately intended for the solution of non-stationary problems of the MTS dynamics. Stationary towing modes are determined as the result of the completion of mathematical modeling of a non-stationary process of the system's transition from the initial position (the FC is hung on the CV vertically in the direction of the  $Z$  axis) to its steady state. The principle of "inversion of the impact" has been used to simplify modeling of the tethered system's steady state. According to this principle, it is assumed that the elements of the system are not moving, the flow of water comes at them with a velocity equal to the velocity of the CV movement and in the opposite direction. The examples of testing are presented below.

**Tethered system 1.** Let us consider the calculation example from the book by B.A. Bugayenko [3, p. 144–146]. The carrier vessel (CV) is connected to the towed vehicle (TV) with a tether of the diameter of 30 mm, length of 400 m, rigidity of  $6.75 \cdot 10^7$  N, and mass per unit length of 1.43 kg/m. The towing scheme is shown in Fig. 3.

A stabilizing section of an additional zero-buoyancy tether is connected to the TV, creating the effort ( $F_{TV}$ ) of 1 kN at the towing speed of 3 m/s. The TV has the form of a circular cylinder with the diameter of 0.8 m, length of 2 m, and mass of 1030.44 kg, which ensures its zero buoyancy. The coefficient of resistance is  $C_x = C_z = 0.77$  for the TV and  $C_n = 1.35$ ,  $C_\tau = 0.04$  for the tether.

Fig. 4 shows the tether line calculated in [22] with no regard to the hydrodynamic drag of the tether (purple

6. Тестирование программы. Если программа выполняется успешно, желательно завершить ее испытания тестированием при задании исходных данных, принимающих предельные для программы значения, а также выходящие за допустимые пределы значения на входе.

Контрольные примеры (тесты) — это специально подобранные задачи, результаты которых заранее известны или могут быть определены без существенных затрат.

Рассмотрим результаты тестирования математической модели динамики МПС с ГС [19, 21, 22]. Стальной трос диаметром 25 мм, длиной 141 м и погонной массой 3,5 кг/м, прикреплен коренным концом к бую массой 100 кг (гидродинамическое сопротивление бую равно нулю), а ходовым — к якорю на глубине 100 м (дно моря плоское и постоянной глубины). Модуль Юнга троса принят равным 109 Па. Нормальный коэффициент сопротивления троса равен 1. В начальный момент времени трос имеет прямолинейную форму с наклоном в сторону, противоположную морскому течению со скоростью 1 м/с вдоль меридиана с юга на север.

В момент времени  $t = 0$  буй с тросом освобождается и начинает движение под действием силы тяжести и морского течения. На рис. 1 показаны положения троса и бую в определённые моменты времени (в секундах).

Распределение силы натяжения троса по его длине в разные моменты времени изображено на рис. 2.

Тестирование математической модели МПС и алгоритма расчёта [20, 22] выполнено на примерах стационарного режима буксировки трёх видов привязных систем. Разработанная математическая модель [19] предназначена, прежде всего, для решения нестационарных задач динамики МПС. Стационарные режимы буксировки определены в результате завершения математического моделирования нестационарного (переходного) процесса системы от начального положения (ГС подвешена на СН вертикально в направлении оси  $Z$ ) до её установившегося состояния. Для упрощения моделирования установившегося состояния привязной системы использовали принцип «обращения воздействия», элементы системы считали неподвижными, а на них набегал поток воды со скоростью, равной скорости движения СН и противоположной по направлению. Рассмотрим примеры тестирования.

**Привязная система 1.** На примере расчёта из книги Бугаенко Б. А. [3, с. 144–146]. Судно-буксировщик (СБ) соединено с буксируемым носителем (БН) кабель-буксиром диаметром 30 мм, длиной 400 м, жёсткость кабель-буксира —  $6,75 \cdot 10^7$  Н, погонная масса — 1,43 кг/м. Схема буксировки показана на рис. 3.

К БН присоединён стабилизирующий участок дополнительного каната нулевой плавучести, создающий при скорости буксировки 3 м/с усилие ( $F_{БН}$ ) 1 кН. БН представляет собой круговой цилиндр

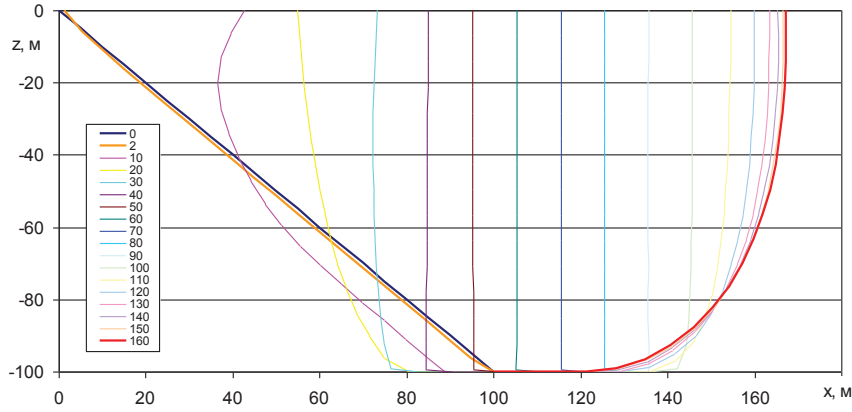


Fig. 1. Position of the tether buoy and the tether at different moments of time

Рис. 1. Положение буя на тросе и троса в различные моменты времени

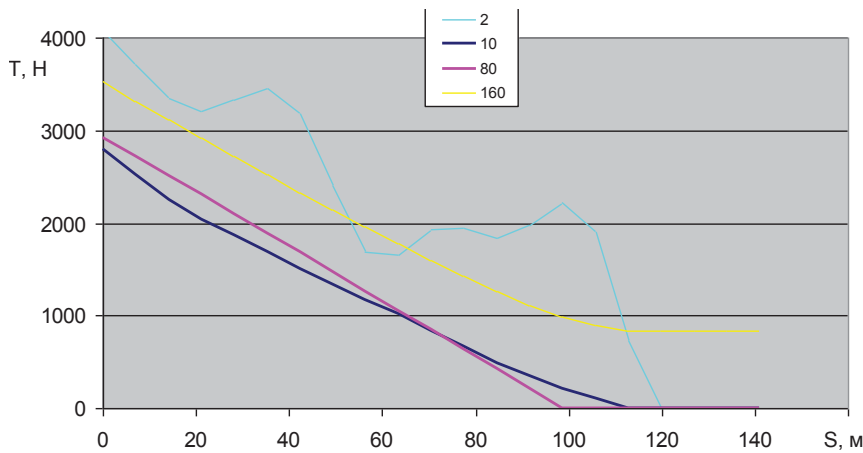


Fig. 2. Distribution of the force of tension along the tether's length at different moments of time (S is the coordinate along the tether's length, from its root end to its running end)

Рис. 2. Распределение силы натяжения троса по его длине в разные моменты времени (S — координата вдоль троса от коренного конца к ходовому)

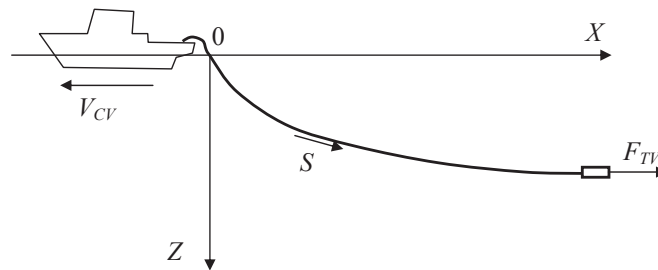


Fig. 3. Towing scheme

Рис. 3. Схема буксировки:

$V_{CV}$  (eng.) —  $V_{CH}$  (ru);  $F_{TV}$  (eng.) —  $F_{BH}$  (ru)

line in the graph), as well as the lines computed with the use of the developed model with no regard to the hydrodynamic drag of the tether (blue line) and accounting for it (red line).

Fig. 5 shows the distribution of the force of tension along the tether in the direction of the coordinate S (the chart legend in Fig. 5 is the same as that in Fig.4).

Fig. 4 and 5 indicate that the modeling results are consistent with the calculations given in [3] with no re-

диаметром 0,8 м, длиной 2 м, массой 1030,44 кг, при которой обеспечивается его нулевая плавучесть. Коэффициенты сопротивления БН  $C_x = C_z = 0,77$ , кабель-буксира  $C_n = 1,35$ ,  $C_\tau = 0,04$ .

На рис. 4 показана линия кабель-буксира, рассчитанная в работе [22] без учёта гидродинамического сопротивления кабель-буксира (лиловая линия), а также линии, рассчитанные по разработанной модели без учёта гидродинамического сопротивления кабель-буксира (синяя линия) и с его учётом (красная линия).

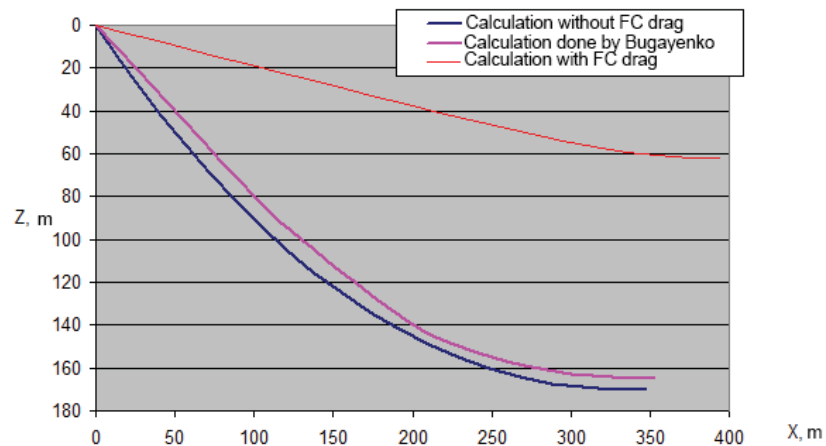


Fig. 4. Tether line calculated in [3] with no regard to the hydrodynamic drag of the tether

Рис. 4. Линия кабель-буксира рассчитанная в работе [3] без учёта гидродинамического сопротивления кабель-буксира  
*Calculation without FC drag* — расчет без сопротивления ГС; *Calculation done by Bugayenko* — расчет Бугаенко; *Calculation with FC drag* — расчет с сопротивлением ГС

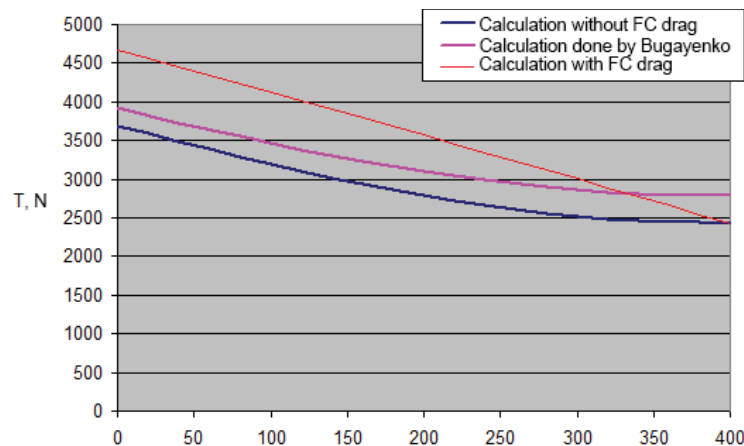


Fig. 5. Distribution of the force of tension along the tether in the direction of the coordinate *S*

Рис. 5. Распределение силы натяжения вдоль кабель-буксира в направлении координаты *S*  
*Calculation without FC drag* — расчет без сопротивления ГС; *Calculation done by Bugayenko* — расчет Бугаенко; *Calculation with FC drag* — расчет с сопротивлением ГС

gard to the hydrodynamic drag of the tether. In mathematical modeling, taking it into account leads to a decrease in the depth of its immersion, which complies with the physical laws.

**Tethered system 2.** Let us consider the calculation example from the article by S. N. Nuzhnyy [11, p. 101–103]. The towing scheme is shown in Fig. 6.

In contrast to the towing scheme shown in Fig. 3, publication [11] concerns a TV with its own propeller; its thrust assumed values of 50, 100, 150 and 250 N in the direction of the TV movement with the velocity of 0.8 m/s at the immersion angle of 30° with respect to the *X* axis. The tether diameter is 12 mm, and its length is 100 m.

Fig. 7 shows the tether line calculated in [11], as well as the lines calculated with the help of the developed model.

На рис. 5 показано распределение силы натяжения вдоль кабель-буксира в направлении координаты *S* (обозначения на рис. 5 аналогичны обозначениям на рис. 4).

Из рис. 4 и 5 следует, что результаты моделирования согласуются с расчётами, приведёнными в [3] без учёта гидродинамического сопротивления кабель-буксира. Учёт сопротивления кабель-буксира при математическом моделировании приводит к уменьшению глубины его погружения, что соответствует физическим законам.

**Привязная система 2.** На примере расчёта из статьи С.Н. Нужного [11, с.101–103]. Схема буксировки показана на рис. 6.

В отличие от схемы буксировки, показанной на рис. 3, в [11] использован БН с собственным движителем, упор которого принимал значения 50, 100, 150 и 250 Н в направлении движения СБ со скоростью

Fig. 8 shows distribution of the force of tension along the tether in the direction of the coordinate  $S$  (the legend of the graph is provided).

Fig. 7 and 8 demonstrate that the modeling results are consistent with the calculations given in [11] as for both the shape of the tether profile and the magnitude of the tension loading of the tether near the TV ( $S = 100$  m).

**Tethered system 3.** Let us consider the calculation example given in the article written by G. V. Babkin [2] (Fig. 2 and Tables 1 and 2 employ the data provided by the author). It shows a TV with its own propeller. The propeller's thrust ( $F_x$ ) in the direction of the TV movement at the speed of 0.5 m/s and the immersion force ( $F_z$ ) are given in Table 2 [2]. The tether diameter is 12 mm, and its length is 100 m. The towing scheme is shown in Fig. 9.

Fig. 10 shows the tether line calculated in [2], as well as those calculated according to the developed model.

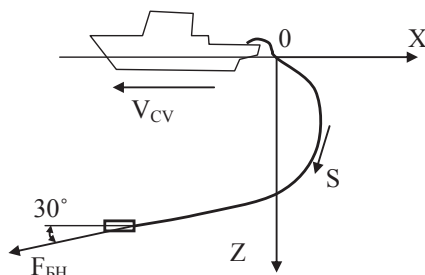
0,8м/с под углом заглубления  $30^\circ$  по отношению к оси  $X$ . Диаметр кабель-троса 12мм, а его длина 100м.

На рис. 7 показаны линия кабель-троса рассчитанная в работе [11], а также линии, рассчитанные по разработанной модели.

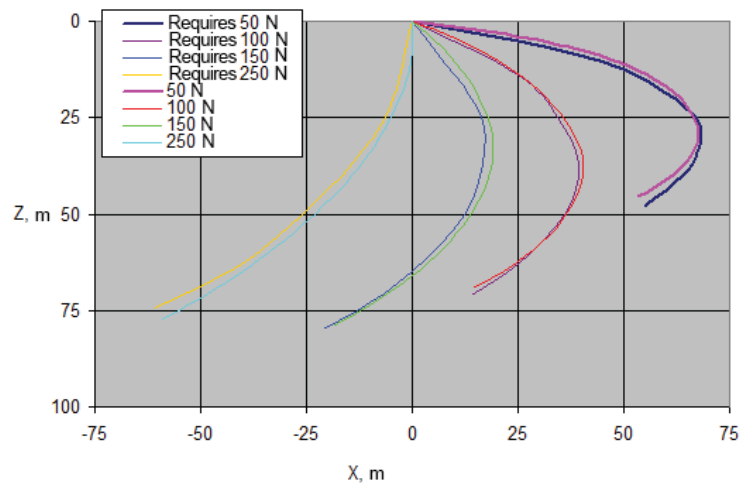
На рис. 8 показано распределение силы натяжения вдоль кабель-троса в направлении координаты  $S$  (обозначения показаны на рисунках).

Из рис. 7 и 8 следует, что результаты моделирования согласуются с расчётами, приведёнными в [11] как по форме профиля кабель-троса, так и по величине силы натяжения троса возле БН ( $S = 100$ м).

**Привязная система 3.** На примере расчёта из статьи Г.В. Бабкина [2] (использованы данные, приведённые автором на рис. 2 и в табл. 1 и 2). Использован БН с собственным движителем, упор ( $F_x$ ) которого в направлении движения СБ со скоростью 0,5 м/с и заглубляющая сила ( $F_z$ ) заданы в таблице 2 [2]. Диаметр кабель-троса 12 мм, а его длина 100м. Схема буксировки показана на рис. 9.

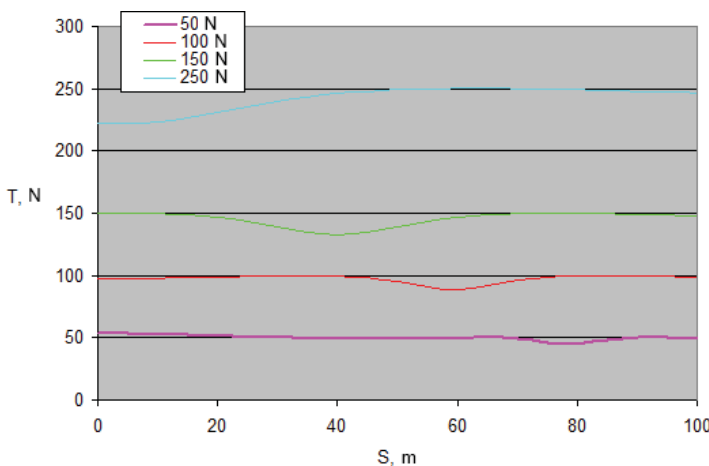


**Fig. 6.** Towing scheme  
**Рис. 6.** Схема буксировки

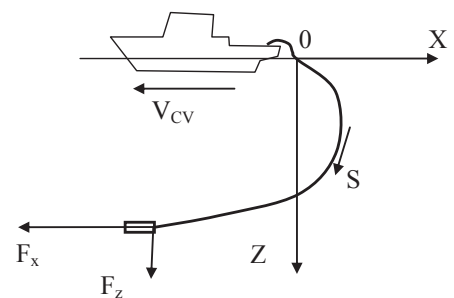


**Fig. 7.** Tether line calculated in [11] and the lines calculated according to the developed model

**Рис. 7.** Линия кабель-троса, рассчитанная в работе [11], а также линии, рассчитанные по разработанной модели



**Fig. 8.** Distribution of the force of tension along the tether  
**Рис. 8.** Распределение силы натяжения вдоль кабель-троса



**Fig. 9.** Towing scheme  
**Рис. 9.** Схема буксировки

Fig. 11 shows the distribution of the force of tension along the tether in the direction of the coordinate  $S$ , which was obtained as a result of mathematical modeling. It also shows the modulus of tether tension loading near the TV ( $S = 100$  m) from publication [2] (the legend of the graph is provided).

It follows from Fig. 10 and 11 that the modeling results are consistent with the calculations given in [2] both in the form of the tether profile and in the magnitude of the tether tension load near the TV ( $S = 100$  m).

**CONCLUSION.** The computer program of the model of the dynamics of a marine tethered system (MTS) has been tested. The tests showed the program's operability, allowed for its debugging and subsequent application in practical calculation of the parameters of the MTS with the FC.

На рис. 10 показаны линия кабель-троса, рассчитанная в работе [2], а также линии, рассчитанные по разработанной модели

На рис. 11 показано распределение силы натяжения вдоль кабель-троса в направлении координаты  $S$ , полученное в результате математического моделирования и модуль силы натяжения кабель-троса возле БН ( $S = 100$  м) из работы [2] (обозначения показаны на рисунках).

Из рис. 10 и 11 следует, что результаты моделирования согласуются с расчётами, приведёнными в [2] как по форме профиля кабель-троса, так и по величине силы натяжения троса возле БН ( $S = 100$  м).

**ВЫВОДЫ.** Проведено тестирование компьютерной программы модели динамики (МПС), которое показало работоспособность программы, позволило отладить её и использовать в дальнейшем для проведения практических расчётов параметров МПС с ГС.

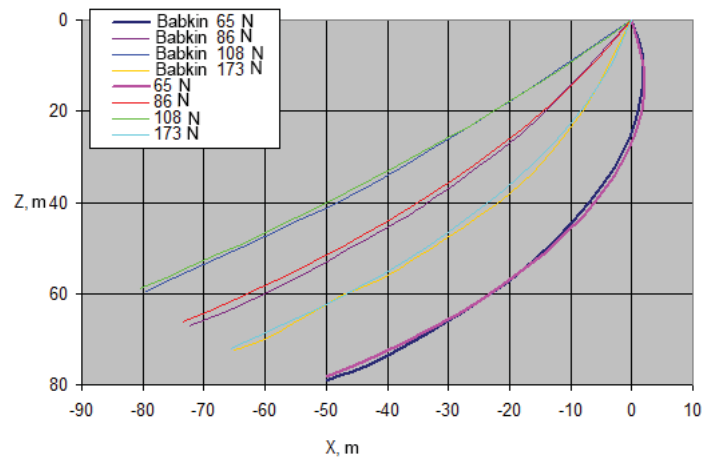


Fig. 10. Tether line calculated in [2] and the lines calculated according to the developed model

Рис. 10. Линия кабель-троса, рассчитанная в работе [2], а также линии, рассчитанные по разработанной модели

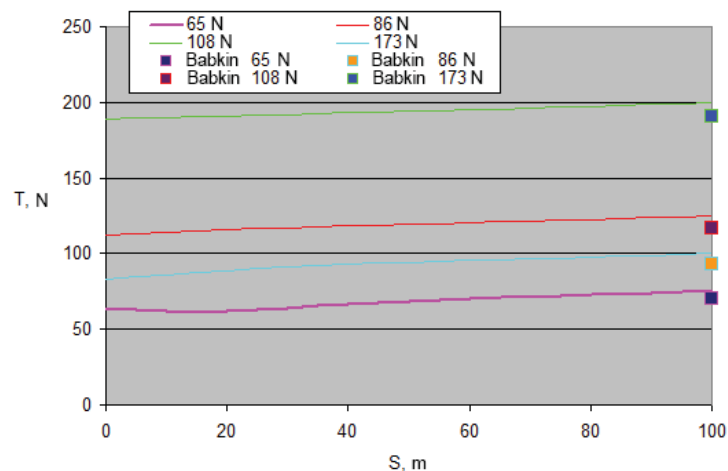


Fig. 11. Distribution of the force of tension along the tether in the direction of the coordinate  $S$  (obtained as a result of mathematical modeling)

Рис. 11. Распределение силы натяжения вдоль кабель-троса в направлении координаты  $S$ , полученное в результате математического моделирования

## Список 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] **Бабкин Г. В.** Оценка энергетических характеристик двухзвенной привязной подводной системы с бум-отводителем [Текст] / Г. В. Бабкин // II Міжнародна НТК «Проблеми енергозбереження і екології суднобудування». — Миколаїв, УДМУ, 1998.
- [3] **Бугаенко Б. А.** Динамика судовых спускоподъемных операций [Текст] / Б. А. Бугаенко // К. : Наукова думка, 2004. — 320 с.
- [4] **Формальная верификация** [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Формальная\\_верификация](https://ru.wikipedia.org/wiki/Формальная_верификация).
- [5] **Гёрц Г. С.** Соотношение между экспериментом, моделью и теорией в процессе естественного познания [Текст] / Г. С. Гёрц // Эксперимент. Модель. Теория : [сб. статей]. — АН СССР. Ин-т философии. — М. : Наука, 1982. — 333 с.
- [6] **Загнітко А. П.** Великий тлумачний словник. Сучасна українська мова [Текст] / А. П. Загнітко, І. А. Щукіна. — Донецьк: ТОВ ВКФ «БАО», 2008. — 704 с.
- [7] **Казиев В. М.** Введение в информатику: Лекции. Методы разработки и анализа алгоритмов. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [www.intuit.ru/intuituser/userpage/v\\_m\\_kaziev](http://www.intuit.ru/intuituser/userpage/v_m_kaziev).
- [8] **Косенков В. М.** Краткий курс лекций по численным методам [Текст] : учебное пособие / В. М. Косенков — Николаев : НУК, 2012. — 73 с.
- [9] **Кузнецов И. В.** О соотношении структуры научной теории и структуры объекта [Текст] / И. В. Кузнецов // Очерки истории и теории науки. М., 1969.
- [10] **Налимов В. В.** Логические основания планирования эксперимента [Текст] / В. В. Налимов, Т. И. Голикова. — М. : Metallurgia, 1976. — 348 с.
- [11] **Нужный С. Н.** Особенности проектирования кабель-тросов для самоходных привязных подводных аппаратов [Текст] / С. Н. Нужный // Республіканський міжвідомчий науково-технічний збірник електричного машинобудування та електрообладнання. — Одеса, 1998. — 224 с.
- [12] **Пауль З.** Эвристическая функция математики в процессе научного познания. [Текст] / З. Пауль // Эксперимент. Модель. Теория : [сб. статей]. — АН СССР. Ин-т философии. — М. : Наука, 1982. — 333 с.
- [13] Словарь иностранных слов. — 18-е изд., стер. — М.: Рус. яз., 1989. — 624 с.
- [14] Словарь по кибернетике. [Текст] / под ред. академика В. С. Михалевича. — изд. 2-е, перераб. и доп. — Киев: Главная редакция Украинской Советской Энциклопедии имени М. П. Бажана, 1989. — 751 с.
- [15] **Соловьев С. В.** Технология разработки прикладного программного обеспечения [Текст] / С. В. Соловьев, Р. И. Цой, Л. С. Гринкруг. — М.: Академия Естествознания, 2011 — Режим доступа: <http://express.rae.ru>.
- [16] Тестирование программ на ЭВМ. Основные этапы решения задач на ЭВМ [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [www.intuit.ru/intuituser/userpage/v\\_m\\_kaziev](http://www.intuit.ru/intuituser/userpage/v_m_kaziev).
- [17] **Трунин Ю. Н.** Управленческие решения [Текст]: учебное пособие для вузов / Ю. Н. Трунин, Ю. С. Масленченков. — М.: ЮНИТИ – ДАНА, 2004. — 310 с.
- [18] **Трунин, К. С.** Классификация морских привязных систем [Текст] / К. С. Трунин // Зб. наук. праць Севастопольського військово-морського ордену Червоної Зірки ін-ту ім. П. С. Нахімова. — Севастополь : СВМІ ім. П. С. Нахімова, 2009. — Вип. 1 (16). — С. 77–89.
- [19] **Трунин, К. С.** Математическая модель гибкой связи в составе морской привязной системы [Текст] / К. С. Трунин // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції. — Миколаїв : НУК, 2015. — С. 300–304.
- [20] **Трунин, К. С.** Алгоритм моделирования динамики морской привязной системы с гибкой связью [Текст] / К. С. Трунин // Підводна техніка і технологія: Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю: в 2 ч. — Миколаїв : НУК, 2014. — Ч. 1. — С. 36–42.
- [21] **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.
- [22] **Трунин, К. С.** Тестирование компьютерной программы модели 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. 298–303.
- [23] **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. — 333 с.
- [24] **Штофф В. С.** Моделирование и философия. [Текст] / В. С. Штофф. // Эксперимент. Модель. Теория : [сб. статей]. — АН СССР. Ин-т философии. — М. : Наука, 1982. — 333 с.

© К. С. Трунин

Статью рекомендует в печать  
д-р экон. наук, проф. В. С. Блинцов