

3. *Ebada A.* Intelligent techniques-based approach for ship maneuvering simulations and analysis (Artificial Neural Networks Application): Doktor-Ing. genehmigte Dissertation, Institute of Ship Technology und Transport Systems / A. Ebada. — Germany. — 2007. — 156 p.
4. *Moreira L.* Dynamic model of maneuverability using recursive neural networks / L. Moreira, C. G. Soares // *Ocean Engineering*. — 2003. — Vol. 30. — P. 1669–1697.
5. *Zak B.* Modelling of ship's motion using artificial neural networks / B. Zak, J. Malecki, Z. Kitowski // *Advances in Neural Networks and Applications*, World Scientific and Engineering Society Press. — 2001. — P. 298–303.
6. *Ведякова А. О.* Идентификация в условиях внешнего возмущения с использованием нейронных сетей / А. О. Ведякова // *International Journal of Open Information Technologies*. — 2014. — Vol. 2. — № 3. — P. 18–22.
7. *Ning W.* A Novel Vessel Maneuvering Model via GEBF Based Fuzzy Neural Networks / W. Ning, W. Dan, L. Tieshan // *Proceedings of the 31st Chinese Control Conference*, July 25–27, Hefei, China. — 2012. — P. 7026–7031.
8. *Valcic M.* Anfis Based Model for Ship Speed Prediction / M. Valcic, R. Antonic, V. Tomas // *Brodo Gradnja*. — 2011. — 62 (4). — P. 373–382.
9. *Дерябин В. В.* Модель движения судна в горизонтальной плоскости / В. В. Дерябин // *Транспортное дело России*. — 2013. — № 6. — С. 60–67.
10. *Леоненков А. В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 736 с.
11. *Дерябин В. В.* Адаптивные алгоритмы фильтрации в задаче прогноза координат места судна / В. В. Дерябин // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2014. — № 1 (23). — С. 12–19.

УДК [656.052.55+629.5.035]:629.5.018.71:004.4.942

С. А. Агарков,
д-р экон. наук, проф.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ТАНКЕРА В УСЛОВИЯХ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК

TANKER MOTION MODELING RESULTS ANALYSIS UNDER THE WIND

Актуальность исследований в области совершенствования способов управления судном подтверждается большим количеством статей, публикуемых исследователями в этой области. В данной статье рассматривается компьютерное моделирование маневров неуправляемого танкера в условиях действия ветра как предварительный этап исследований принципа управления танкером при помощи отклонений двух разнесенных точек диаметральной плоскости танкера от линии, называемой прицельной. Показаны возможности моделирующей программы. Представленные результаты моделирования позволяют сделать вывод о том, что предложенная компьютерная система способна моделировать выполняемые танкером операции и пригодна для дальнейших исследований.

The relevance of research in the field of improving vessel control methods confirmed by a large number of articles published by researchers in the area. This article describes computer simulation exercises are not operated tanker under the action of the wind. This is a preliminary phase of research of the management principle tanker using deviations of two separated points of the center plane of the tanker from the line, called the sighting. Features of simulator had been demonstrated. Presented simulation results lead to the conclusion that the proposed computer system can simulate the operations performed by the tanker, and is suitable for further studies.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, моделирование движения судна, влияние ветра, моделирование подруливающего устройства, математическая модель.

Key words: computer modeling, vessel motion modeling, wind effect, thruster modeling, mathematical model.

Введение

При решении задач, связанных с совершенствованием способов и методов выполнения швартовных операций, на наш взгляд, следует, прежде всего, обратить внимание на методы и способы применения современных компьютерных технологий на базе существующих технических средств, используемых в судовождении. В данном случае имеются в виду судовые технические средства, позволяющие осуществлять непрерывный контроль за основными кинематическими и динамическими параметрами движения судна. На основании этой информации можно управлять судном в соответствии с заданными сигналами управления, которые рассчитываются по выработанным алгоритмам, исходя из обстоятельств, складывающихся в процессе маневрирования.

Инновационный принцип управления по отклонениям носовой и кормовой точек судна от некоторой линии, которая далее называется *прицельной* [1], [2], требует проверки его работоспособности. Эту проверку можно провести только с использованием математического и компьютерного моделирования. Рассмотрим применение такого моделирования в частном случае движения танкера с целью демонстрации возможностей разработанной программы. Данный способ управления судном уже был продемонстрирован в работах [3] – [8], но при моделировании иных операций.

Основная часть

Прежде чем исследовать движения танкера в условиях управления по отклонениям, смоделируем движения танкера лагом в условиях внешних воздействий. При этом лаговые движения не протекают в течение длительного времени. Возникший вращающий момент разворачивает судно и далее оно движется иным образом, т. е. не лагом. Для танкера это характерно, так как его центр парусности смещен в корму относительно плоскости мидель-шпангоута за счет значительной площади парусности кормовой надстройки. Для рассматриваемого в данной работе танкера (проект ASC-6500), находящегося в грузу, указанное смещение в корму достигает примерно 14 м. Поэтому именно система управления по отклонениям должна обеспечить поступательное движение лагом для осуществления правильной швартовки танкера.

Проведем ряд модельных экспериментов при действии ветра и работе двух подруливающих устройств танкера при постоянном режиме их нагрузки в процессе движения. На рис. 1 – 4 показаны траектория и положение на ней танкера в различные моменты движения. В данном случае на танкер оказывает действие ветер, скорость которого составляет 10 м/с с направления 330°, при этом начальный курс танкера 60°, в работе находятся два подруливающих устройства — носовое и кормовое, обеспечивающих постоянную суммарную тягу 40 кН (2×20 кН) в направлении правого борта.

На рис. 1 показана траектория танкера (слева) в описанных ранее условиях и положение танкера (справа) на 205 с движения. Синий кружок на траектории – место центра тяжести танкера в указанное время. На рис. 2 приведены те же данные для 440 с движения. Хорошо виден разворот танкера под действием приложенных усилий от ветра и подруливающих устройств. Аналогичными являются рис. 3 и 4 для моментов времени 1223 с и 1698 с соответственно.

Примечание. На рис. 1 – 4 оранжевой линией на правом поле обозначено направление движения ЦТ танкера, т. е. направление касательной к траектории в данный момент времени.

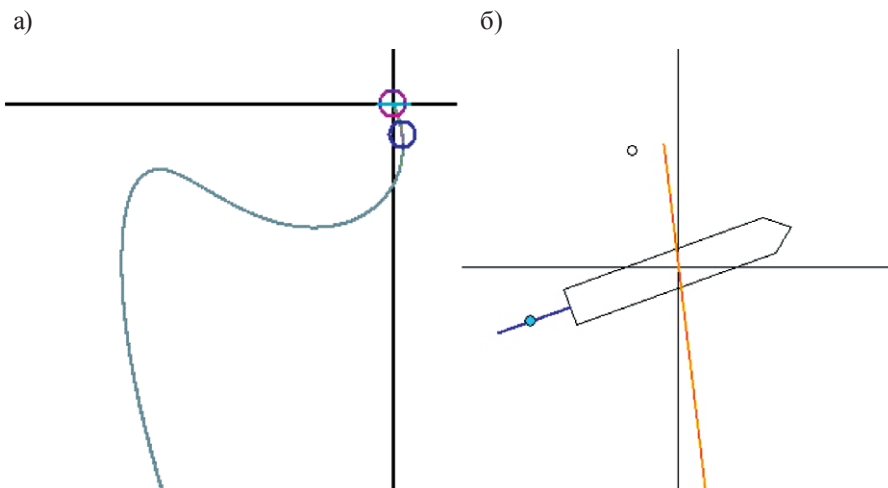


Рис. 1. Траектория (а) и положение (б) на ней танкера на 205-й секунде движения

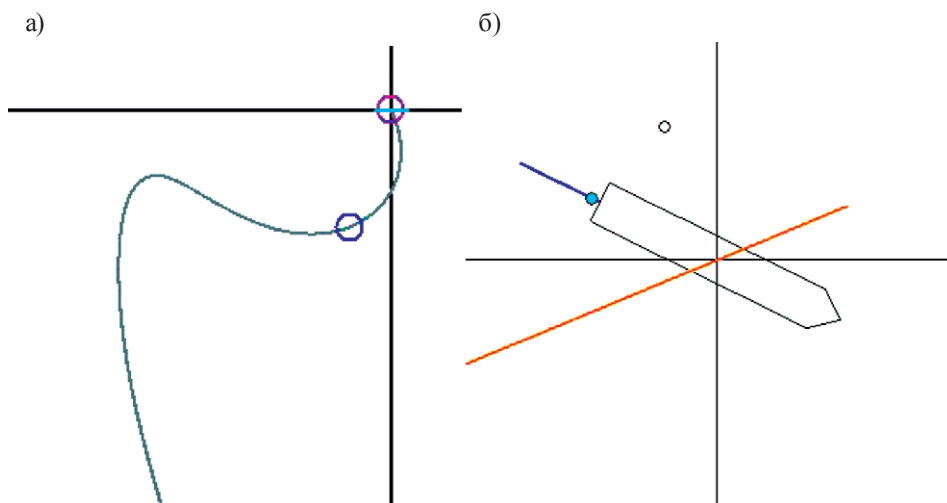


Рис. 2. Траектория (а) и положение (б) на ней танкера на 440-й секунде движения

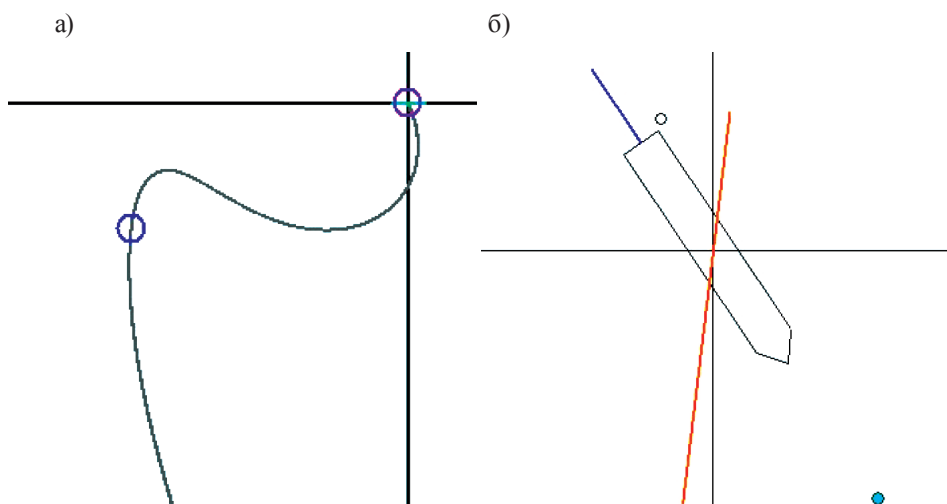


Рис. 3. Траектория (а) и положение на ней танкера (б) на 1223-й секунде движения

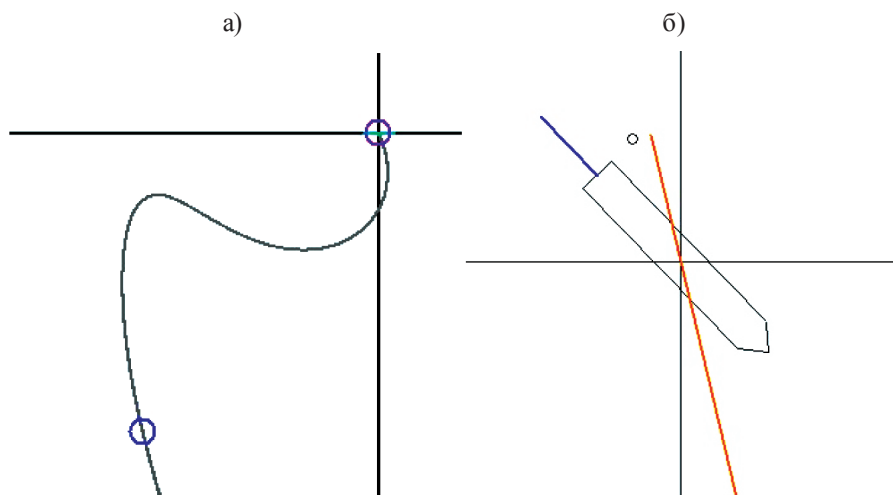


Рис. 4. Траектория (а) и положение (б) на ней танкера на 1698-й секунде движения

Рассмотрим, как изменяются траектории движения танкера при вариациях действующих усилий. Для этого проведено моделирование с изменением силы ветра и тяговых усилий подруливающих устройств. Результаты таких изменений траекторий приведены на рис. 5 и 6.

На рис. 5 приведены три траектории танкера при разной силе ветра с направления 330° или с направлением ветрового усилия. Ветровое усилие и тяги ПУ таковы, что танкер поворачивается по часовой стрелке под действием вращающего момента. По мере поворота эффективность действия ПУ уменьшается, направление тяги составляет угол, близкий к 90° с направлением ветрового усилия, и танкер начинает дрейфовать по линии ветра с установившейся скоростью 0,6 м/с, 0,9 м/с и 1,4 м/с при скорости ветра 10 м/с, 15 м/с и 20 м/с соответственно. Чем выше скорость ветра, тем короче первый, переходный этап движения танкера.

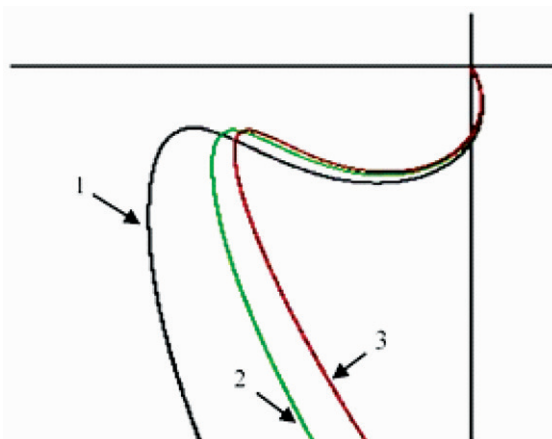


Рис. 5. Траектории танкера при различных значениях ветра: 1 — 10 м/с; 2 — 15 м/с; 3 — 20 м/с и тяге по 20 кН в сторону правого борта

На рис. 6 приведены четыре траектории танкера при силе ветра 10 м/с с направления 330° и различных значениях суммарной тяги ПУ. Эти траектории соответствуют следующим значениям суммарной тяги: 0 кН, 20 кН, 30 кН и 40 кН (нижние части траекторий, расположенные справа налево (1 – 4)). Характер траекторий такой же, как и при смене силы ветра. Переход к установившейся части траектории происходит тем быстрее, чем меньше суммарная тяга, т.е. быстрее всего на траектории 4, когда действует только ветер, и медленнее всего на траектории 1, когда моменту от ветра противодействует максимальный момент от тяги в 40 кН.

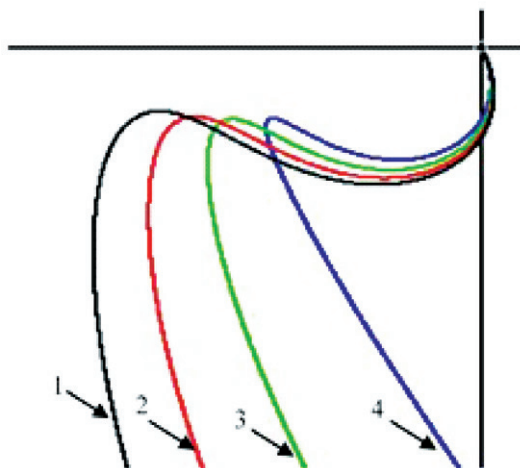


Рис. 6. Траектории танкера при суммарной тяге подруливающего устройства:
1 — 0 кН; 2 — 20 кН, 3 — 30 кН; 4 — 40 кН

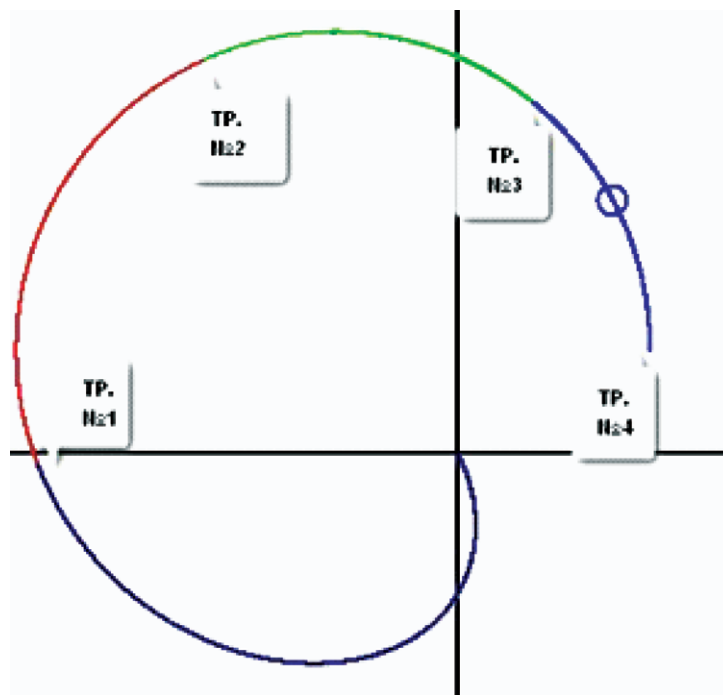


Рис. 7. Траектории танкера при действии только подруливающих устройств с различной суммарной тягой двух ПУ (20, 50, 80 и 110 кН), траектории № 1 – 4 соответственно

Отдельно смоделирована ситуация, когда ветра нет и действуют только подруливающие устройства. В частности, на рис. 7 приведены четыре траектории танкера для различных суммарных тяг ПУ. Все траектории прослеживаются на протяжении 3000 с. Фактически, траектория для всех этих воздействий ПУ одна, но она прерывается в разных точках единой траектории, из-за разной скорости движения вдоль нее. На рис. 7 с помощью выносок показаны концы этих траекторий, сами траектории обозначены разным цветом, перекрывающим друг друга. Самая короткая траектория «черная» (№ 1) с финальной скоростью 0,3 м/с, следующая траектория «коричневая» (№ 2) со скоростью 0,5 м/с, затем «зеленая» (№ 3) со скоростью 0,6 м/с и, наконец, «синяя» (№ 4) со скоростью 0,7 м/с. ЦТ танкера медленно перемещается вдоль этой траектории, вращаясь одновременно вокруг ЦТ. Вращение вызвано тем, что тяги не сбалансированы по моменту из-за раз-

ного положения ПУ вдоль ДП танкера. Этот момент и вызывает поворот танкера, приводящий к различным значениям угловых скоростей в конце соответствующей траектории через 3000 с движения: 3 град/с, 4,7 град/с, 6 град/с и 7 град/с соответственно.

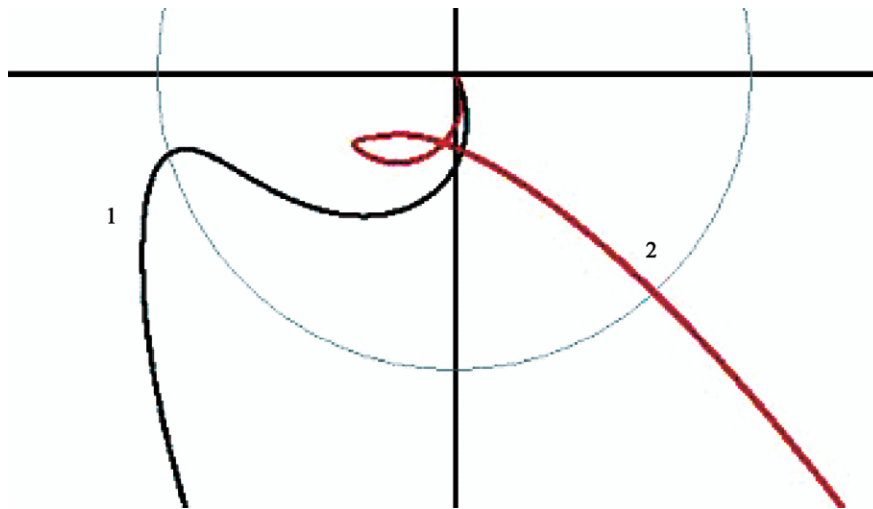


Рис. 8. Траектории танкера при действии ветра 10 м/с с направления 330° при суммарной тяге подруливающего устройства: 1 — 40 кН на правый борт; 2 — 40 кН на левый борт

На рис. 8 приведены две траектории для действия ветра 10 м/с с направления 330° и двух суммарных тяг в 40 кН, направленных в противоположенные стороны — на правый борт (кривая 1) и на левый борт (кривая 2). Траектория 1 нам хорошо знакома; на траектории 2 ветер и суммарный момент от тяг и момент от ветра направлены в одну сторону, и поэтому танкер переходит к установившемуся дрейфу в направлении ветра быстрее, чем на траектории 1, где эти моменты противоположны. На рис. 8 показан масштаб изображения с помощью окружности радиуса 300 м. Масштаб всех предыдущих изображений траекторий точно такой же, хотя в этих конкретных случаях он не играет существенной роли. Все данные о движении модели мы получаем не с помощью изображений, а с помощью записанных в массивах всех без исключения кинематических и силовых параметрах движения с возможностью передачи их в файлы и затем в любые вычислительные среды, например, в MathCad. Такая процедура обработки результатов нам знакома по предыдущим работам [9], [10].

Выводы

1. На частном примере движения танкера под действием ветра показаны возможности программы моделирования маневров.
2. Продемонстрированы возможности варьирования различных параметров маневрирования, связанных с танкером и средой, а также получения разнообразной информации, необходимой для причинно-следственного анализа движения, чем подтверждается возможность применения программы для решения задач по управлению танкером по отклонениям.

Список литературы

1. Пат. 2509031 Российская Федерация, МПК В 63 Н 25/52 (2006.01). Способ управления судном при выполнении им швартовой операции к борту судна партнера, стоящего на якоре / Ю. И. Юдин, В. В. Иванов, С. Н. Холичев, С. О. Петров. — № 2012143196/11; Заявлено 09.10.2012; Опубл. 10.03.2014. — Бюл. № 7. — 9 с.

2. Юдин Ю. И. Способ управления судном при выполнении им швартовочной операции к борту судна, стоящего на якоре: тр. Мурман. гос. техн. ун-та / Ю. И. Юдин, С. Н. Холичев, С. О. Петров. — Мурманск: Изд-во МГТУ, 2013. — Т. 16. — № 1. — С. 187–192.
3. Холичев С. Н. Моделирование процесса швартовки к борту судна-партнера на финальном этапе сближения судов «борт к борту» с использованием инновационного способа управления судном: тр. Мурман. гос. техн. ун-та / С. Н. Холичев, С. А. Агарков. — Мурманск: Изд-во МГТУ, 2015. — Т. 18. — № 1. — С. 88–93.
4. Холичев С. Н. Моделирование процесса швартовки к борту судна-партнера с использованием инновационного способа управления судном: тр. Мурман. гос. техн. ун-та / С. Н. Холичев, Ю. И. Юдин, С. О. Петров. — Мурманск: Изд-во МГТУ, 2015. — Т. 18. — № 1. — С. 81–87.
5. Юдин Ю. И. Моделирование процесса управляемого движения судна вдоль линии положения: тр. Мурман. гос. техн. ун-та / Ю. И. Юдин, С. В. Пашенцев. — Мурманск: Изд-во МГТУ, 2013. — Т. 16. — № 1. — С. 141–147.
6. Юдин Ю. И. Моделирование управляемого движения судна по произвольной траектории / Ю. И. Юдин, С. В. Пашенцев // Эксплуатация водного транспорта. — 2012. — № 3 (69). — С. 32–36.
7. Петров С. О. Моделирование движения танкера на нефтяном терминале в открытом море при управлении на перекрестии: тр. Мурман. гос. техн. ун-та / С. О. Петров, Ю. И. Юдин, С. Н. Холичев. — Мурманск: Изд-во МГТУ, 2015. — Т. 18. — № 3. — С. 60–67.
8. Петров С. О. Стратегия управления движением танкера на перекрестии: тр. Мурман. гос. техн. ун-та / С. О. Петров, С. А. Агарков. — Мурманск: Изд-во МГТУ, 2015. — Т. 18. — № 1. — С. 55–59.
9. Udin U. Parametric identification of the mathematical model of marine moving object using the apparatus of variational calculus / U. Udin, S. Pashentsev, S. Kholichev // Transport problems: Proceedings of VI International Scientific Conference. — 2014. — P. 735–744.
10. Агарков С. А. Параметрическая идентификация обобщенной модели Номото с помощью аппарата вариационного исчисления / С. А. Агарков, С. В. Пашенцев // Вестник МГТУ. — 2015. — Т. 18. — № 1. — С. 7–11.

УДК 656.615

М. О. Малыгин,
инж.;

А. В. Кириченко,
д-р техн. наук, проф.

**ОБОСНОВАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ
ВЫВОЗА КОНТЕЙНЕРОВ ИЗ ПОРТА НА ТЫЛОВОЙ ТЕРМИНАЛ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ «БЛОК-ТРЕЙН»**

**JUSTIFICATION OF THE ORIGINAL DATA IN THE SIMULATION
OF CONTAINERS' CARRIAGE FROM SEA TERMINAL TO DRY PORT
WITH THE USE OF TECHNOLOGY «BLOCK-TRAIN»**

Выполнено исследование проблемы российских контейнерных портов в части ограниченной пропускной способности вследствие размещения терминалов внутри крупных городов. Применение технологии «сухой порт» позволяет повысить пропускную способность порта и увеличить операционную прибыль терминала, но возникают дополнительные расходы по организации транспортного сообщения между фронтальным и тыловым терминалом и необходимость планирования режимов работы данного сообщения. Приведено описание транспортного сообщения между фронтальным и тыловым терминалом посредством железнодорожного транспорта с применением технологии ускоренного контейнерного поезда (технология «блок-трейн»). Определение режима работы данного логистического звена и ее оптимизация