

УДК 656.614.3.073.23 : [629.5.018.717:629.543]

С.О. Петров, Ю.И. Юдин, С.Н. Холичев

Моделирование движения танкера на нефтяном терминале в открытом море при управлении на перекрестии

S.O. Petrov, Yu.I. Yudin, S.N. Kholichev

Modeling of tanker movement at the oil terminal in the high seas at crosshair management

Аннотация. Рассмотрен процесс моделирования движения танкера во время выполнения операций по погрузке нефти и нефтепродуктов на терминале, находящемся в открытом море, при использовании инновационного способа управления на перекрестии.

Abstract. The process of modeling of tanker movement during cargo operations at the oil terminal in the high seas has been considered. An innovative method of crosshair management has been used.

Ключевые слова: перекрестие, инновационный способ, управление движением танкера
Key words: crosshair, innovative method, tanker steering

1. Введение

Процесс моделирования сложного маневрирования танкера на перекрестии во время выполнения операций по погрузке нефти и нефтепродуктов на терминале, находящемся в открытом море, реализуется с использованием математически идентифицированной модели танкера.

2. Реализация моделирования

Проведем ряд модельных испытаний функционирующей системы управления по двум парам отклонений от ортогональной системы координат. Будем перемещать само перекрестие, а с ним и систему координат. Данная стратегия управления сложнее маневрирования на терминале, но служит хорошей демонстрацией возможностей моделирующей системы.

Пусть цель-перекрестие движется в заданном направлении (330°) с заданной скоростью (0.3 уз). Начальная скорость танкера 0.5 уз, курс 60° . Наблюдение за танкером ведется на протяжении 6000 с. Параметры системы управления маневрированием a_1 , a_2 и a_3 указаны:

– в законе управления упором главного движителя:

$$T_e = (kW_{\text{ном}}P\% / v)A,$$

где $A = 1 / (a_3Lw)$; $P\%$ – процент загрузки главного движителя;

– законе управления тягами подруливающих устройств:

$$\begin{aligned} TeprF &= [a_2(d_{yA} - d_{yF}) + a_1(d_{yA} + d_{yF})xA] / (xF - xA), \\ TeprA &= [-a_2(d_{yA} - d_{yF}) + a_1(d_{yA} + d_{yF})xF] / (xF - xA), \end{aligned}$$

где $a_1 = -25$; $a_2 = 2250$.

Данные параметры можно изменять и тем самым подбирать их оптимальные значения, способствующие достижению минимального уровня качества управления:

$$Q = \frac{1}{t} \int_0^t \Delta r^2 dt.$$

Разработанная программа моделирования позволяет детально проследить за изменением всех характеристик маневрирования (рис. 1). На траектории танкера синим кружком обозначен сам танкер, цветная прямая отражает линию движения цели, красный кружок – перекрестие. Скриншот получен на 1325 с маневрирования; на нем видно начальное значительное отклонение от цели, которое затем убывает в процессе управления танкером.

Покажем изменения всех сопутствующих движению параметров:

- тяги T_e и процента загрузки $P\%$ главного движителя (рис. 2);
- курса Ψ , угловой скорости ω и угла дрейфа β (рис. 3);
- тяги носового $TeprF$ и кормового $TeprA$ ПУ и их результирующего момента Mpr (рис. 4);
- продольной (v_x) и поперечной (v_y) скорости и отклонений носовой (d_{xF} , d_{yF}) и кормовой (d_{xA} , d_{yA}) точек (Юдин и др., 2013) от координатных осей перекрестия (рис. 5).

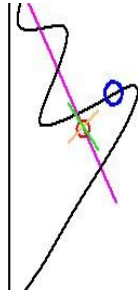


Рис. 1. Траектория движения танкера при управлении на перекрестии.
Перекрестие движется линейно

Для всех показателей характерны периодические изменения с постепенным уменьшением амплитуд колебаний. В итоге наблюдаются примерно стационарные колебания, которые вызваны естественным перегуливанием параметров a_1 , a_2 и a_3 , указанных в таблице.

a_1	a_2	a_3	Q
-25	2 000	50	0.0118
-25	3 000	50	0.0113
-20	3 000	50	0.0108
-20	2 000	50	0.0122
-15	3 500	50	0.0112
-18	3 300	50	0.0108
-18	3 300	30	0.0110
-18	3 300	70	0.0105

Для оптимизации управления меняем в программной форме (рис. 6) значения параметров a_1 , a_2 , a_3 и каждый раз запускаем процесс выполнения маневрирования. После завершения испытаний запрашиваем качество управления Q и фиксируем его в таблице. В ходе простого сравнения перебранных комплексов трех параметров выбираем заключительный вариант: $a_1 = -18$, $a_2 = 3 300$, $a_3 = 70$. Эта комбинация параметров показывает минимальное значение качества управления $Q = 0.0105$.

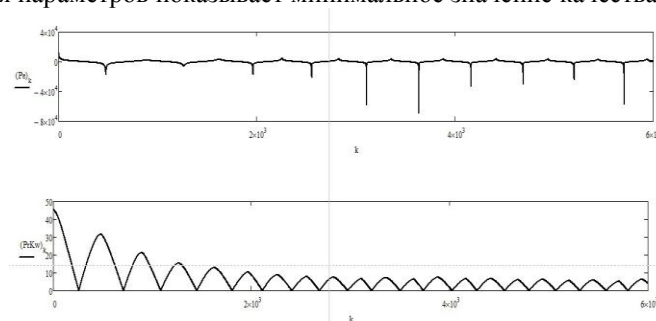


Рис. 2. Изменение тяги и процента загрузки главного движителя.
Движение цели линейное

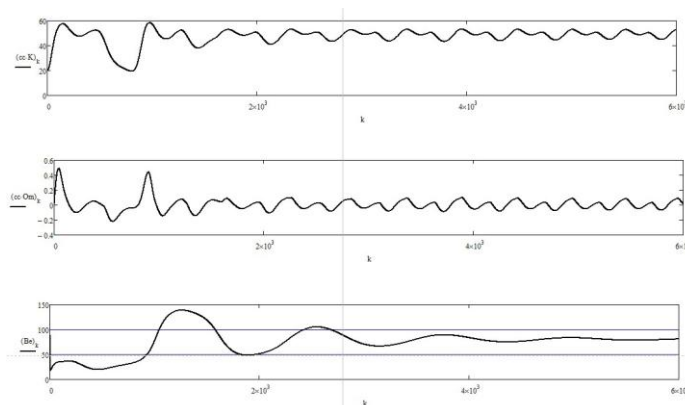


Рис. 3. Изменение курса, град, угловой скорости, град/с,
и угла дрейфа, град. Движение цели линейное

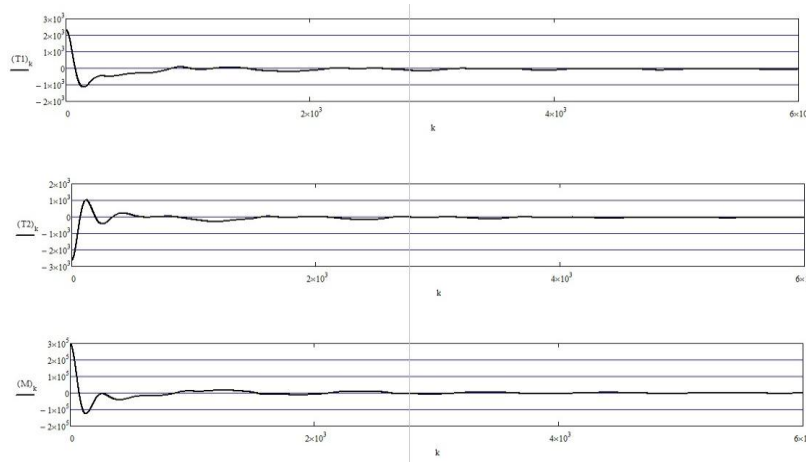


Рис. 4. Изменение тяги носового и кормового ПУ, кН, и их результирующего момента, кНм. Движение цели линейное

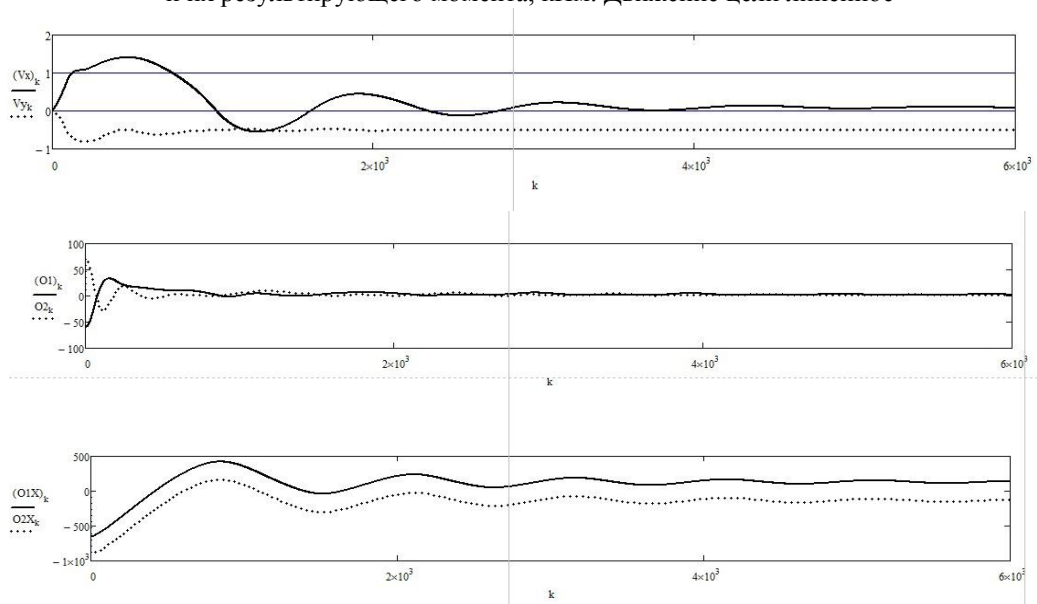


Рис. 5. Изменение продольной и поперечной скоростей танкера, м/с, отклонений его носовой и кормовой точек, м, от координатных осей перекрестия. Движение цели линейное

ТРОС 120 Ltr <input type="checkbox"/> Якорь 0 Xtr <input type="checkbox"/> Буксировка 120 Ytr <input type="checkbox"/> Буксировка 15 Ztr <input type="checkbox"/> Поворот 1 35 kTr <input type="checkbox"/> Поворот 2 131 xD <input type="checkbox"/> Поворот 2 0 yD <input type="checkbox"/> Терминал 45 Kb <input checked="" type="checkbox"/> Терминал 1 Vb <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> НЕТ ТРОСА		УПРАВЛЕНИЕ ПОДХОДОМ <input type="checkbox"/> DaDb a1 120 a2 400 a3 50 b 1.1 c 0.9 lim1 3 lim2 14 lim3 7 <input checked="" type="checkbox"/> Есть Подход		БУКСИРЫ 0 Fx1 320 Fy1 80 Lx1 0 Fx2 320 Fy2 -50 Lx2 <input checked="" type="checkbox"/> Нет Буксиров	
ПОДРУЛИ Подруль Нос 5 Тяга, т 60 Плечо, м -25 <input checked="" type="checkbox"/> Есть подруль1		Подруль Корма 5 Тяга, т -60 Плечо, м 2250 <input checked="" type="checkbox"/> Есть подруль2			

Рис. 6. Часть программной формы для задания параметров управления

Траектория маневрирования изменяется незначительно, что способствует небольшому изменению качества управления Q (Юдин, Пашенцев, 2012). На рис. 7 показаны траектории, соответствующие трем различным комбинациям управляющих параметров (обозначения те же, что и на рис. 1).

Линейно удаляющаяся цель-перекрестие не имеет прямого отношения к задаче маневрирования танкера на терминале, но показывает возможности предложенного способа управления и мощность программной системы моделирования.

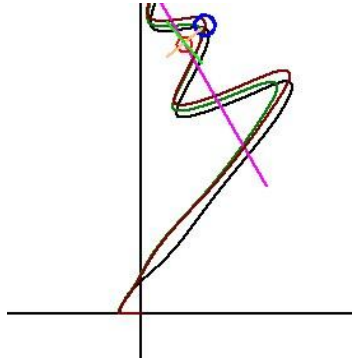


Рис. 7. Изменения траектории при вариации параметров управления

Рассмотрим задачу моделирования процесса маневрирования танкера, когда цель совершает колебательные движения вокруг неподвижной точки.

Аналитически данное движение представим в виде

$$X_z = A \sin(2\pi t / T_1), Y_z = B \cos(2\pi t / T_2).$$

Графические траектории такого движения являются фигурами Лиссажу и при разных комбинациях амплитуд A , B и периодов T_1 , T_2 могут быть весьма причудливыми. Приведем результаты модельных испытаний двух случаев маневрирования с одинаковыми амплитудами, равными 5 и 12 м, и на порядок отличающимися частотами. В первом испытании учитывались периоды $T_1 = 10$ с, $T_2 = 6$ с, во втором – $T_1 = 100$ с, $T_2 = 60$ с. Заметим, что система управления выполнила в обоих случаях главную задачу – не уходить от центра колебаний, однако частотные характеристики основных параметров маневрирования при этом различны, как это и должно быть по существу задачи. Ниже приведем в графической форме те же характеристики маневрирования, которые представлены на рис. 1-5. Так, на рис. 8-12 приведены результаты для периодов колебания цели $T_1 = 10$ с, $T_2 = 6$ с, на рис. 13-17 – результаты для периодов $T_1 = 100$ с, $T_2 = 60$ с.

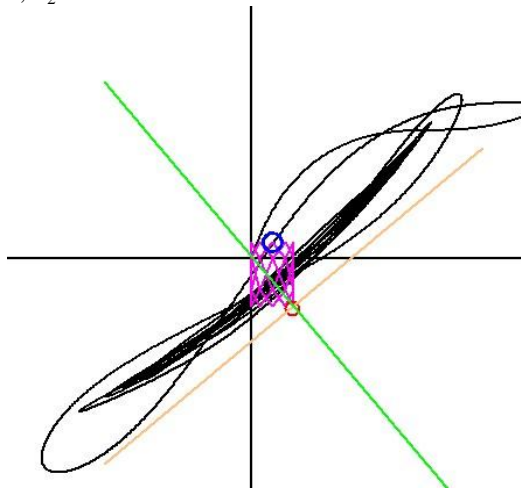


Рис. 8. Траектория управляемого танкера при движении на перекрестии, колеблющемся с осевыми периодами $T_1 = 10$ с, $T_2 = 6$ с ($Q_1 = 0.0137$)

Движения перекрестия-цели быстрые, так как периоды осевых колебаний малы. Особо следует обратить внимание на изменение угла дрейфа танкера (рис. 10, внизу). Дело в том, что при выбранной системе управления часть времени маневрирования танкер движется задним ходом, что приводит к

изменению угла дрейфа почти на 180° . Именно это обстоятельство отражают вертикальные линии на графиках угла дрейфа. Как известно, любое судно, тем более тяжелый танкер, является фильтром высоких частот. Поэтому курс и угловая скорость (рис. 10) затухают со временем после начального переходного процесса.

Эффект фильтрации виден и на примере качества управления. Так, при высокочастотном режиме $Q_1 = 0.0137$, а при низкочастотном – $Q_2 = 0.0425$. Система управления не реагировала на малые высокочастотные отклонения, что и привело к хорошему показателю качества (Q_1 существенно меньше Q_2).

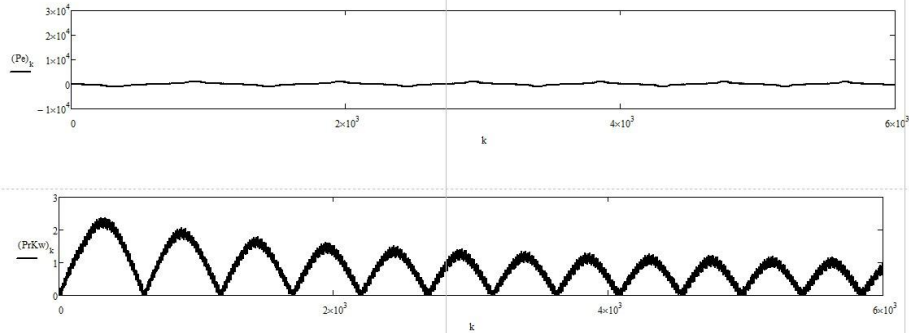


Рис. 9. Изменение тяги и процента загрузки главного двигателя. Перекрестие цели колеблется с осевыми периодами $T_1 = 10$ с, $T_2 = 6$ с

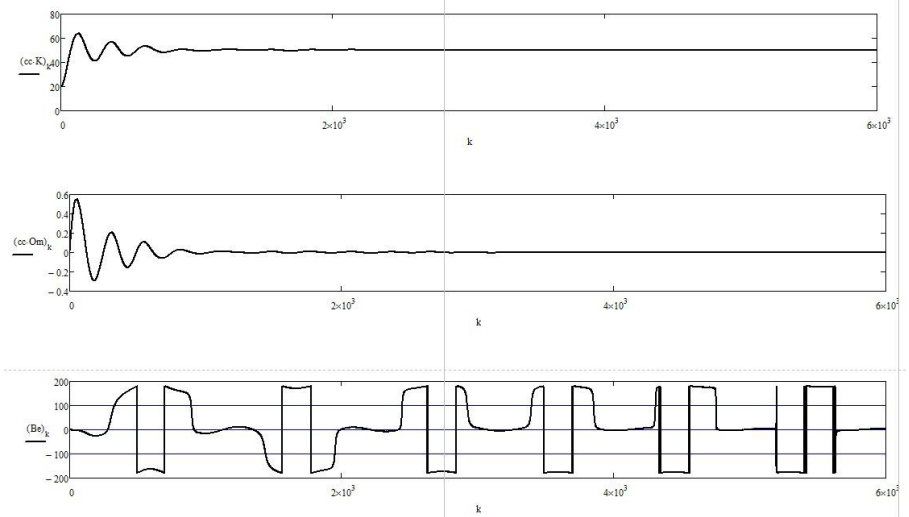


Рис. 10. Изменение курса, угловой скорости и угла дрейфа танкера. Перекрестие цели колеблется с осевыми периодами $T_1 = 10$ с, $T_2 = 6$ с

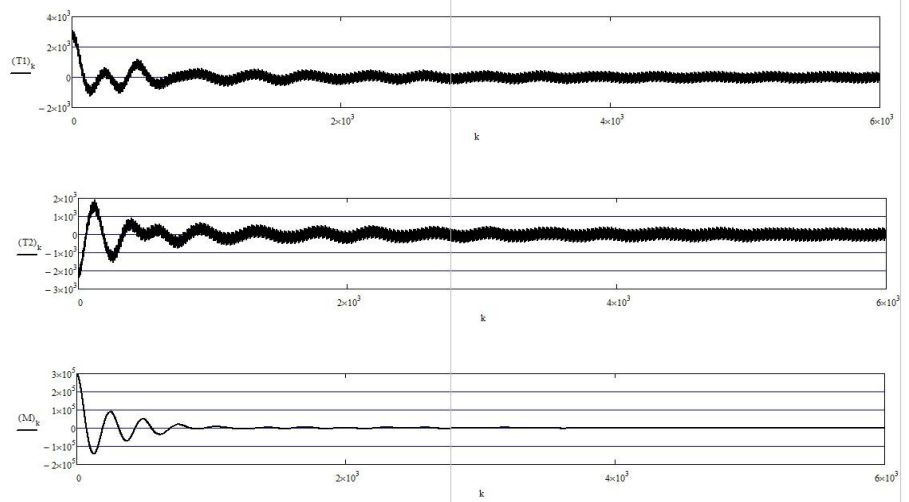


Рис. 11. Изменение тяг носового и кормового ПУ и их результирующего момента. Перекрестие цели колеблется с осевыми периодами $T_1 = 10$ с, $T_2 = 6$ с

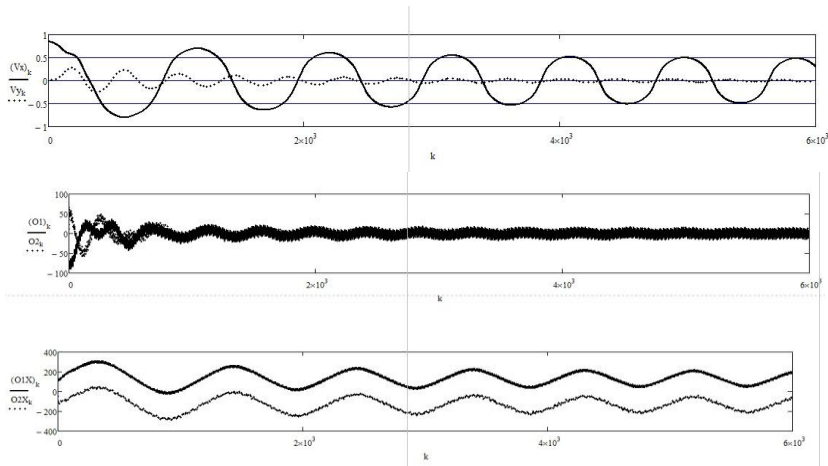


Рис. 12. Изменение продольной и поперечной скоростей танкера и отклонений его носовой и кормовой точек от координатных осей перекрестия. Перекрестие цели колеблется с осяевыми периодами $T_1 = 10$ с, $T_2 = 6$ с

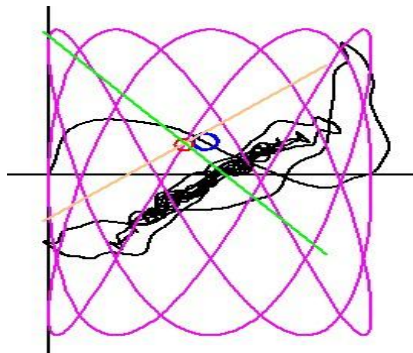


Рис. 13. Траектория движения танкера при управлении на перекрестии. Перекрестие колеблется с осяевыми периодами $T_1 = 100$ с, $T_2 = 60$ с ($Q_1 = 0.0425$). Движения цели-перекрестия медленные, так как периоды значительны

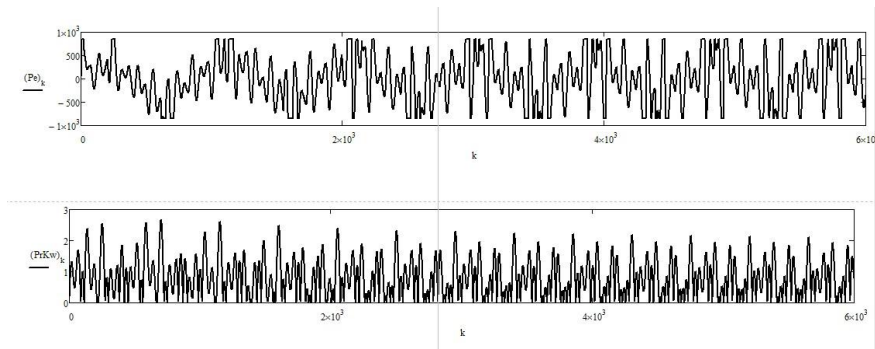


Рис. 14. Изменение тяги и процента загрузки главного двигателя. Перекрестие цели колеблется с осяевыми частотами $T_1 = 100$ с, $T_2 = 60$ с

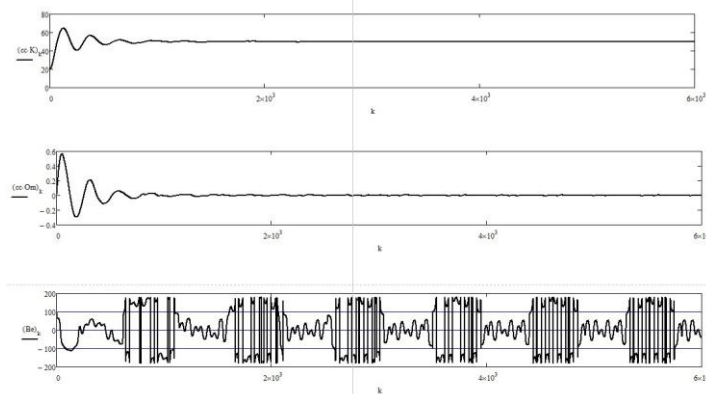


Рис. 15. Изменение курса, угловой скорости и угла дрейфа танкера. Перекрестие цели колеблется с осяевыми периодами $T_1 = 100$ с, $T_2 = 60$ с

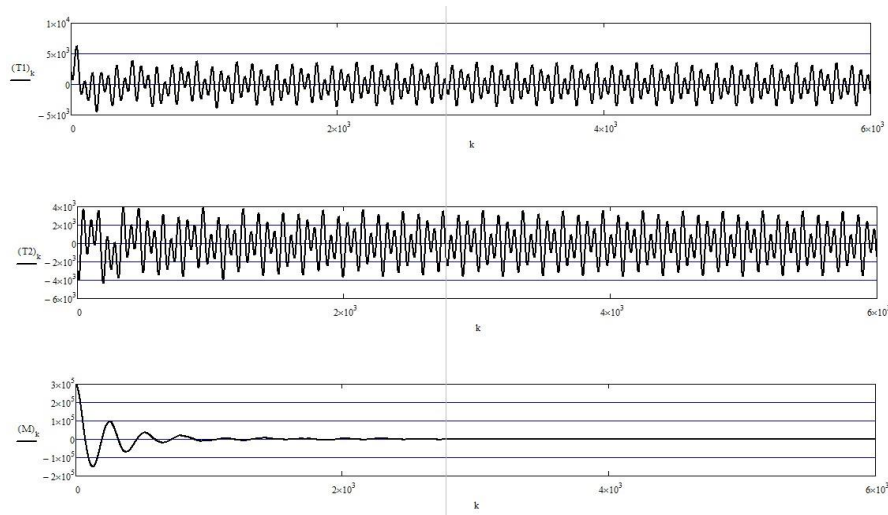


Рис. 16. Изменение тяг носового и кормового ПУ и их результирующего момента. Перекрестие цели колеблется с осевыми периодами $T_1 = 100$ с, $T_2 = 60$ с

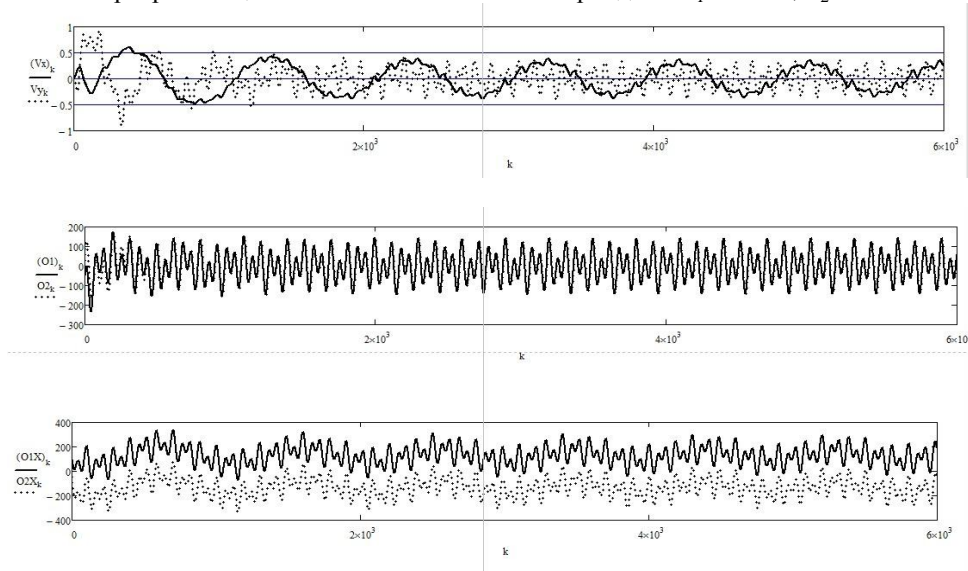


Рис. 17. Изменение продольной и поперечной скоростей танкера и отклонений его носовой и кормовой точек от координатных осей перекрестия. Перекрестие цели колеблется с осевыми периодами $T_1 = 100$ с, $T_2 = 60$ с

3. Заключение

В статье показан процесс моделирования инновационной стратегии управления движением танкера на перекрестии во время выполнения операций по погрузке нефти и нефтепродуктов на терминале, находящемся в открытом море. Моделирование осуществлялось с целью решения задач сложного маневрирования с использованием параметрически идентифицированной математической модели танкера.

Литература

- Юдин Ю.И., Пашенцев С.В. Моделирование управляемого движения судна по произвольной траектории. Эксплуатация водного транспорта: ежекварт. сб. науч. ст. СПб., ГМА им. адм. С.О. Макарова, 2012. Вып. 3 (69). С. 32-36.
- Юдин Ю.И., Петров С.О., Холщев С.Н. Способ управления траекторией движения судна. Пат. 2501064 РФ, МПК В 63 Н 25/52 (2006.01); заявитель и патентообладатель Мурман. госуд. техн. ун-т, № 2012108992/11; заявл. 11.03.2012; опубл. 10.12.2013, бюл. № 34. 9 с.

References

- Yudin Yu.I., Pashentsev S.V.** Modelirovanie upravlyаемого dvizheniya sudna po proizvolnoy traektorii [Modeling of controlled motion of the vessel along an arbitrary path]. *Ekspluatatsiya vodnogo transporta: ezhekvert. sb. nauch. st. SPb., GMA im. adm. S.O. Makarova*, 2012. Вып. 3 (69). P. 32-36.
- Yudin Yu.I., Petrov S.O., Holichev S.N.** Sposob upravleniya traektoriey dvizheniya sudna [Vessel's track control method]. Pat. 2501064 RF, МПК V 63 N 25/52 (2006.01); заявитель i patentoobladatel Murman. gosud. tehn. un-t, N 2012108992/11; заявл. 11.03.2012; opubl. 10.12.2013, byul. N 34. 9 p.

Информация об авторах

Петров Сергей Олегович – Морская академия МГТУ, кафедра судовождения, мл. науч. сотрудник, аспирант, e-mail: sergey_petrov@inbox.ru

Petrov S.O. – MSTU Marine Academy, Navigation Department, Junior Research Associate, Ph.D. Student, e-mail: sergey_petrov@inbox.ru

Юдин Юрий Иванович – Морская академия МГТУ, зав. кафедрой судовождения, д-р техн. наук, профессор, e-mail: udinui@rambler.ru

Yudin Yu.I. – MSTU Marine Academy, Head of Navigation Department, Professor, Dr of Tech. Sci., e-mail: udinui@rambler.ru

Холичев Сергей Николаевич – Морская академия МГТУ, кафедра судовождения, мл. науч. сотрудник, аспирант, e-mail: kholichev.sergey@gmail.com

Kholichev S.N. – MSTU Marine Academy, Navigation Department, Junior Research Associate, Ph.D. Student, e-mail: kholichev.sergey@gmail.com