

УДК [656.052.55+629.5.035]:629.5.018.71:004.4.942

С. А. Агарков

Оценка качества управления по отклонениям от прицельной линии

S. A. Agarkov

Evaluation of control quality by deviations from the sighting line

Аннотация. Проведена оценка качества управления танкером по отклонениям двух разнесенных точек ДП от прицельной линии. Способ используется при исследовании инновационного принципа управления по отклонениям для сравнения различных вариантов реализации этого принципа. Предложенные критерии показали их согласие с интуитивной оценкой качества управления по виду траекторий.

Abstract. Evaluation of the tanker management by deviations of two spaced points on the center plane of the sighting line has been carried out. The method is used while studying the innovative principle of management by deviations to compare different ways for this principle implementation. The proposed criteria have indicated agreement with the intuitive assessment of management quality by trajectories' type.

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

Оценка качества управления – это важный этап изучения любого нового способа, предлагаемого в области судовождения. В проведении модельных испытаний при исследовании принципа управления по отклонениям от прицельных линий одной из задач является сравнение различных способов реализации данного инновационного принципа [1–8]. Это приводит к необходимости введения определенных количественных показателей – критериев качества управления.

Из возможных критериев качества управления [9, 10] мы выбрали два – Q_1 и Q_2 , несколько модифицировав их структуру и, соответственно, содержание. Мы уже использовали их ранее в работе [11], в этот раз будем использовать не сами параметры движения, а их производные. Это позволит оценить и динамику процесса управления.

В критерии Q_1 возьмем производную курса судна по времени:

$$Q_1 = \sqrt{\sum_k [dK/dt]_k^2} . \quad (1)$$

В критерии (1) dK_k/dt – значение производной курса в k -й момент его регистрации.

Критерий Q_2 также преобразуем к форме с участием производных отклонений носа и кормы танкера:

$$Q_2 = \sqrt{\sum_k [(d_n/dt)_k^2 + ((d_k/dt)_k^2)]} . \quad (2)$$

В критерии (2) d_n и d_k – расстояния носовой и кормовой точек танкера до прицельной линии, от которых взяты производные по времени. Чтобы эти критерии сделать объективными характеристиками, суммы всех опытных точек отнесем к одной точке, для чего суммы поделим на общее число точек испытания. Критерии можно также нормировать, поделив Q_1 на начальный курс судна, а критерий Q_2 – на половину длины танкера. Это сделает критерии Q_1 и Q_2 практически безразмерными и позволит сравнивать результаты модельных испытаний разных судов. Применим эти два критерия при проведении модельных испытаний судна, сравнивая полученные результаты моделирования.

Модельные испытания

Проведем испытания модели танкера ледового класса проекта Aker ACS 650 при различных значениях предельной тяги подруливающих устройств. Они выполнены для шести различных значений предельной тяги T . На рис. 1 показаны три траектории из этой серии испытаний для значений предельной тяги 20, 40 и 60 кН.

Одновременно в каждом испытании вычислялись критерии Q_1 и Q_2 . Импульс тяги dT , т. е. разовое секундное изменение тяги, был выбран при этом равным 2 кН. Результаты вычислений приведены в табл. 1. Зависимость обоих критериев от величины тяги монотонная, но разнонаправленная. Критерий Q_1 растет с увеличением тяги T , критерий Q_2 убывает. Поэтому наилучшим по комбинации критериев является промежуточное значение максимальной тяги, оно выбрано нами равным 20 кН. С этим значением предельной тяги $T = 20$ кН были выполнены последующие испытания.

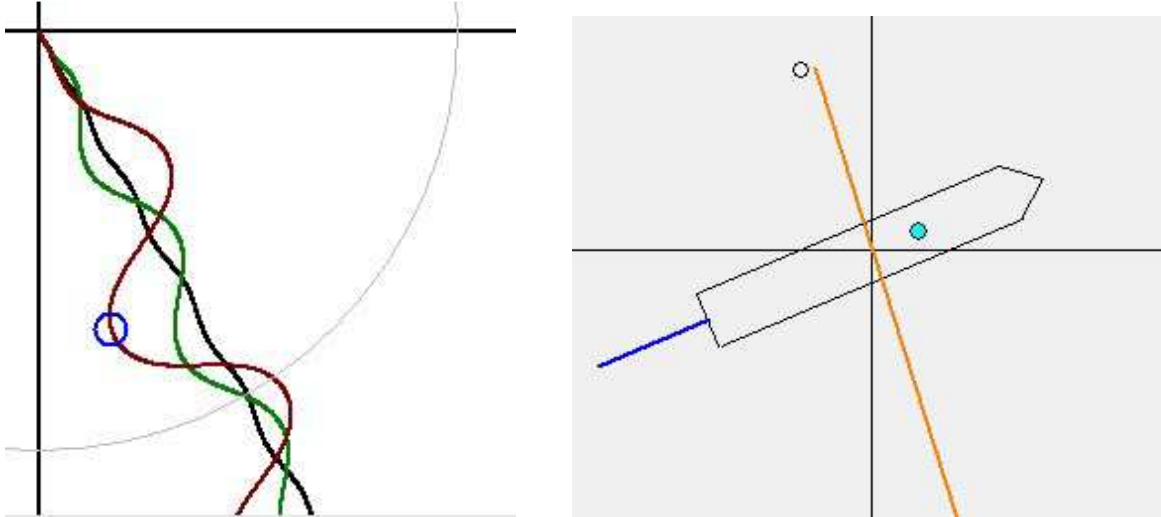


Рис. 1. Траектории танкера (левое поле) при различных величинах предельной тяги ПУ: 20 кН (черная), 40 кН (зеленая) и 60 кН (красная). На поле справа – положение танкера относительно сторон света для его координатного положения на красной траектории (синий кружок)

Таблица 1

Критерии качества управления для шести значений предельных тяг ПУ ($dT = 2$ кН, число точек 1 500)

T , кН	10	20	30	40	50	60
Q_1	0.0177	0.0447	0.0746	0.1873	0.2705	1.2334
$Q_2 \times 10$	0.0041	0.0054	0.0067	0.0076	0.0085	0.0093

Следующая серия испытаний была проведена при постоянной предельной тяге ПУ и изменении импульса dT , на величину которого изменяется тяга при действии управления.

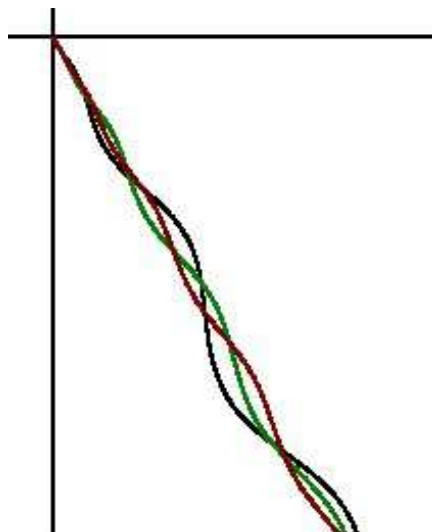


Рис. 2. Траектории танкера при различных величинах импульса тяги ПУ: 1 кН (черная), 2 кН (зеленая) и 3 кН (красная). Тяга $T = 30$ кН

Нами было проведено шесть испытаний, для трех из них на рис. 2 изображены траектории. Одновременно вычислялись и критерии качества, значения которых приведены в табл. 2.

Таблица 2

Критерии качества управления для шести значений импульсов тяг ПУ ($T = 30$ кН, число точек 1 500)

dT , кН	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
Q_1	0.1697	0.1018	0.0746	0.0612	0.0508	0.0449
Q_2	0.0065	0.0064	0.0063	0.0062	0.0061	0.0059

Результаты табл. 1 и 2 были обработаны в среде MathCad, где получены аппроксимационные формулы критериев качества в зависимости от предельной тяги T и импульса тяги dT при управлении. Эти результаты представлены на рис. 3 и 4. Рис. 3 показывает всю процедуру получения аппроксимации зависимости критериев Q_1 и Q_2 от тяги T , начиная от задания исходных данных в виде векторов в верхней части рисунка до графиков зависимостей в нижней части. Рис. 4 предоставляет ту же информацию зависимости Q_1 и Q_2 от величины импульса тяги dT . Под наименованием coeffs^T со знаком транспонирования (^T) приведены векторы коэффициентов разложения критериев в степенные ряды. Анализ всех полученных зависимостей позволяет отметить в качестве оптимальных максимальную тягу $T = 20$ кН и импульс тяги $dT = 2$ кН, что полностью соответствует интуитивной оценке качества управления по виду траектории.

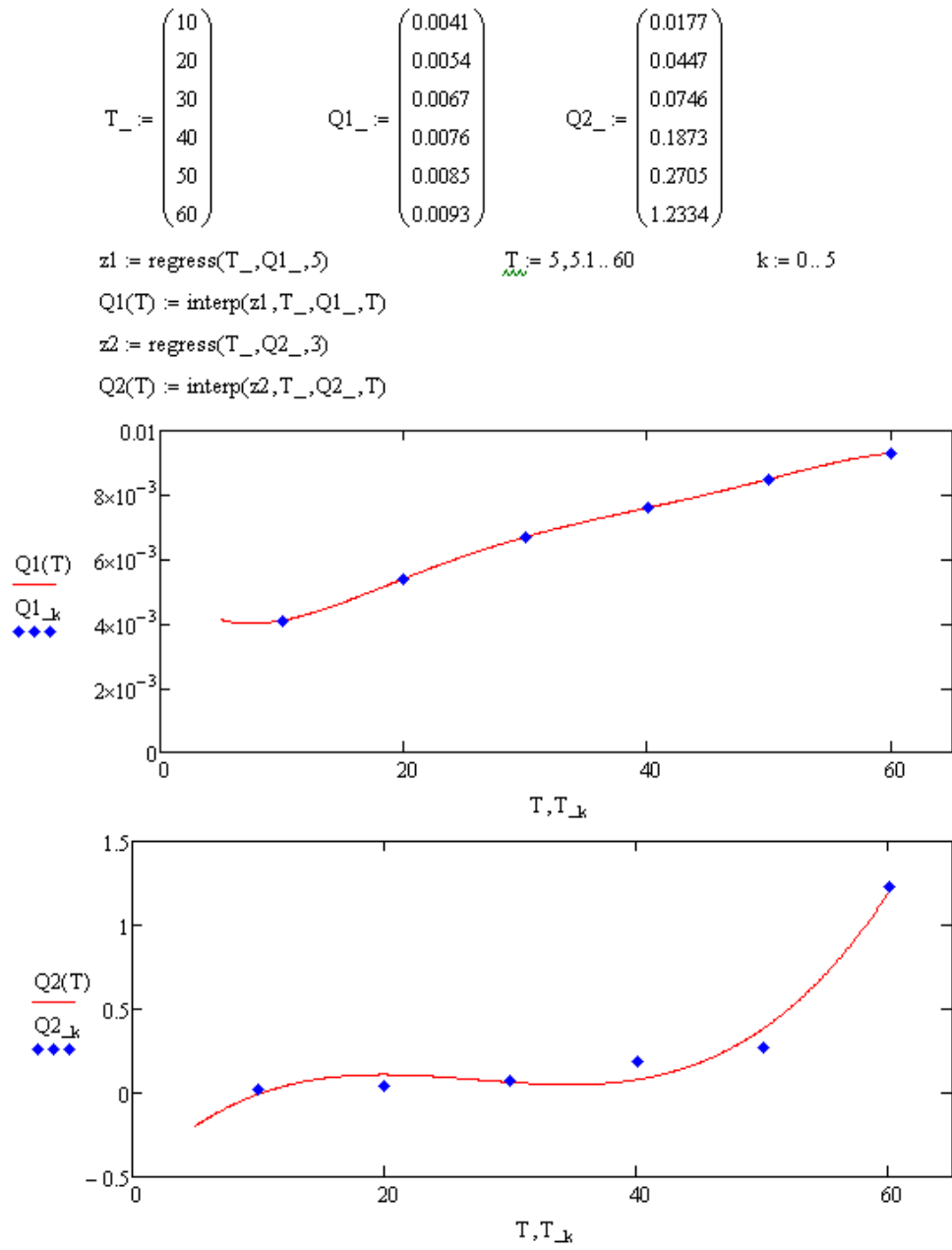


Рис. 3. Аппроксимация зависимости критериев качества управления Q_1 , Q_2 от величины предельной тяги T

```

+
dT_ := (0.5
        1
        1.5
        2
        2.5
        3)

Q1_ := (0.1697
        0.1018
        0.0746
        0.0612
        0.0508
        0.0449)

Q2_ := (0.0065
        0.0064
        0.0063
        0.0062
        0.0061
        0.0059)

z1 := regress(dT_, Q1_, 5)      dT := 0.5, .51..3      k := 0..5
Q1(dT) := interp(z1, dT_, Q1_, dT)  coeffs1 := submatrix(z1, 3, length(z1) - 1, 0, 0)
coeffs1^T = (0.325  -0.441  0.311  -0.111  0.018  -1.013 × 10-3)

z2 := regress(dT_, Q2_, 5)
Q2(dT) := interp(z2, dT_, Q2_, dT)  coeffs2 := submatrix(z2, 3, length(z2) - 1, 0, 0)
coeffs2^T = (6.7 × 10-3  -6.567 × 10-4  7.5 × 10-4  -5.667 × 10-4  2 × 10-4  -2.667 × 10-5)
    
```

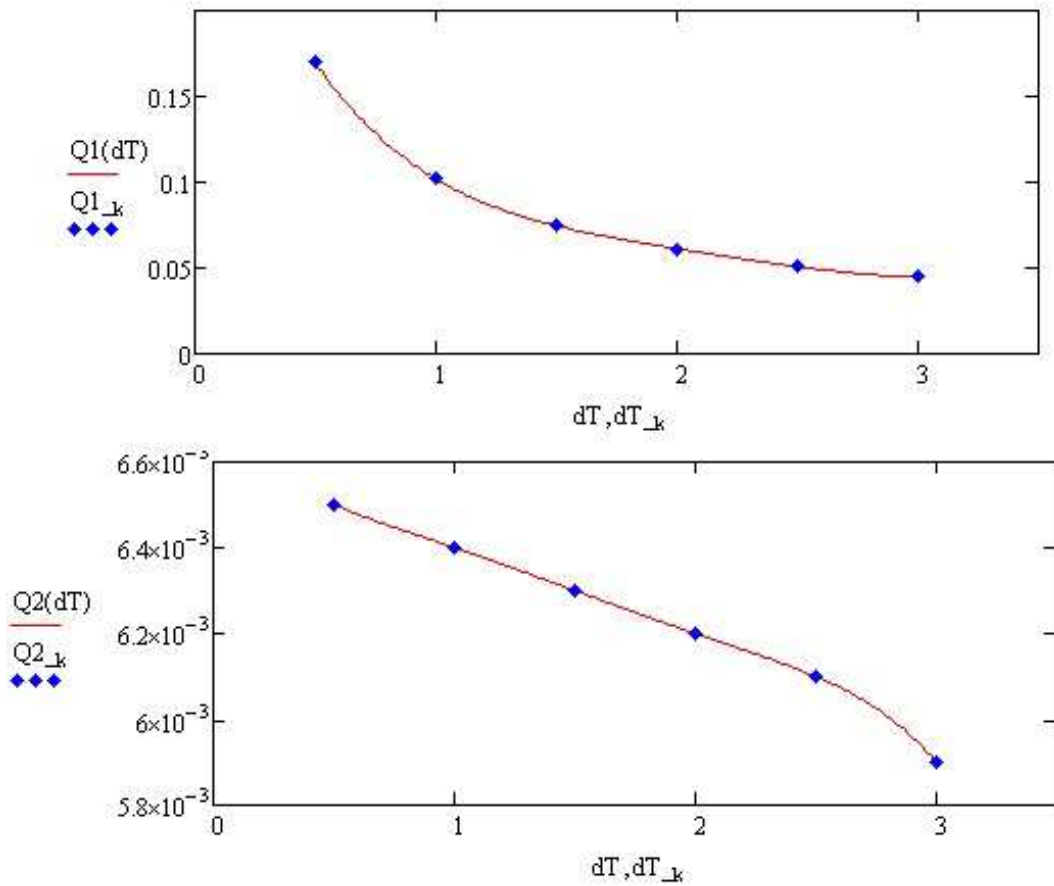


Рис. 4. Аппроксимация зависимости критериев качества управления Q_1 , Q_2 от величины импульса тяги dT

Заключение

В статье представлены два критерия качества управления движением танкера с использованием известного способа управления по отклонениям от линии прицеливания в процессе выполнения швартовочной операции. Выполнена оценка качества управления по отклонениям от прицельной линии методом модельных испытаний маневров танкера при движении лагом в процессе выполнения швартовочной операции. При этом варьировались предельные тяги подруливающих устройств и величина импульса их тяги. Введенные критерии показали их согласие с интуитивной оценкой качества управления по виду траекторий.

Библиографический список

1. Способ управления судном при выполнении им швартовочной операции к борту судна-партнера : пат. 2475410 Рос. Федерация. № 2011137696/11 ; заявл. 13.09.11 ; опубл. 20.02.13, Бюл. № 5. 7 с.
2. Юдин Ю. И., Петров С. О., Холичев С. Н. Способ управления судном при выполнении им швартовочной операции к борту судна, стоящего на якоре // Вестник МГТУ. 2013. Т. 16, № 1. С. 187–192.
3. Холичев С. Н., Агарков С. А. Моделирование процесса швартовки к борту судна-партнера на финальном этапе сближения судов "борт к борту" с использованием инновационного способа управления судном // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18, № 1. С. 60–65.
4. Холичев С. Н., Юдин Ю. И., Петров С. О. Моделирование процесса швартовки к борту судна-партнера с использованием инновационного способа управления судном // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18, № 1. С. 53–59.
5. Пашенцев С. В., Юдин Ю. И. Моделирование процесса управляемого движения судна вдоль линии положения // Вестник МГТУ. 2013. Т. 16, № 1. С. 141–147.
6. Юдин Ю. И., Пашенцев С. В. Моделирование управляемого движения судна по произвольной траектории // Эксплуатация водного транспорта. 2012. № 3 (69). С. 32–36.
7. Петров С. О., Юдин Ю. И., Холичев С. Н. Моделирование движения танкера на нефтяном терминале в открытом море при управлении на перекрестие // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18, № 1. С. 25–32.
8. Петров С. О., Агарков С. А. Стратегия управления движением танкера на перекрестие // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18, № 1. С. 20–24.
9. Карасев А. В., Лукомский Ю. Л., Мусин Е. А. О критерии оптимального управления курсом судна // Судостроение. 1967. № 4. С. 36–40.
10. Антомонов Ю. Г. Расчет систем, оптимальных по быстродействию. Л. : Судостроение, 1964. 71 с.
11. Агарков С. А., Юдин Ю. И. Оценка качества управления по отклонениям от прицельной линии // Материалы XI междунар. науч.-практ. конф. "Передовые научные разработки – 2015". Том 5. Физика. Современные научные разработки. Прага. Издательский дом "Образование и наука", 2015. С. 10–14.

References

1. Sposob upravleniya sudnom pri vypolnenii im shvartovnoy operatsii k bortu sudna-partnera [A method for controlling the vessel in carrying out mooring operations to board partner] : pat. 2475410 Ros. Federatsiya. N 2011137696/11 ; zayavl. 13.09.11 ; opubl. 20.02.13, Byul. N 5. 7 p.
2. Yudin Yu. I., Petrov S. O., Holichev S. N. Sposob upravleniya sudnom pri vypolnenii im shvartovnoy operatsii k bortu sudna, stoyashego na yakore [Control of the vessel carrying out mooring operations to board a ship at anchor] // Vestnik MGTU. 2013. T. 16, N 1. P. 187–192.
3. Holichev S. N., Agarkov S. A. Modelirovanie protsessa shvartovki k bortu sudna-partnera na finalnom etape sblizeniya sudov "bort k bortu" s ispolzovaniem innovatsionnogo sposoba upravleniya sudnom [Modeling of mooring to the partner vessel at the final stage of "side to side" approach using innovative vessel's steering methods] // Vestnik MGTU. 2015. T. 18, N 1. P. 60–65.
4. Holichev S. N., Yudin Yu. I., Petrov S. O. Modelirovanie protsessa shvartovki k bortu sudna-partnera s ispolzovaniem innovatsionnogo sposoba upravleniya sudnom [Modeling of the mooring to the partner vessel using innovative vessel's steering methods] // Vestnik MGTU. 2015. T. 18, N 1. P. 53–59.
5. Pashentsev S. V., Yudin Yu. I. Modelirovanie protsessa upravlyаемого dvizheniya sudna vdol linii polozheniya [Simulation of guided movement of vessel along the line of position] // Vestnik MGTU. 2013. T. 16, N 1. P. 141–147.
6. Yudin Yu. I., Pashentsev S. V. Modelirovanie upravlyаемого dvizheniya sudna po proizvolnoy traektorii [Modeling of vessel movement along an arbitrary trajectory] // Eksploatatsiya vodnogo transporta. 2012. N 3 (69). P. 32–36.
7. Petrov S. O., Yudin Yu. I., Holichev S. N. Modelirovanie dvizheniya tankera na neftyanom terminale v otkrytom more pri upravlenii na perekrestie [Modeling of tanker movement at the oil terminal in the high seas at crosshair management] // Vestnik MGTU. 2015. T. 18, N 1. P. 25–32.

8. Petrov S. O., Agarkov S. A. Strategiya upravleniya dvizheniem tankera na perekrestie [Strategy of management of tanker movement in the crosshair] // Vestnik MGTU. 2015. T. 18, N 1. P. 20–24.

9. Karasev A. V., Lukomskiy Yu. L., Musin E. A. O kriterii optimalnogo upravleniya kursom sudna [On the criterion of the vessel course optimal control] // Sudostroenie. 1967. N 4. P. 36–40.

10. Antomonov Yu. G. Raschet sistem, optimalnyh po bystrodeystviyu [Calculation of systems optimal in speed]. L. : Sudostroenie, 1964. 71 p.

11. Agarkov S. A., Yudin Yu. I. Otsenka kachestva upravleniya po otkloneniyam ot pritselnoy linii [Assessment of quality of management by exception from the sighting line] // Materialy XI mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Peredovye nauchnye razrabotki – 2015". Tom 5. Fizika. Sovremennye nauchnye razrabotki. Praga. Izdatelskiy dom "Obrazovanie i nauka", 2015. P. 10–14.

Сведения об авторах

Агарков Сергей Анатольевич – ФГБОУ ВПО "Мурманский государственный технический университет", д-р экон. наук, профессор, ректор; e-mail: AgarkovSA@mstu.edu.ru

Agarkov S. A. – Rector of FSEI HPE "Murmansk State Technical University", Dr of Econ. Sci., Professor; e-mail: AgarkovSA@mstu.edu.ru