

CALCULATION OF SCOPES OF REGION OF IMPERMISSIBLE VALUES OF COURSES OF VESSELS FOR DOMAIN OF ELLIPTIC FORM

РАСЧЕТ ГРАНИЦ ОБЛАСТИ НЕДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ КУРСОВ СУДОВ ДЛЯ ДОМЕНА ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

A.V. Borodulin, PhD student

А.В. Бородулин, аспирант

National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

ABSTRACT

For the choice of maneuver of divergence of vessels the domain of round form is presently used, in the center of which there is a ship, and radius equal of maximum-possible distance of rapprochement. In general case maximum-possible distance of rapprochement is determined tangent to the safe domain which is built in relation to a target. For the domain of round form the size of maximum-possible distance of rapprochement is unchanging, what it is impossible to assert in regard to the domains of other form.

Collected dependence of maximum-possible distance of rapprochement from foreshortening of the drawn together vessels for the safe domain of elliptic form which will allow expecting scopes of region of impermissible values of courses of vessels in the case of his application.

Depending on the side of deviation there are two values of maximum-possible distance of rapprochement: for relative deviation to the right and to the left.

For the calculation of maximum-possible distance of rapprochement it is necessary to find expression of border relative course determining position of tangent to the safe elliptic domain. It is shown that as a border relative course at relative deviation a minimum course from four possible calculation values gets out to the left.

A border relative course at relative deviation to the right gets out a maximal course from four possible calculation values.

Analytical expressions for the calculation of four possible calculation values of relative courses in the case of application of safe domain of elliptic form are got, which scope relative courses at relative deviation to the right and to the left get out from.

The generalized algorithm is resulted and analytical expression is got for the calculation of scopes of region of impermissible values of courses of vessels which divide space of possible and dangerous combinations of courses of the drawn together vessels.

Keywords: safety of navigation, process of divergence of vessels, region of impermissible values of courses, imitation design.

РЕФЕРАТ

Для вибору маневру розходження суден в даний час використовують домен круглої форми, в центрі якого знаходиться судно, а радіус рівний гранично - допустимій дистанції зближення. У загальному випадку гранично - допустима дистанція зближення визначається дотичною до безпечного домену, який побудований відносно цілі. Для домену круглої форми величина гранично - допустимої дистанції зближення є незмінною, чого не можна стверджувати відносно доменів іншої форми.

Одержана залежність гранично - допустимої дистанції зближення від ракурсу суден, що зближуються, для безпечного домену еліптичної форми, яка дозволяє розрахувати межі області неприпустимих значень курсів суден у разі його застосування.

Залежно від сторони ухилення існують два значення гранично - допустимої дистанції зближення: для відносного ухилення управо і вліво.

Для розрахунку гранично - допустимої дистанції зближення слід знайти вираз граничного відносного курсу, що визначає положення дотичної до безпечного еліптичного домену. Показано, що як граничний відносний курс при відносному ухиленні вліво вибирається мінімальний курс з чотирьох можливих розрахункових значень.

Граничним же відносним курсом при відносному ухиленні управо вибирається максимальний курс з чотирьох можливих розрахункових значень.

Одержані аналітичні вирази для розрахунку чотирьох можливих розрахункових значень відносних курсів у разі застосування безпечного домену еліптичної форми, з яких вибираються граничні відносні курси при відносному ухиленні управо і вліво.

Приведений узагальнений алгоритм і одержано аналітичний вираз для розрахунку меж області неприпустимих значень курсів суден, які розділяють простір допустимих і небезпечних поєднань курсів суден, що зближуються.

Ключові слова: безпека судноводіння, попередження зіткнень, безпечний домен, область неприпустимих значень курсів суден.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

Снижение аварийности судов при плавании в стесненных водах является важнейшей проблемой обеспечения безопасности судовождения. Аварийность по причине столкновений судов до сих пор находится на высоком уровне, чем обусловлена необходимость разработки эффективных мер по предупреждению их столкновений.

В настоящее время для выбора маневра расхождения судов пользуются доменом круглой формы, в центре которого находится судно, а радиус равный предельно-допустимой дистанции сближения. В общем случае предельно-

допустимая дистанция сближения определяется касательной к домену. Очевидно, для домена круглой формы величина предельно-допустимой дистанции сближения является неизменной, чего нельзя утверждать в отношении доменов другой формы, которые предлагаются наряду с круговым доменом. Поэтому в данной публикации найдем зависимость предельно-допустимой дистанции сближения от ракурса сближающихся судов для домена эллиптической форм, которая позволит рассчитать границы области недопустимых значений курсов судов в случае его применения.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

В работе [1] для описания процесса расхождения используются методы теории оптимальных дискретных процессов, а в работах [2, 3] предложена формализация взаимодействия судов при расхождении методами теории дифференциальных игр.

Метод нелинейной интегральной инвариантности для описания процесса расхождения и выбора одношагового маневра предупреждения столкновения предложен в работе [4]. Способ предупреждения столкновения судов путем смещения на параллельную линию пути с оптимизацией маневра по экономическому критерию рассмотрен в монографии [5]. Формализация взаимодействия судов при возникновении угрозы столкновения предложена в работе [6], с ее помощью предложена алгоритмизация МППСС-72, а в работе [7] изложены результаты исследования эффективности парных маневров расхождения. В монографии [8] всесторонне исследован принцип локально-независимого управления процессом расхождения и разработан метод гибких стратегий их расхождения, который позволяет произвести синтез стратегии расхождения судна с несколькими опасными целями с учетом навигационных опасностей и динамики судна. Рассмотрению двух различных подходов к решению задачи безопасного расхождения посвящена работа [9], а также приведен анализ методов их реализации.

В работе [10] рассмотрена разработка информационной системы предупреждения столкновений судов, а в работе [11] предложен оперативный способ определения параметров маневра расхождения судна изменением курса.

Формулирование целей статьи (постановка задачи)

Цель настоящей статьи - разработка процедуры расчета границ области недопустимых значений курсов судов в случае применения домена эллиптической формы.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

В работе [9] для принципа внешнего управления судами в ситуации опасного сближения предложен метод выбора маневра расхождения с помощью области недопустимых значений курсов судов. В случае, если скорости судов

удовлетворяют неравенству $V_c < V_1$, т. е. $p = \frac{V_c}{V_1} < 1$, то зависимость между курсами судов K_1 и K_c для случая сближения выражается следующим образом:

$$K_1 = \gamma + \arcsin[p \sin(K_c - \gamma)], \quad (1)$$

где $\gamma = \alpha \pm \arcsin \frac{D_d}{D}$;

α , D - пеленг и дистанция между судами;

D_d - предельно-допустимая дистанция сближения.

Как раньше отмечалось, в случае, когда форма безопасного домена отличается от круга, предельно - допустимая дистанция сближения D_d не является постоянной, а зависит от параметров ситуации сближения, в первую очередь пеленга на цель α и курса цели K_c , (рис. 1).

Как следует из рис. 1, существует два граничных курса: относительным уклонением вправо K_{ot}^s и относительным уклонением влево K_{ot}^p , линия которых касательная к домену.

Величина предельно - допустимой дистанции сближения судов с учетом формы безопасной зоны, очевидно, зависит от стороны относительного уклонения и определяется граничными относительными курсами K_{ot}^s и K_{ot}^p .

Обозначим D_d^s и D_d^p - предельно - допустимые дистанции сближения при относительном уклонении судна соответственно вправо и влево, как показано на рис. 1. Из этого же рисунка можно найти выражения для определения предельно - допустимых дистанций сближения:

$$\begin{aligned} D_d^s &= D |\sin(K_{ot}^s - \alpha)|; \\ D_d^p &= D |\sin(K_{ot}^p - \alpha)|. \end{aligned} \quad (2)$$

В работе [12] показано, что граничные относительные курсы K_{ot}^s и K_{ot}^p определяются одним из четырех относительных курсов $\bar{K}_{ymin1}$, $\bar{K}_{ymin2}$, $\bar{K}_{ymin3}$ и $\bar{K}_{ymin4}$, после расчета которых искомые величины относительных граничных курсов уклонения судна K_{ot}^s и K_{ot}^p находятся из выражений:

$$\begin{aligned} K_{ot}^s &= \max \{ \bar{K}_{ymin1}, \bar{K}_{ymin2}, \bar{K}_{ymin3}, \bar{K}_{ymin4} \}. \\ K_{ot}^p &= \min \{ \bar{K}_{ymin1}, \bar{K}_{ymin2}, \bar{K}_{ymin3}, \bar{K}_{ymin4} \}. \end{aligned}$$

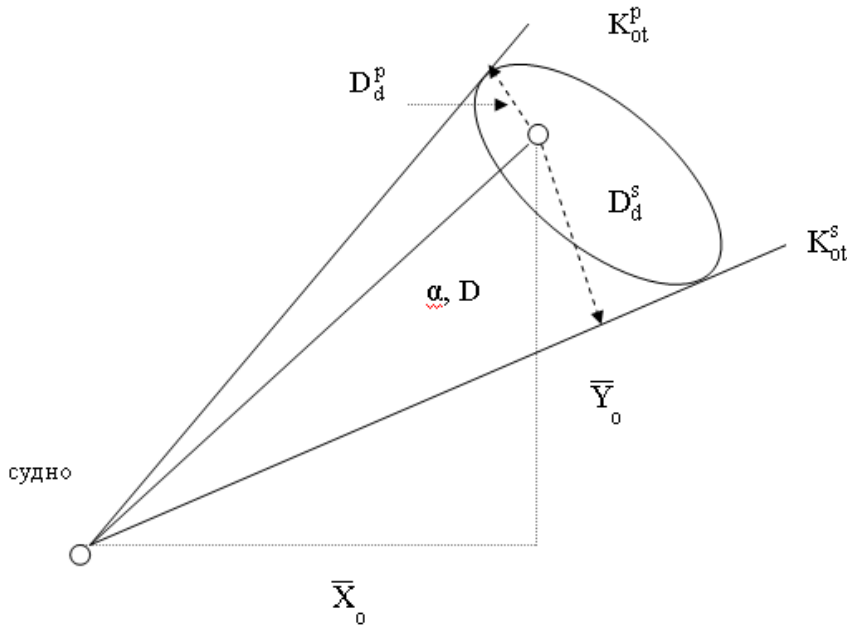


Рис. 1. Предельно - допустимые дистанции сближения

Выражения для относительных курсов $\bar{K}_{ymin1}$, $\bar{K}_{ymin2}$, $\bar{K}_{ymin3}$ и $\bar{K}_{ymin4}$ получены в работе [12] и имеют следующий вид:

$$\bar{K}_{ymin1,2} = \arctg \frac{\bar{X}_o \pm b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} \sin K_c + x_1 \cos K_c}{\bar{Y}_o \pm b \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{a^2}} \cos K_c - x_1 \sin K_c},$$

$$\bar{K}_{ymin3,4} = \arctg \frac{\bar{X}_o \pm b \sqrt{1 - \frac{x_2^2}{a^2}} \sin K_c + x_2 \cos K_c}{\bar{Y}_o \pm b \sqrt{1 - \frac{x_2^2}{a^2}} \cos K_c - x_2 \sin K_c}, \quad (3)$$

где x_1 и x_2 равны:

$$x_1 = -\frac{a^2 cb}{a^2 + c^2 r^2} + \sqrt{\left(\frac{a^2 cb}{a^2 + c^2 r^2}\right)^2 - \frac{a^2 c^2 (b^2 - r^2)}{(a^2 + c^2 r^2)}},$$

$$x_2 = -\frac{a^2 cb}{a^2 + c^2 r^2} - \sqrt{\left(\frac{a^2 cb}{a^2 + c^2 r^2}\right)^2 - \frac{a^2 c^2 (b^2 - r^2)}{(a^2 + c^2 r^2)}},$$

причем $c = \frac{a^2}{b(\bar{Y}_o \sin K_c - \bar{X}_o \cos K_c)}$ и $r = (\bar{Y}_o \cos K_c + \bar{X}_o \sin K_c)$;

a и b - оси эллиптического домена.

Таким образом, для расчета границы области недопустимых значений курсов судов в случае применения домена эллиптической формы, задаваясь

значениями K_c , вначале с помощью выражения (3) рассчитываются граничные относительные курсы, которые определяют предельно - допустимые дистанции сближения по формуле (2). Затем, используя выражение (1), вычисляется значение K_1 границы области недопустимых значений курсов судов.

В качестве примера рассмотрим ситуацию разных скоростей судов, полагая, что $V_1 > V_2$, показанную на рис. 2, параметры которой характеризуется следующими значениями: $\alpha = 150^\circ$, $D = 3$ мили, $K_1 = 122^\circ$, $V_1 = 22$ узл., $K_2 = 351^\circ$, $V_2 = 18$ узл. На рис. 3 показана область S_{Dij} , построенная для эллиптического домена, большая ось которого равна 1 миле, а малая - $2/3$ мили. Как следует из приведенного рисунка, точка, соответствующая начальным курсам судов, находится в области S_{Dij} , что свидетельствует об опасном сближении и необходимости выбора маневра расхождения. С этой целью на верхней границе области S_{Dij} , соответствующей относительному уклонению вправо, выбрана точка с курсами $K_1 = 132^\circ$ и $K_2 = 3^\circ$ (рис. 3), которая является маневром расхождения.

Обращаем внимание, что при этом маневре расхождения, обозначенном на границе области S_{Dij} концентрическими окружностями, дистанция кратчайшего сближения $L_m = 0,24$ мили и равна предельно-допустимой дистанции уклонения вправо D_{ds} .

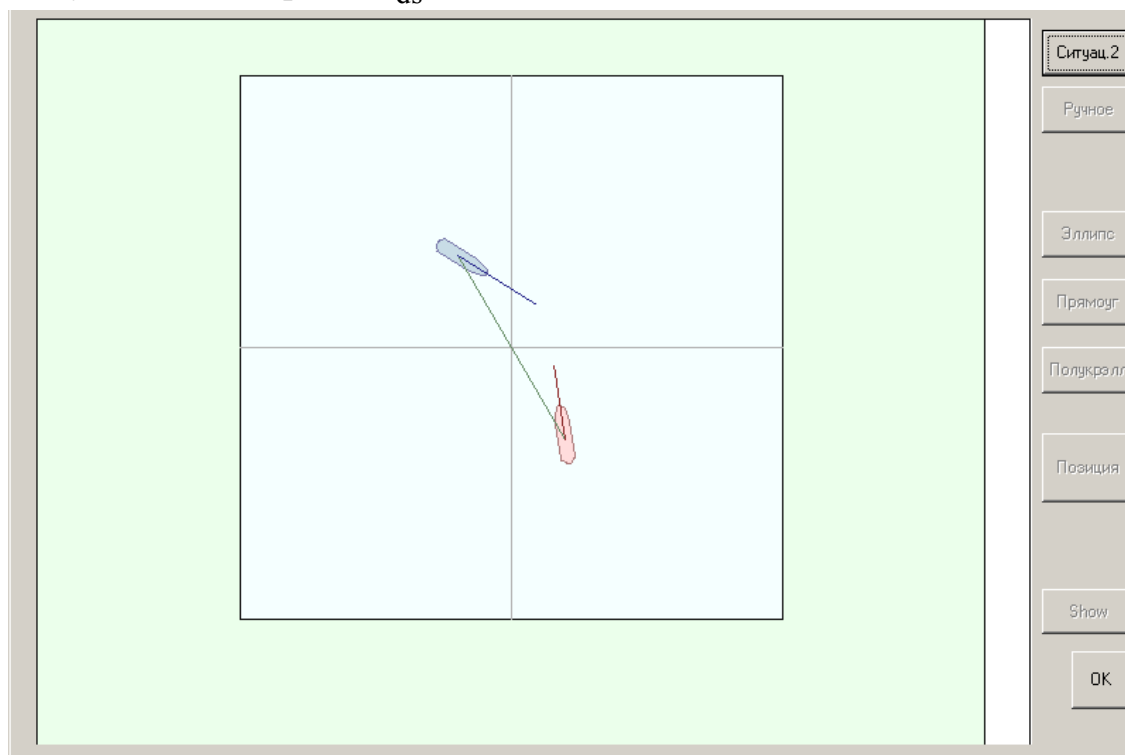


Рис. 2. Ситуация опасного сближения судов при $V_1 > V_2$

На рис. 4 показано, что этому маневру соответствует линия относительного курса, которая является касательной к эллиптическому домену. Указанное обстоятельство свидетельствует о том, что расхождение судна с

целью является безопасным, так как дистанция кратчайшего сближения судов равна предельно-допустимой дистанции уклонения вправо D_{ds} , и судно предотвращает попадание цели в свой безопасный домен.

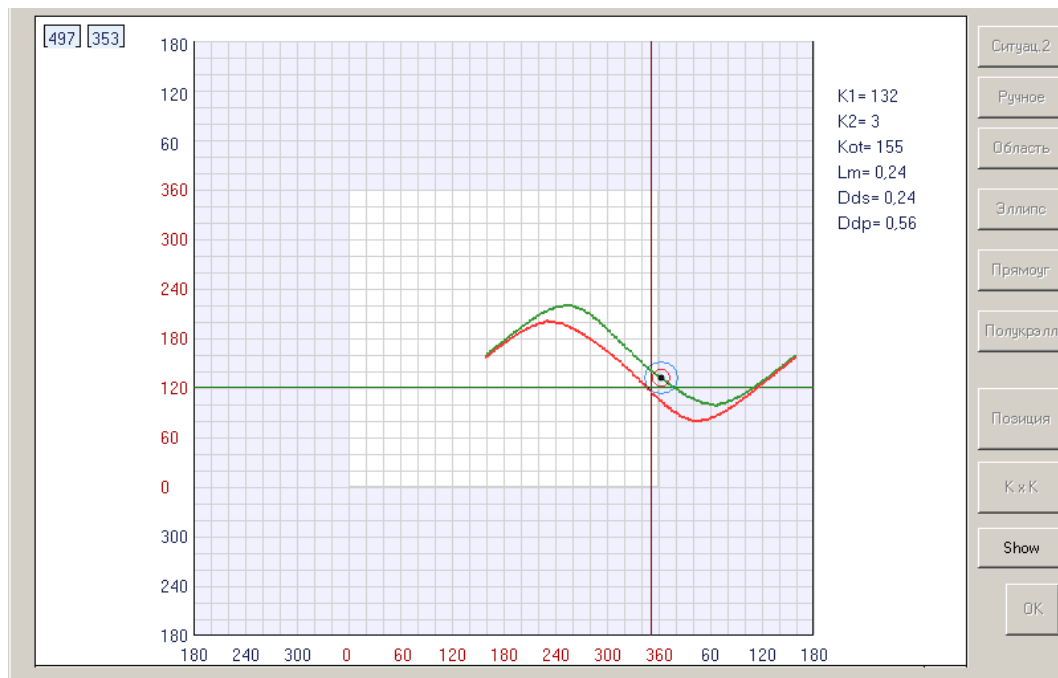


Рис. 3. Выбор маневра расхождения относительным уклонением вправо

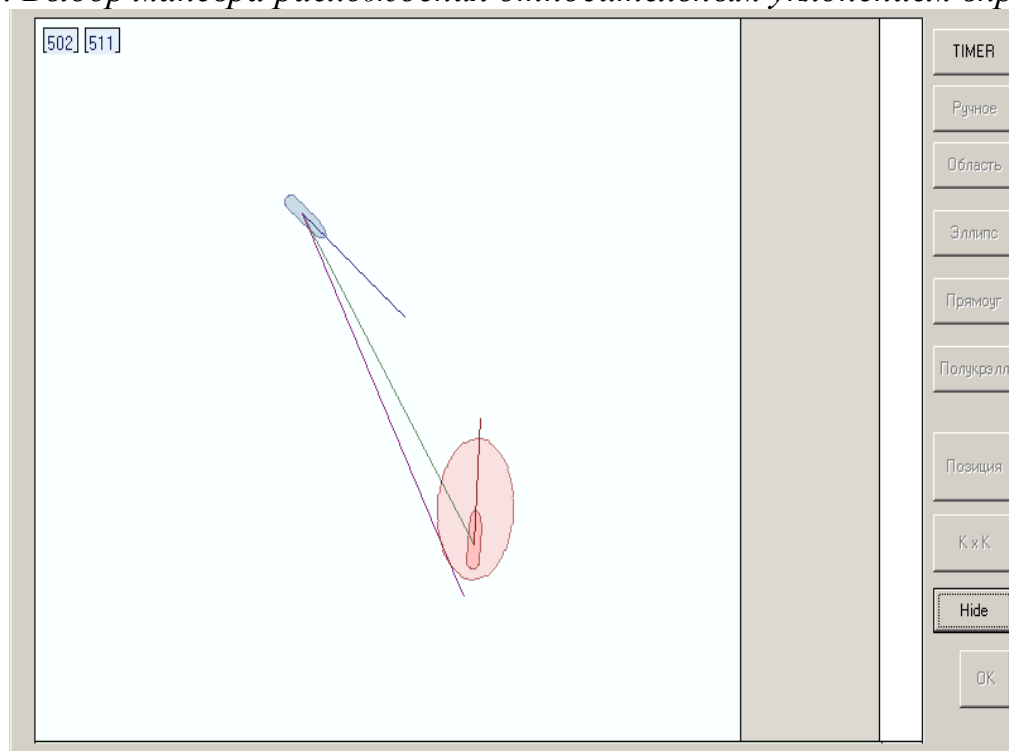


Рис. 4. Анализ маневра расхождения относительным уклонением вправо

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, предложена процедуры расчета границ области недопустимых значений курсов судов в случае применения домена

эллиптической формы. В дальнейшем целесообразно рассмотреть зависимость границ области недопустимых значений курсов судов для доменов других форм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куликов А. М. Оптимальное управление расхождением судов / Куликов А. М., Поддубный В. В. // Судостроение. – 1984. - № 12. - С. 22 - 24.
2. Кудряшов В. Е. Синтез алгоритмов безопасного управления судном при расхождении с несколькими объектами / Кудряшов В. Е. // Судостроение. – 1978. - №5. – С. 35 - 40.
3. Lisowski J. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation/ Lisowski J. // Advances in Safety and Reliability. – 2005. - Vol. 2. - London-Singapore, Balkema Publishers. – P. 1285 - 1292.
4. Павлов В.В. Некоторые вопросы алгоритмизации выбора маневра в ситуациях расхождения судов/ Павлов В.В., Сеньшин Н.И. // Кибернетика и вычислительная техника. – 1985. - № 68. - С. 43 - 45.
5. Вагущенко Л.Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути / Вагущенко Л.Л. – Одесса: Фенікс, 2013. – 180 с.
6. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения /. Пятаков Э.Н., Бужбецкий Р.Ю., Бурмака И.А., Булгаков А.Ю. – Херсон: Гринь Д.С., 2015. - 312 с.
7. Пятаков Э.Н. Оценка эффективности парных стратегий расходящихся судов / Пятаков Э.Н., Заичко С.И. // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, – Вып.15. - Одесса: "ИздатИнформ", 2008. – С. 166 – 171.
8. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Цымбал Н.Н., Бурмака И.А., Тюпиков Е.Е. - Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
9. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / Бурмака И.А., Пятаков Э.Н., Булгаков А.Ю. - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), – 2016. - 585 с.
10. Петриченко Е.А. Разработка судовой информационной системы предупреждения столкновений. / Петриченко Е.А., Петриченко О.А.// Судовождение: Сб. научн. трудов ОНМА, - 2018. - Вып. 28. – С. 120-130.
11. Петриченко О.А. Оперативный способ определения параметров маневра расхождения судна. / Петриченко О.А.// Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI(22), Issue: 186, 2018.- С. 68-71.
12. Бурмака И.А. Определение предельно-допустимой дистанции сближения при эллиптической форме судового домена/ Бурмака И.А. // Austria - science, Issue: 23, 2019.- С. 36 - 43.