

Посилання на статтю

Тесленко П.А. Модель управления движением галсами на основе закона Тернера-Руденко / А.П. Тесленко // Управление проектами и развитие: Сб. науч. раб. - М.: изд-во ВНУ им. Даля, 2009. - № 2 (30). - С. 113-118. - Режим доступа: <http://www.pmdp.org.ua/images/Journal/30/09tpaozt.pdf>

УДК 658:005.8

П.А. Тесленко

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ГАЛСАМИ НА ОСНОВЕ ЗАКОНА ТЕРНЕРА-РУДЕНКО

Рассмотрено влияние внешних воздействий на процесс управления парусником при движении галсами. Обоснована зависимость управляющего воздействия от внешних параметров. Предложен графический подход нахождения управляющего воздействия. Получены аналитические выражения. Рис. 1, ист. 4.

Ключевые слова: парусник, движение галсами, управляющее воздействие, проекция вектора.

П.О. Тесленко

МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ГАЛСАМИ НА ОСНОВІ ЗАКОНУ ТЕРНЕРА-РУДЕНКО

Розглянуто вплив зовнішніх чинників на процес управління вітрильником при русі галсами. Обґрунтовано залежність керуючого впливу від зовнішніх параметрів. Запропоновано графічний підхід знаходження керуючого впливу. Отримано аналітичні вирази. Рис. 1, дж. 4.

P.O. Teslenko

THE MODEL OF TACK MOVING MANAGEMENT ON THE BASE OF TERNER-RUDENKO'S LAW

External influence on process of sailfish tack moving management is considered. Controlling influence dependence from external parameters is grounded. Graphic approach to define controlling influences is offered. Analytical expressions are received.

Постановка проблеми. Как известно, движение галсами представляет собой специальный вид движения парусного парусника при его перемещении по водной поверхности моря из одного места в другое и далее вплоть до завершения соревнования или плавания. Движение парусника галсами планируется, контролируется, регулируется и направляется в требуемом направлении командой парусника с помощью механизмов управления. При этом план движения парусника разрабатывается до его начала, контроль движения к цели осуществляется в процессе перемещения парусника по избранной траектории, регулирование движения реализуется по мере необходимости, а направляется движение парусника к цели рулевым.

Анализ последних исследований. Дж. Родни Тернер [1, с. 55] сравнивает процессы управления парусной яхтой с процессами управления проектами.

Затем это научное положение было сформулировано С.В.Руденко [2, с. 162], таким образом, что "Развитие проекта ведет к результату, если сумма векторов градиента цели и направления движения направлена к результату". Однако, как известно, для разработки системы управления яхтой или же организационно-технической системой необходимо определить управляющее воздействие, на основе векторов градиента цели которое и приведет систему к результату. Очевидно, что использование существующего опыта в управлении парусником, а именно, управление движением галсами, позволит выявить существенные закономерности и перенести их в предметную область управления проектами.

Выбор рулевым правильным направлением парусника осуществляется с помощью рулевого механизма передачи сигнала об угле поворота штурвала на исполнительный механизм руля, с помощью которого происходит изменение его положения по отношению к оси парусника [3].

Управление движением парусника галсами состоит в том, чтобы по возможности быстрее достичь финиша и тем самым либо победить в соревновании, либо обеспечить достижение желаемого результата с наибольшим эффектом. В любом случае управление движением галсами предполагает обязательный приход парусника к финишу и получение суммарных эффектов от перемещения парусника вдоль траектории движения от старта к финишу. Предварительно отметим, что трасса соревнований либо плавания отмечена реальными, либо воображаемыми буйками.

В обычной практике эффективность управления движением галсами, прежде всего, зависит от знаний и опыта управляющего рулевым механизмом.

Для него входными условиями являются:

- заданная трасса соревнований (расположение буйков на морской поверхности и расстояние между ними);
- погодные условия;
- наличие опыта экипажа;
- конструктивные особенности парусника.

Особое значение в деле управления движением галсами имеют движение воздушных масс в акватории трассы, скорость и направление ветра.

Помимо перечисленных выше входных условий, рулевой должен использовать текущие данные:

- о состоянии парусника;
- о силе и направлении ветра;
- о пройденном расстоянии;
- о фактической траектории движения парусника;
- об отклонениях в движении от ранее намеченной траектории;
- о положении парусника и состоянии парусов.

В обычной практике управления рулевой вынужден постоянно получать информацию о состоянии парусника, быстро ее обрабатывать и своевременно реагировать на непредусмотренные отклонения от заранее намеченной траектории движения парусника, используя при этом измерительные устройства и приборы.

Целью исследований есть поиск связей и закономерностей между внешними условиями и действиями экипажа при реализации движения парусника галсами. Указанную связь планируется выявить в виде управляющего воздействия с учетом внешних и внутренних факторов, а также стратегических и тактических установок.

Основная часть исследований. Как было заявлено выше, модель управления движением галсами в контексте данной статьи трансформируется в моделирование управляющего воздействия на парусник с целью получения

запланированных результатов. Для этого построим специальную систему координат, которая выбирается так, что ее начало (точка 0) совмещается со стартовой точкой движения парусника – местом расположения первого буйка (точка B_1), т.е. $0 = B_1$ (см. рис.1.а). Ось абсцисс этой системы совмещается с прямой, проходящей через эту точку и отрезок, который соединяет первый буюк со вторым (точка B_2). Ось ординат проходит перпендикулярно оси абсцисс. На оси абсцисс выделим орт этой оси, который обозначим символом \vec{i} , а на оси ординат – орт \vec{j} . Отрезком [Д, Е] на рисунке обозначена ось паруса относительно оси парусника и направления ветра.

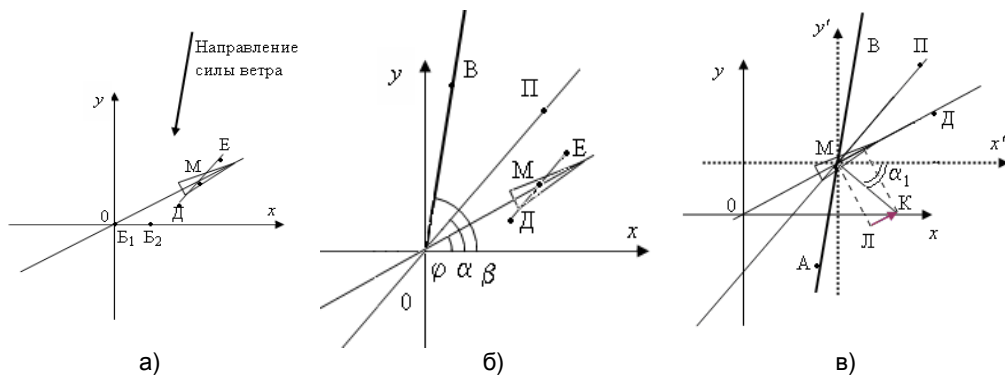


Рис. 1. Система координат модели управления движения галсами

Нахождение управляющего воздействия предполагает измерение скорости движения парусника: его величины и направления. В рамках данной статьи предположим, что измерение всех необходимых для построения модели параметров: величины и направления скорости ветра, парусника, его месторасположения производится с помощью соответствующих измерителей и эти данные доступны для принятия решений.

Траектория движения парусника определим в виде равенства (1)

$$\vec{r} = \vec{r}(t), \quad (1)$$

где вектор $\vec{r}(t)$ – радиус-вектор центра тяжести парусника.

Для того чтобы формула (1) стала работающей, необходимо определить правую часть (1) так, чтобы текущие координаты вектора $\vec{r}(t)$ соответствовали положению центра масс парусника в ранее выбранной системе координат. Поэтому правую часть равенства (1) можно считать известной с некоторыми оговорками.

Теоретически скорость движения парусника определяется производной $\dot{\vec{r}}(t)$ скорости движения центра масс в избранной системе координат. Если только система координат выбрана так, что ее начало совмещается с координатами центра масс в стартовый момент времени, тогда $\vec{r}(t) = \vec{OM} = x(t) \cdot \vec{i} + y(t) \cdot \vec{j}$. При этом точка М представляет собой текущее геометрическое место расположения центра масс парусника. С помощью этого равенства аналитически возможно определить величину и направление скорости движения парусника.

С другой стороны, траектория движения парусника с допустимой погрешностью может быть записана на основе второго закона Ньютона:

$$m \cdot \ddot{\vec{r}}(t) = \vec{F}(t; \vec{r}(t); \dot{\vec{r}}(t); \vec{p}_a; \vec{\delta}_t; \vec{u}(t)), \quad (2)$$

где m – масса парусника;

\vec{F} – суммарная сила, действующая на парусник;

$\vec{\delta}_a$ – вектор параметров, которые во время движения парусника остаются неизменными;

\vec{p}_t – вектор параметров, которые во время движения претерпевают изменения;

$u(t)$ – вектор управляющих воздействий.

По сути, в (2) указана зависимость суммарной силы воздействия от текущего момента t времени, от динамических и параметрических характеристик парусника, а также от управляющего воздействия на перемещение парусника по поверхности воды. Для того чтобы воспользоваться этим уравнением, необходимо точно знать зависимость суммарной силы воздействия внешних сил на судно. При этом необходимо иметь в виду, что эта сила должна быть приведена к точке ее приложения, в качестве которой выступает центр тяжести парусника (рис. 1 в).

Проанализировав все силы, оказывающие воздействующие на парусник, мы пришли к выводу, что основополагающей является сила ветра и ее направление в соотношении с направлением движения судна. В связи с этим зафиксируем зависимость между измеренной силой ветра, которую обозначим символом \vec{F}_a , и силой \vec{F}_1 давления воздушных масс на судно. Речь идет о том, что ветер давит на всю активно противодействующую поверхность P_0 парусника, площадь которой равна $S_1 + S_2$, где символом S_1 обозначена площадь поверхности P_n парусов, а символом S_2 - площадь поверхности P_n надводной части парусника, на которую воздушная масса налетает без каких-либо помех. По этой причине при некоторых условиях имеет место равенство

$$\vec{F}_1 = (S_1 + S_2)\vec{F}_a = S_1\vec{F}_a + S_2\vec{F}_a = \vec{F}_a^1 + \vec{F}_a^2. \quad (3)$$

К тому же площадь активно противодействующей поверхности парусника существенно зависит от положения парусника по отношению к ветру.

В качестве некоторого отступления укажем на точечный характер рассуждений в том смысле, что соотношения верны в каждой точке соприкосновения воздушных масс с поверхностью парусника. Если требуется найти интегральную силу давления воздушных масс на судно, необходимо перейти к вычислению поверхностных интегралов вида $\iint \vec{F}_e(t; x; y; z) d\vec{s}$.

Здесь эти вычислительные формулы опущены.

С точки зрения управления судном главной составляющей силы давления воздушных масс на судно необходимо считать F_e^1 (3). Эта величина может изменяться от нуля до фактической площади парусов. При этом пределы изменения величины S_2 ограничены площадью поверхности парусника при

направленности парусника прямо против ветра и площадью поверхности парусника при перпендикулярном расположении оси парусника и ветра.

Для того чтобы найти зависимость управляющей составляющей от параметрических характеристик парусника и воздействием ветра, зафиксируем расположение в пространстве осей: парусника, ветра и парусов. Для этого введем соответствующие углы относительно оси абсцисс выбранной системы координат. На рис. 1 б представлены прямые и углы:

– направление ветра: прямая [О, В], угол β ;

– ось паруса судна: прямая [О, П], угол α (прямая [О, П] параллельна отрезку [Д, Е];

– ось парусника: прямая [О, М], угол φ .

Для нахождения управляющего воздействия, выполним разложение вектора силы ветра действующего по прямой [О, В] по базису $(\vec{i}; \vec{j})$, которое в двумерном пространстве в общем виде может быть представлено таким образом [4]:

$$\vec{a} = a_x \cdot \vec{i} + a_y \cdot \vec{j} = a(\cos \alpha \cdot \vec{i} + \sin \alpha \cdot \vec{j}). \quad (4)$$

Как было указано выше, приведем основные векторы, принимающие участие в нахождении управляющего воздействия к центру масс парусника (рис. 1 в.). Это позволит нам наглядно получить проекцию вектора силы ветра F_e^1 на ось парусника.

Как известно, использование парусов при управлении судном состоит в том, что движение против ветра может осуществляться только за счет той составляющей силы давления ветра на парус, которая сонаправлена по оси парусника. Для ее нахождения спроецируем вектор силы ветра F_e^1 на ось парусов и разложим ее на две составляющие. Одна из них параллельна парусам, а другая – перпендикулярна (отрезок [М, К] рис. 1. в.).

Если перпендикулярную составляющую этого разложения, [М, К], спроектировать на ось парусника и повторить разложение, то получим параллельную [Л, К] и перпендикулярную [М, Л] составляющие. Обозначим символом \vec{F}_a^{1II} параллельную составляющую [Л, К]. Из рисунка видно, что только за счет этой составляющей судно может двигаться против ветра [3].

Опираясь на геометрический подход, решение задачи (поиск [ЛК]) выполним в два этапа. Вначале найдем вектор МК, как проекцию силы ветра на ось парусов – прямая [М, П], а затем найдем вектор ЛК, как проекцию вектора МК на ось парусника – прямая [О, М]. нахождение указанных векторов проведем с учетом разложения вектора на орты опираясь на выражение (4).

Разложение проекций соответствующих векторов требует рассмотрения новых углов, которые не обозначены на рис.1.б. Так, разложение вектора силы ветра F_e^1 на параллельную и перпендикулярную составляющую, требует нахождения угла $\angle \hat{AIE} = 90^\circ - (\beta - \alpha)$ (рис. 1.в.), тогда

$$\hat{I} \vec{E} = \vec{F}_a^1 \sin(\beta - \alpha)(\cos \alpha_1 \vec{i} - \sin \alpha_1 \vec{j}). \quad (5)$$

Для нахождения вектора ЛК требуется нахождения угла $\angle \hat{AIE} = \varphi + \alpha_1$, тогда

$$\ddot{E} \vec{E} = \hat{I} \vec{E} \cos(\varphi + \alpha_1)(\cos \varphi \vec{i} + \sin \varphi \vec{j}) =$$

$$= \dot{I} \vec{E} \cos(\varphi + \alpha_1)(\cos \varphi \vec{i} + \sin \varphi \vec{j}). \quad (6)$$

Подставляя в (6) значение вектора МК (5) и избавляясь от вспомогательного угла α_1 , выразив его через основные углы (рис. 1 б) $\alpha_1=90-\alpha$, получим окончательную зависимость управляющего воздействия от силы ветра и от основных углов:

$$\begin{aligned} \ddot{E} \vec{E} &= \vec{F}_a^1 \sin(\beta - \alpha) \cos(\varphi + (90^\circ - \alpha))(\cos \varphi \vec{i} + \sin \varphi \vec{j}) = \\ &= \vec{F}_a^1 \sin(\beta - \alpha)(-\sin(\varphi - \alpha))(\cos \varphi \vec{i} + \sin \varphi \vec{j}) = \\ &= \vec{F}_a^1 \sin(\beta - \alpha) \sin(\alpha - \varphi)(\cos \varphi \vec{i} + \sin \varphi \vec{j}). \end{aligned} \quad (7)$$

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Предложено использовать в качестве управляющего воздействия системы управления движения галсами, проекцию вектора силы ветра и ее зависимость от угла атаки, месторасположения парусника и угла расположения парусов. Получены аналитические выражения, связывающие указанные параметры. Задачей дальнейших исследований является установка связи между параметрами системы управления парусником и организационно-технической системы, в частности, управляющего воздействия как проекции движущих сил на плоскость оптимальных решений в предметной области управления проектами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тернер, Дж. Родни. Руководство по проектно-ориентированному управлению / Пер. с англ. под. общ. ред. Воропаева В.И. – М.: Изд. дом Гребенщикова, 2007. – 552 с.
2. Руденко С.В. Формулировка научного положения Тернера о развитии проектов в форме закона / С.В. Руденко // Тези доп. VI міжнар. конф. "Управління проектами у розвитку суспільства" // Відповідальний за випуск С.Д. Бушуєв. – К. : КНУБА, 2009. – С. 161-163.
3. Яхтинг в Украине [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.stugna.kiev.ua.
4. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – 13-е изд., исправленное. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 544 с.

Стаття надійшла до редакції 12.05.2009 р.