

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ИНТЕРФЕЙСА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ КОНЦЕПЦИИ E-NAVIGATION В ФОРМАТЕ HEAD UP

А.Н. Попов, кандидат технических наук

А.И. Кондратьев, кандидат технических наук

Э.Э. Субанов, кандидат технических наук

Р.Э. Субанов, аспирант

В работе рассмотрен вопрос интеллектуализации интерфейса пользователя концепции e-Навигации в среде смешанной (дополненной) реальности. В последнее время активное развитие получили технологии искусственного интеллекта и дополненной реальности. На данный момент не существует общепринятых методов оценки пригодности интерфейсов пользователя, на примере проецирования навигационных данных, на лобовое стекло мостика морского судна.

Ключевые слова: интерфейс, смешанная реальность, e-Navigation, Head Up display.

The paper considers the issue of intellectualizing the user interface of the concept of e-Navigation in the environment of mixed (augmented) reality. Recently, artificial intelligence and augmented reality technologies have been actively developed. At the moment, there are no generally accepted methods for assessing the suitability of user interfaces, for example, by projecting navigation data onto the windshield of a bridge of a marine vessel.

Keywords: interface, mixed reality, e-Navigation, Head Up display.

Концепция *e-Navigation* направлена на развитие бортовых навигационных систем, береговых систем и инфраструктуры связи. Бортовые системы, включающие датчики, вырабатывающие навигационные данные, стандартный интерфейс и систему управления охраняемыми зонами и оповещения планируется объединить в единый интегрированный комплекс.

Следует отметить, что сегодня уделяется достаточно внимания вопросам комплексной автоматизации судов и всех технологических процессов. При этом часть функций человека-оператора (судоводителя) предлагается автоматизировать, передав их системе искусственного интеллекта (СИИ), так как она обладает рядом преимуществ по сравнению даже с квалифицированным судоводителем (точность, надежность и др.). Однако простое наращивание средств автоматизации на флоте и в портовой инфраструктуре является недостаточным для комплексного решения проблемы человеческого элемента. Существует противоречие между традиционно сложившимся типом взаимодействия «человек-машина» и возможностями современных информационных технологий (ИТ), позволяющих перейти к взаимодействию по типу «человек-среда». Для улучшения человеко-машинного взаимодействия необходимо интеллектуализировать интерфейс пользователя, посредством которого судоводитель в интерактивном и удобном (интуитивно понятном) виде будет получать информацию, прошедшую комплексную обработку, с учетом оценки и прогноза складывающейся ситуации для подготовки принятия решений.

Стратегический план развития (СПР) e-Навигации в общем состоит из компонентов трех типов (инструментарий *e-Navigation*) в соответствии с Annex 7 of NCSR 1/28, а именно:

- пять приоритетных решений *S1, S2, S3, S4 и S9*;
- семь вариантов управления рисками;
- шестнадцать сервисов для соответствующих районов.

В соответствии с СПР (*S4, S4.1.2*) должны быть разработаны стандартизированные интерфейсы для обмена данными для поддержки передачи информации от коммуникационного оборудования в навигационную систему [1].

В настоящее время когнитивные и временные возможности человека-оператора (судоводителя) используются не рационально, о чем свидетельствует довольно высокая аварийность на морском транспорте. Это вызвано отсутствием детального исследования в предметной области с одной стороны, с другой технологические решения в области ИТ (смешанная реальность) до сих пор не нашли практического применения. Во многом это связано с отсутствием общепринятых методов оценки качества восприятия информации (данных) в среде виртуальной и дополненной реальности.

Дополненная реальность (ДР) – это среда, созданная с дополнением физического мира (аналоговая информация) виртуальными цифровыми сенсорными данными (цифровая информация) в режиме реального времени при помощи компьютерных устройств, а также программного обеспечения к ним. Она открывает для судово-

дителя новые возможности восприятия и взаимодействия с окружающим миром, которые позволяют получить полезную информацию, применяя для этого минимум усилий (когнитивная нагрузка).

Виртуальная реальность (ВР) – это среда, созданная техническими средствами, передаваемая судоводителю через его зрительное восприятие. Использование и доступ к этим данным ограничено виртуальной средой. Мир можно использовать, чтобы играть, изучать и практиковать процессы и изучать новые знания. ВР (*virtual environment*) является интерактивной, управляемой в режиме реального времени.

Смешанная реальность (СР) – это среда, которая охватывает ДР и дополненную виртуальность (ДВ). Данную среду также называют смешанной реальностью. СР является следствием объединения реального и виртуального миров для создания новых окружений и визуализаций, где физические (аналоговые) и цифровые объекты сосуществуют и взаимодействуют в реальном времени.

В 1994 году *P. Milgram* и *F. Kishino* формализовали реальную и виртуальную среду, включая их производные ДР и дополненную виртуальность (ДВ) в формате реально-виртуального континуума (РВК) (рисунок 1).

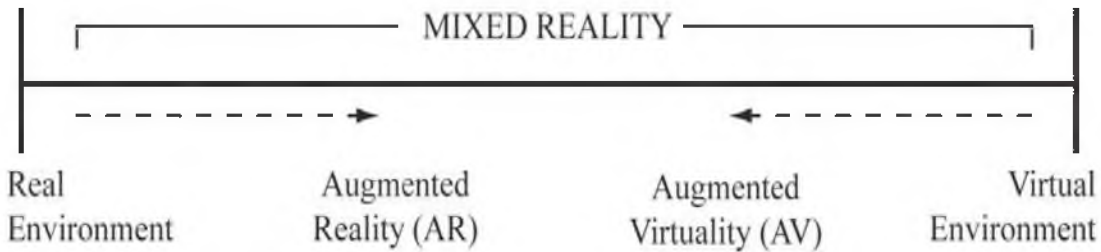


Рисунок 1 –Реально-виртуальный континуум

РВК описывает разные уровни реализма. С левой стороны находится реальная среда, и чем больше виртуальных данных добавляется, тем больше используется термин ВР. В соответствии с РВК смешанная реальность (*MixedReality*) включает обе производные реального и виртуального мира – ДР и ДВ.

В 1997 году *R. Azuma* определил ДР, как систему, обладающую следующими характеристиками: совмещение реального и виртуального мира; интерактивность в режиме реального времени; представление информации в формате 3 Д.

R. Azuma упомянул, что ДР будет примером интеллектуального усиления, описываемым как использование компьютера в качестве инструмента, позволяющего выполнять поставленные задачи с меньшими затратами когнитивной составляющей.

В работе предлагается отобразить навигационную информацию на лобовом стекле мостика морского судна с целью минимизации когнитивных и временных нагрузок, существующих в традиционном (сегодняшнем) варианте взаимодействия человека и машины (рисунок 2) [2].

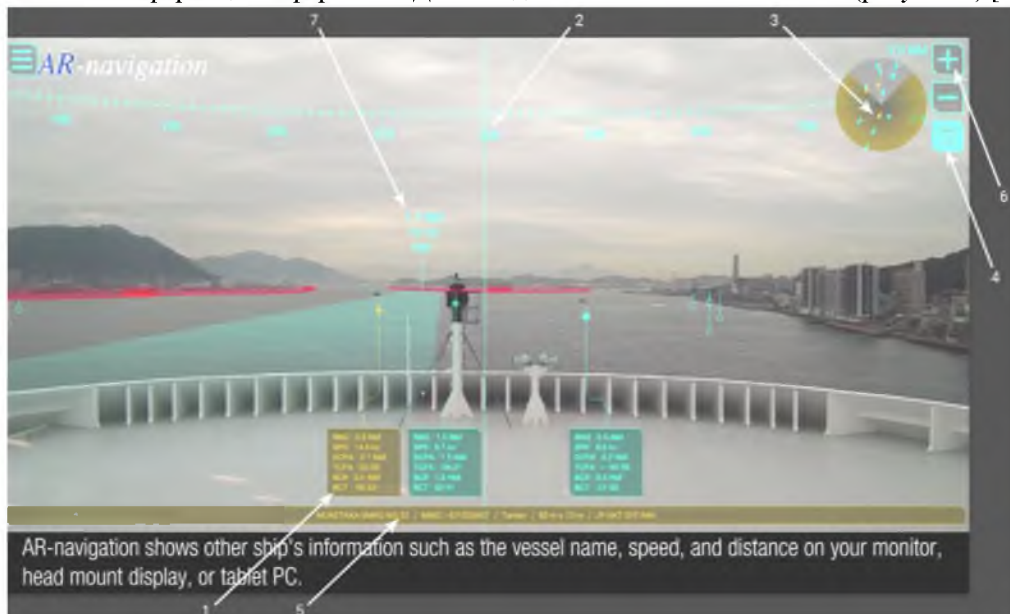


Рисунок 2 –Морской HeadUp интерфейс

Описание интерфейса судоводителя в режиме *HeadUp* можно пояснить с использованием дополнительных информационных ссылок 1-7. Итак:

1 – в прямоугольной табличке (формуляр ближайшей к нашему судну цели) содержится информация, которую судоводитель обычно использует в процессе принятия решения при расхождении с судном-целью (дистанция, скорость, дистанция кратчайшего сближения, время до дистанции кратчайшего сближения, дистанция кратчайшего сближения с носовой частью судна и время до дистанции кратчайшего сближения с носовой частью судна);

2 – курс судна;

3 – отображение судов-целей (вид сверху), которое обычно используется при радиолокационном наблюдении и в электронной картографии;

4 – режим ориентации по курсу (для позиции 3 – отображение судов-целей);

5 – информация о судне-цели (информация АИС);

6 – функция управления масштабом;

7 – информация о текущей точке маршрута (дистанция, время и курс в точку).

Формат *HeadUp* (условное название – контроль обстановки с поднятой головой) довольно успешно зарекомендовал себя в авиационном и автомобильном транспорте, т.к. позволяет человеку-оператору, в данном случае судоводителю не отвлекаться от контроля текущей обстановки и что, не менее важно взаимодействовать с интуитивно понятной информацией в формате 3Д. В последнее время разработчики навигационных систем мостика современных судов все чаще стали использовать подход *highhuman* или *humancentereddesign*, который направлен в сторону «очеловечивания» рабочих условий при взаимодействии человека и машины.

Перейдем к задаче отображения судна-цели на лобовом стекле. Разработан алгоритм для его реализации в нескольких вариантах.

Системы координат.

При решении задачи отображения используется несколько систем координат (СК).

Географическая система координат G.

Точка на поверхности воды задается двумя числами — широтой и долготой — в радианной мере. Первой указывается широта, второй долгота. Положительные значения соответствуют Северному и Восточному, а отрицательные — Южному и Западному полушариям. Таким образом, широта принимает значения в отрезке

$[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}]$, а долгота в отрезке $[-\pi, \pi]$. В раз-

работанном алгоритме имеется специализированный модуль **GeoPoint**, в котором имеются конструкторы, получающие объект **GeoPoint** из координат, записанных в более традиционном стиле [3].

Начала всех нижеследующих декартовых СК на момент производства расчета находятся в точке расположения приемника данных спутниковой навигации (условно, *GPS*) судна-носителя системы.

Декартова СК DG2. Определяется данными о положении судна-носителя, получаемыми от систем спутниковой навигации. Начало координат совпадает с позицией приемника *GPS*. Первая ось направлена горизонтально на восток. Вторая горизонтально на север.

Декартова СК DS2. Определяется данными о движении судна-носителя, получаемыми от систем спутниковой навигации. Первая ось направлена горизонтально перпендикулярно направлению движения по *GPS* с поворотом от направления по *GPS* по часовой стрелке. Вторая горизонтальна и имеет направление движения по *GPS*.

Декартова СК Sh. Связана с корпусом судна-носителя. Первая ось перпендикулярна диаметральной плоскости и направлена к правому борту. Вторая перпендикулярна плоскости шпангоута и направлена к носу судна. Третья перпендикулярна плоскости палубы и направлена "вверх". Эта СК в [5] названа целевой.

Экранная косоугольная СК Sc. Двумерная. Принадлежит рассматриваемому стеклу и зависит от его выбора. Она определяется следующим образом.

Из трех координат СК **Sh** выберем ту, ось которой наиболее близка к перпендикуляру к плоскости стекла. В **Sc** войдут две оставшиеся координаты. Их порядок определяется тем условием, что при взгляде изнутри рубки система координат должна иметь правую ориентацию, т.е. кратчайший переход от положительного направления первой координаты к положительному направлению второй должен происходить против часовой стрелки. Порядок следования координат в **Sc** будем описывать сигнатурой — парой номеров координат от СК **Sh**. Если (x_1, x_2, x_3) — координаты точки в СК **Sh**, то для лобового стекла координатами в СК **Sc** будут $(y_1, y_2) = (x_1, x_3)$, что можно выразить сигнатурой (1, 3). Для правого стекла СК **Sc** состоит из

координат $(y_1, y_2) = (x_3, x_2)$, сигнатура (3, 2).

Для левого стекла $(y_1, y_2) = (x_2, x_3)$, сигнатура (2, 3).

Перевод координат точки M из СК Sh в СК Sc осуществляется следующим образом:

$$M2D[1] = M[\text{signature}[1]];$$

$$M2D[2] = M[\text{signature}[2]].$$

Описание задачи.

По определению виртуальный объект находится на поверхности воды и его положение задано географическими координатами — широтой и долготой. Виртуальный объект может дублировать (помечать, обозначать) реальный объект, как подвижный (судно), так и неподвижный (буй, характерная точка мола, причала и т.д.). А может быть чисто виртуальным (виртуальная вешка) и обозначать границы мели, запретной зоны или, наоборот, рекомендуемый путь движения, фарватер. В любом случае мы называем его реальной целью.

На мостике нашего судна (судно-носитель) находится человек-оператор (судоводитель). Необходимо вычислить положение точки на стекле, метка в которой будет восприниматься этим человеком как метка виртуальной цели. Виртуальная цель — место на поверхности воды, куда метка проецируется для глаза человека. Само стекло считаем плоским выпуклым четырехугольником с вершинами A, B, C, D , заданными в СК Sh.

Эта задача решается для одного момента времени. Скорости перемещения носителя и цели здесь не имеют значения.

Исходные данные.

GeoPointgp0 — точка нахождения приемника *GPS* судна-носителя: широта и долгота в радианной мере. Центральная точка проекции Ламберта. Южная широта и западная долгота имеют отрицательные значения.

doubleh — высота приемника над уровнем воды.

GeoPointgp — географические координаты реальной цели.

Для определения ориентации корпуса судна даны 3 угла. Все они измеряются в радианной мере. Имеется ввиду, что именно эти углы поставляются в компьютерную систему от измерительных приборов (датчиков):

угол "истинного" курса α . Может быть получен от какого-то прибора или вычитанием угла сноса из направления движения по *GPS*;

угол крена Θ — между зенитальным направлением и диаметральной плоскостью судна. Положителен, если зенитальное направление направлено в левое полупространство, заданное диаметральной плоскостью, и отрицателен в противном случае;

угол дифферента Ψ — угол между зенитальным направлением и плоскостью шпангоута судна. Угол считается положительным, если зенитальное направление направлено в заднее полупространство (в сторону кормы), заданное плоскостью шпангоута, и отрицательным в противном случае.

Участвующие в этих определениях направления и плоскости описаны в [4].

H — координаты наблюдающего глаза в СК Sh.

Нормативно-справочная информация, определяемая конструкцией судна-носителя: плоскость стекла задается объектом **Plane3D screen** [5], содержащим коэффициенты A, B, C, D уравнения $Ax + By + Cz + D = 0$ этой плоскости в СК Sh; пусть теперь A, B, C, D — вершины углов стекла в следующем порядке: левая нижняя, левая верхняя, правая верхняя, правая нижняя относительно глаза, расположенного на мостике — заданные в СК Sc. К рассматриваемой нормативно-справочной информации относятся сигнатура стекла, векторы (**Vector2D[1]**) $\mathbf{AB} = \overrightarrow{AB}$, $\mathbf{AD} = \overrightarrow{AD}$, $\mathbf{CB} = \overrightarrow{CB}$, $\mathbf{CD} = \overrightarrow{CD}$ (в СК Sc) и точки (**Point2D [1]**) **A** и **C** (в СК Sc).

Алгоритм.

1. С помощью подходящих конструкторов создаются объекты **gp0** и **gp**. Подготавливаются исходные данные и нормативно-справочная информация.

2. Преобразование позиции цели в декартову систему координат восток–север:

PrepTrigs(gp, gp0);

p = Lambert();

p — теперь позиция цели в СК **DG2**.

3.Point3DP(p, -h);

Добавим к позиции цели третью координату. **h** — высота приемника *GPS* судна-носителя над уровнем воды. Метка цели будет изображена соответствующей положению виртуальной цели на уровне воды.

4. Matrix3D R3D = Rotate3D(alpha, Theta, Psi);

P = R3D * P;

Теперь **P** — координаты цели в СК Sh.

5. Проводим луч **toTarget** из точки наблюдающего глаза **H** до точки виртуальной цели **P**.

Структура **Path3D** описывает "движение" по прямой из точки **H** с постоянной "скоростью" **P - H**:

Path3D toTarget(H, P - H);
Выражено в **CKSh**.

6. Теперь определим, пересекает ли этот луч плоскость стекла. Луч может не пересекать плоскость, если, например, он параллелен плоскости или (в случае лобового стекла) цель находится за кормой. В этом случае логическая переменная **cross** примет значение **false**:

```
doubletime;
bool cross = toTarget.FutureCrossPlane(screen);
Point3D mark;
if(cross)
    mark = toTarget.CrossPlane(screen, time);
if(!cross || !mark.Exists())
    {printf("Нет отметки на плоскости!\n");
    getch();
    return 1;
    }
printf("time %11.9f deviation %10.3fn", time,
0.001 / time);
```

mark — координаты в **CK Sh** отметки на стекле. Если отметка на плоскости стекла не получена (**cross == false**), то выполнение алгоритма завершается с отрицательным результатом. Дальнейшие шаги алгоритма выполняются только при успешном определении **mark**.

Величина **time** в этом расчете, конечно, ничего общего со временем не имеет. Она равна отношению расстояния от наблюдающего глаза до метки цели на стекле к расстоянию от глаза до цели. С ее помощью можно оценивать последствия погрешностей в положении глаза или метки на стекле. Отклонение в 0,01 м приведет к смещению виртуальной цели на 0.01 /time метров.

Теперь определим, попадает ли метка в область стекла.

7. Сначала переведем координаты метки в **CK Sc**:
Point2D M;
M[1] = mark[signature[1]];
M[2] = mark[signature[2]];

M — двумерная точка-метка на стекле в **CK Sc**.

Для двух векторов **u** и **v** в **CKSc** переход от первого ко второму происходит против часовой стрелки (при взгляде изнутри рубки) тогда и только тогда, когда

$$u_1 v_2 - u_2 v_1 > 0. \quad (1)$$

Чтобы убедиться в этом, временно рассмотрим трехмерную СК (y_1, y_2, y_3) такую, что (y_1, y_2) — координаты СК **Sc**, определенные сигнатурой стекла, а ось Oy_3 выбрана так, что-

бы СК (y_1, y_2, y_3) была правой, то есть со стороны положительного направления оси Oy_3 кратчайший поворот от положительного направления оси Oy_1 к положительному направлению оси Oy_2 виделся против часовой стрелки. Это те же оси СК **Sh**, только возможно, в другом порядке и Oy_3 может оказаться направленной противоположно направлению соответствующей оси СК **Sh**. Тогда ось Oy_3 направлена от стекла внутрь рубки.

В этой системе координат левая часть неравенства (1) представляет собой третью координату векторного произведения векторов **u** и **v**, в этом порядке. Поскольку векторы **u** и **v** лежат в плоскости $Oy_1 y_2$, то вектор **u** × **v** направлен вдоль оси Oy_3 , в таком же или противоположном направлении. Если справедливо неравенство (1), то направление вектора **u** × **v** совпадает с направлением оси Oy_3 . Поскольку тройка **u**, **v**, **u** × **v** правая по определению векторного произведения, то в таком случае из конца вектора, то есть изнутри рубки, поворот от **u** к **v** видится против часовой стрелки. Наоборот, если справедливо неравенство, противоположное (1), то изнутри рубки поворот от **u** к **v** видится по часовой стрелке.

8. Поэтому вычислим левые части неравенства (1) для пар векторов $\overrightarrow{AM}, \overrightarrow{AB}; \overrightarrow{AD}, \overrightarrow{AM}; \overrightarrow{CM}, \overrightarrow{CD}; \overrightarrow{CB}, \overrightarrow{CM}$ (см. рис. 1):

Vector2D u;
double cA1, cA2, cC1, cC2;
u = M - A;

(Операция "вычитания" точек **M - A** порождает вектор \overrightarrow{AM} .)

cA1 = u._1 * AB._2 - u._2 * AB._1;
cA2 = AD._1 * u._2 - AD._2 * u._1;
u = M - C;
cC1 = u._1 * CD._2 - u._2 * CD._1;
cC2 = CB._1 * u._2 - CB._2 * u._1;

Попадание в область стекла определяется условиями **cA1 ≥ 0, cA2 ≥ 0, cC1 ≥ 0, cC2 ≥ 0** (рис. 3).

Если **cA1 < 0**, то точка **M** находится левее стекла. Если **cC1 < 0**, то правее.

Если **cA2 < 0**, то точка **M** находится ниже стекла. Если **cC2 < 0**, то выше.

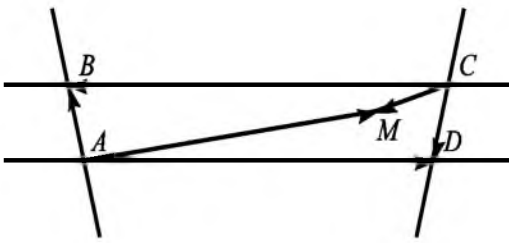


Рисунок 3 – Области относительно стекла

Знание того, в какую сторону от рассматриваемого стекла отклоняется точка М, позволяет определить следующее стекло (иллюминатор ходового мостика), для которого надо пытаться вычислить положение отметки виртуальной цели [6].

В Государственном Морском Университете имени адмирала Ф.Ф. Ушакова на базе Института Повышения Квалификации проводится подготовка специалистов водного транспорта с использованием современных тренажерных комплексов и ведутся научно-исследовательские работы по формированию новых подходов для отработки навыков принятия решения в цифровой среде (смешанная реальность) [7].

В этой связи данное направление исследования можно считать актуальным в связи с тем, что оптимизация («очеловечивание») и стандартизация интерфейса пользователя является одним из ключевых решений СПР *e-Navigation*.

Литература:

1. Hagen G.E., Implementing e-Navigation, Artech House, 2017.
2. www.mol.co.jp/en/pr/2018
3. К задаче прогнозирования столкновений судов. Документация к разработанному ПО. – Файл Project.pdf. -2019.
4. К задаче отображения обстановки в смешанной (дополненной) реальности. Документация к разработанному ПО. Вычисление матрицы поворота системы координат. – Файл Rotation3D.pdf.- 2019.
5. К задаче отображения обстановки в смешанной (дополненной) реальности. Документация к разработанному ПО. Модуль Geometry3D.-Файл Geometry3D.pdf.- 2019.

6. Popov A., Kondratiev A., Smirnov I. The algorithm for fast forecasting of the collision danger degree with ships and surface objects in the e-navigation area, AGA 2018, 19 TH Annual General Assembly (AGA) of the International Association of Maritime Universities (IAMU), 17-19 October 2018, Barcelona, Spain, pp. 442-449.
7. Milgram P., Kishino F.. A taxonomy of mixed reality visual displays. IEICE Transactions on information and systems, Vol. E77-D, № 12 December 1994.
8. Кондратьев С.И. Теоретические основы управления крупнотоннажными судами по критериям безопасности и энергосбережения: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Новороссийск, 2004.

References

1. G.E. Hagen, Implementing e – Navigation, Artech House, 2017.
2. www.mol.co.jp/en/pr/2018
3. K zadache prognozirovaniya stolknovenij sudov. Dokumentaciya k razrabotannomu PO. – Fajl Project.pdf. -2019.
4. K zadache otobrazheniya obstanovki v smeshanno (dopolnennoj) real'nosti. Dokumentaciya k razrabotannomu PO. Vychislenie matricy povorota sistemy koordinat. – Fajl Rotation3D.pdf.- 2019.
5. K zadache otobrazheniya obstanovki v smeshanno (dopolnennoj) real'nosti. Dokumentaciya k razrabotannomu PO. Modul' Geometry3D.-Fajl Geometry3D.pdf.- 2019.
6. Popov A., Kondratiev A., Smirnov I.. The algorithm for fast forecasting of the collision danger degree with ships and surface objects in the e-navigation area, AGA 2018, 19 TH Annual General Assembly (AGA) of the International Association of Maritime Universities (IAMU), 17-19 October 2018, Barcelona, Spain, pp. 442-449.
7. P. Milgram, F. Kishino. A taxonomy of mixed reality visual displays. IEICE Transactions on information and systems, Vol. E77-D, № 12 December 1994.
8. Kondrat'ev S.I. Teoreticheskie osnovy upravleniya krupnotonnazhnyimi sudami po kriteriyam bezopasnosti i energosberezheniya. Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk.– Novorossijsk, 2004.

УДК 656.61.052
DOI: 10.34046/aumsuomt91/11

ВЫБОР СТРУКТУРЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИДЕНТИФИКАЦИИ СУДНА

Я.В. Бурьлин, кандидат технических наук

Предлагается способ конструирования малогабаритного морского подвижного объекта (ММПЮ) с управлением и получением данных его кинематических параметров по беспроводному каналу связи Wi-Fi. Предлагается подход выбора структуры математической модели ММПЮ при идентификации на основании временных рядов кинематических параметров судна, полученных в ходе натурных испытаний.