

## TAKING INTO ACCOUNT THE DYNAMICS OF THE BOTTOM RELIEF FOR TECHNOLOGIES RIS

### УЧЕТ ДИНАМИКИ РЕЛЬЕФА ДНА ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В РЕЧНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕРВИСАХ

**I. Gladkykh, DSc, professor, V. Dvoretzky, PhD, associate professor**  
**И.И. Гладких, д.т.н., профессор, В.А Дворецкий, к.т.н., доцент**

*National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine*  
*Національний університет «Одеська морська академія», Україна*

#### ABSTRACT

*Science and technology achievements in the 21st century have qualitatively changed the traditional methods and techniques of Earth's surface research. Nowadays, remote methods have been used widely, when an observer or a measuring device is located at a certain distance from the study object in order to increase the observation area by several times. These materials can expand horizons of researchers, lead to increasing the flow of valuable information about already known objects and phenomena of the Earth. In presented research, there are some explanations about mechanisms of using natural processes to make forecast of changes in bottom topography in shallow water under navigation conditions. The key factor is the development of programs that can track changes in natural processes with displaying and fixation on electronic devices. Any research should preferably be carried out considering changes of the object over time and under the influence of various factors simultaneously and dynamically. In the article dynamic processes are divided into "significant" and "insignificant".*

*This dependence is determined by the scale of space and time, where and when they occur. The concept of "scale factor" is introduced in order to determine significance of dynamic processes influence during research. Presented in the research dynamic map modelling method enables to make a forecast of siltation of the sea / river bottom for a given period of time. After comparing the forecast with the actual result, you can make corrections of the selected function, i.e. constantly improving the model.*

*As a result of the research, we came to the following conclusions:*

- 1. The "scale factor" should be entered in dynamic navigation map research and compilation with using different-scale data of the water surface and bottom topography;*
- 2. It is recommended to enter a dynamic component into the information block of the navigation cartographic systems ECDIS and Inland ECDIS, allowing the skipper to see the position of the vessel, considering the wave height relative to the bottom in real time;*
- 3. Above methods of parallel bottom topography transferring are based only on the data of statistical observations with using iterations. These methods usually give proper results on sandy and silty soils, where the relief has distinct wave-like forms, as well as relatively often repeated external influences with following the general main direction.*

**Key words:** RIS, dynamic processes, "scale factor", "chart dynamic model", ECDIS.

#### РЕФЕРАТ

Досягнення науки і техніки в ХХІ столітті якісно змінили традиційні способи і прийоми вивчення земної поверхні. На даний момент широко використовуються дистанційні методи, коли спостерігач або вимірювальний засіб знаходяться на деякій дистанції від об'єкта вивчення для того, щоб в кілька разів збільшити територію, охоплювану спостереженням. Ці матеріали збільшують кругозір дослідників, призводять до збільшення потоку отриманої цінної інформації про відомі об'єкти і явища Землі.

У представленому дослідженні наведені роз'яснення того, за допомогою яких механізмів можна використовувати природні процеси в напрямку складання прогнозу зміни рельєфу дна на мілководді в умовах судноплавства. Ключовим фактором є розробка програм, що дозволяють відстежувати зміни природних процесів з відображенням і фіксацією їх на електронних носіях будь-яке дослідження переважно проводити з урахуванням зміни стану об'єкта в часі і під впливом різних факторів одночасно і динамічно. У статті динамічні процеси діляться на "і" значущі "і" несуттєві". Ця залежність визначається масштабом простору і часу, де і коли вони відбуваються. Поняття "масштабний фактор" вводиться з метою визначення ступеня значущості впливу динамічних процесів при проведенні досліджень. Наведений в роботі спосіб моделювання динамічної карти дає можливість складати прогноз замулювання морського / річкового дна на заданий період часу. Після порівняння прогнозу з фактичним результатом можна вводити поправки в підбирається функцію, т. ч. постійно вдосконалюючи модель.

В результаті проведених досліджень прийшли до таких висновків:

1. У процесі досліджень і складання динамічної навігаційної карти при використанні різномасштабних даних водної поверхні і рельєфу дна, слід вводити ваговий коефіцієнт "scale factor";

2. В інформаційний блок навігаційних картографічних систем ECDIS і Inland ECDIS рекомендується вводити динамічну складову, що дозволяє судноводію бачити положення судна з урахуванням висоти хвилі, щодо дна в реальному режимі часу;

3. Розглянуті методи паралельного перенесення рельєфу дна, засновані лише на даних статистичних повторюваних спостережень з використанням ітерацій. Ці методи дають достовірний результат, як правило на піщаних і мулистих ґрунтах, де рельєф має яскраво виражені хвилеподібні форми, а також при порівняно часто повторюваних зовнішніх впливах при дотриманні загального генерального напрямку.

**Ключові слова:** РИС, динамічні процеси, "scale factor", "chart dynamic model", ЕКДІС.

В последнее время качественно изменились традиционные способы и приемы изучения Земной поверхности. На данный момент широко используются дистанционные методы, когда наблюдатель или измерительное средство находятся на некоторой дистанции от объекта изучения для того, чтобы в несколько раз увеличить территорию, охватываемую наблюдением. Эти материалы позволяют увеличить информативность о состоянии морской поверхности и изменении морского дна. Так, например, с помощью космических снимков, выполненных космическим агентством NASA, можно отчетливо видеть, как меняется поверхность геоида на поверхности морей и океанов. Наличие таких данных позволяет исследователям разрабатывать новые методы взаимодействия судна, во время его движения, с внешней средой в динамике, что является на сегодняшний день весьма актуальной задачей.

Если ранее измерительный прибор охватывал небольшую часть объекта, а затем полученные данные распространялись на весь объект, то новые методы позволяют давать характеристику целого участка земной поверхности, а не одной точки. Кроме этого, полученную информацию возможно заложить в РС и обработать в автоматическом режиме. Это приводит к созданию геоинформационных систем, различного рода банков данных, широко используемых в современной гидрографии и, особенно, для математического моделирования геосистем.

К дистанционным методам относятся использование автоматических океанических буев, автоматических станций в труднодоступных районах Земли и т. д. Информация может передаваться по радио или по проводу, если прибор связан с наблюдателем (к примеру, эхолот на реке). Целая сеть аппаратов, приборов, датчиков непрерывно изучает географическую оболочку. Дистанционные методы исследования используются при проведении геосистемного мониторинга. Наиболее развитой системой мониторинга является контроль за загрязнением воздушной и водной среды.

Качественные изменения во взаимодействии судна с природой ставят новые задачи. Сегодня недостаточно объяснить, почему и как судно оказалось на мель, необходимо предвидеть, как могут изменяться природные процессы в динамике. На основании этих данных составляются прогнозы на перспективу.

В представленном исследовании определено, с помощью каких механизмов можно использовать природные процессы в направлении составления прогноза изменения рельефа дна на мелководье в условиях судоходства. Ключевым фактором является разработка программ, позволяющих отслеживать изменения природных процессов с отображением и фиксацией их на электронных носителях [5].

### **Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими заданиями**

В практике судовождения достаточно часто встречаются с проблемой несовпадения глубин на навигационных картах и в реальности. Это, как правило, происходит на мелководье или чаще всего на подходных каналах в приустьевых участках рек. В этих случаях возникает угроза посадки судна на мель. Как показывает анализ, дноуглубительные работы в таких местах проводятся без учета влияния рельефообразующих факторов, таких, как например, сила и направление ветра, длина и высота волны и др. Определение промежутков времени, через которые необходимо проводить дноуглубление, а также составление прогноза изменения рельефа дна на это время, одна из задач данного исследования. Решение такой задачи позволит судоводителю повысить информативность и точность положения фарватера, что в свою очередь даст возможность избежать негативных последствий, связанных с посадкой на мель.

### **Выделение нерешенных прежде частей всеобщей проблемы, которым посвящается обозначенная статья**

Для обеспечения безопасности судовождения используются различные методы определения влияния возмущения внешней среды на движущееся судно. Однако эти методы не учитывают масштаб, а точнее разность масштабов, а, следовательно, и степень их влияния на движущийся объект. Поэтому приняли такое допущение, что динамические процессы могут быть «значимыми» и «незначительными» в зависимости от масштаба пространства и времени, в которых они происходят. Введем понятие «scale factor» для определения степени значимости влияния динамических процессов при выполнении исследований. Для того, чтобы объяснить зачем понадобилось вводить это понятие, попробуем ответить на философский вопрос. Что первично материя или сознание? Ответ прост: и то, и другое существует «всегда» (что касается времени) и «везде» (касательно пространства), т.к. и то, и другое «бесконечно». Отсюда возникает предположение о том, что те законы, которые работают в ощущаемом нами масштабе, могут работать по-другому или не работать вообще с приближением к (+) или (-) бесконечности. Целью данной работы является построение модели динамических процессов окружающей среды во время движения судна и определение качественных характеристик «значимости» при использовании предлагаемого 5-го элемента пространственного измерения «scale factor» для учета их влияния на движущееся судно.

### **Анализ последних исследований и публикаций, в которых начато развязывание данной проблемы и на которые ссылается автор**

В настоящее время уже есть ряд работ [1, 2], посвященных моделированию поверхности водного пространства в динамике, а также изменению рельефа морского дна и движения судна с учетом этого процесса. Следует отметить, что на всех современных транспортных судах бумажные навигационные карты применяются лишь как резервные, а на электронных картах судоводитель наблюдает движение судна только в плоскости экрана монитора в системе координат x,y. Использование электронных навигационных карт (ЭНК)

дає іноді судноводителю ложне представлення про точність розположення об'єктів в залежності від масштабу. Слід відзначити, що точність і деталізація зображення, наприклад, засобів навігаційного обладнання (СНО), прив'язана до базового масштабу карти і при збільшенні масштабу зображення точність і деталізація карти не зміняться. Сучасні технології дозволяють отримувати зображення судна в динаміці в взаємодії з зовнішнім середовищем, з урахуванням вибраного ще на стадії складання карти параметра «scale factor», який обмежується вимогами до необхідної точності зображення об'єктів СНО на карті.

### Формулювання цілей статті (постановка задачі)

Внаслідок того, що в залежності від вибраного масштабу карти необхідно буде побудувати відповідну модель динаміки ЕНК, метою роботи є визначення шляху моделювання динамічних процесів морської середовища в період руху судна.

### Изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов

Виконано моделювання динамічних процесів рельєфу морського дна. Для цього проведені повторювані промери дна на досліджуваному полігоні, використовуючи при цьому багатопроменевий ехолот (рис.1).

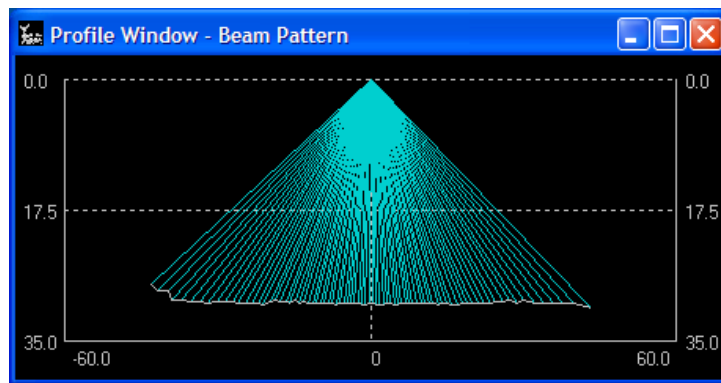
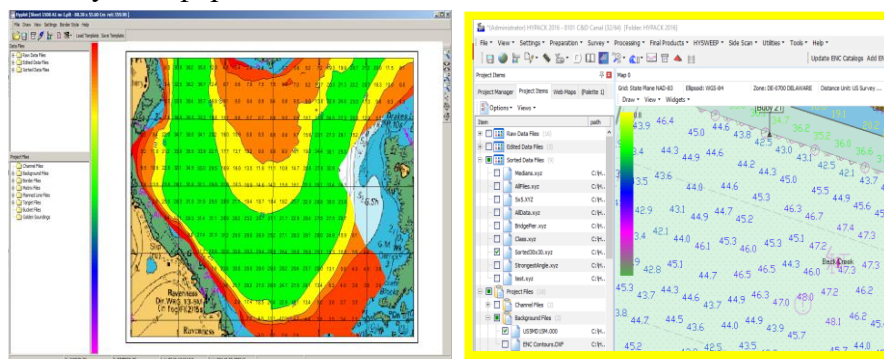


Рис.1 Многолучевой эхолот в работе

На промерный планшет нанесена сетка квадратов в условной системе координат  $x, y, z$  (рис.2), а в каждой вершине с координатами  $x_i, y_i$  определена  $z_i$ .

При выборе «значимого» масштаба руководствовались требованиями к точности измеряемых параметров. В результате чего получили, что масштаб времени следует отнести к одному месяцу, а масштаб сетки квадратов может быть от одного до десяти метров в зависимости от характера рельефа и скорости подвижности грунта. Динамику рельефа будем отображать на ENC и IENC с учетом того, что Dynamic charts (морские и речные) должны обеспечивать безопасность судоходства, и поэтому они должны максимально точно отображать нанесенную информацию, особенно изобаты.



A)

B)

Рис.2 Промерный планшет с нанесенной сеткой координат

Как известно, рельеф морского дна постоянно изменяется, особенно в устьевых участках рек, на подходных каналах, в местах подводных течений и при продолжительных штормах. Эти изменения могут быть значительными (до нескольких метров), что в условиях мелководья может привести к аварийной ситуации судна.

Рассмотрим задачу построения модели динамики рельефа морского дна. Алгоритм такой модели предполагает наличие нижеперечисленных исходных данных: тип грунта; текучесть грунта; физические характеристики воды (плотность, температура в придонном слое); глубина моря; характеристики волнения моря (высота и длина волны, направление движения волны, сила и направление ветра), характеристики придонного течения (скорость, направление и распределение по вертикали).

Для составления модели требуется установить закономерности передвижения (размыв, намыв) подводного грунта путем определения функциональных зависимостей изменения рельефа морского дна от динамических параметров морской среды, т.е. необходимо определить вид функции  $F(x; y; z)$ , которая описывает движение отдельно взятой точки на поверхности морского (речного) дна в координатном пространстве  $x_i y_i z_i$ , где  $i = \overline{1, n}$ ;  $n$  – номер итерации в процессе выбора модели.

Можно также использовать модель динамики рельефа морского дна, применив метод параллельного переноса характерных форм рельефа.

Для этого построим координатную сеть из квадратов, размеры которых позволяют ощутить перемещение характерных форм рельефа дна с заданной точностью. В этой сети координаты  $x, y = x_i y_i$  в каждой узловой точке фиксированы и остаются постоянными, переменной является лишь координата  $z = z_i$  где  $i = \overline{1, n}$ ;  $n$  – номер итерации в процессе определения вида функции  $F(z)$ .

На устьевом участке Дуная, где происходит заиливание фарватера, выбрали исследуемый полигон, где установили гидрометеорологический буй (рис.3) на который непрерывно ведется запись всех характеристик, в том числе влияющих также и на



Рис.3 Гидрометеорологический буй

передвижение подводного грунта.

Приняв гипотезу о параллельном переносе движущейся волны подводного рельефа грунта, применили итерационный метод Гаусса-Зейделя. Приняв, что параллельный перенос происходит в каждой точке  $x_i; y_i$  по собственной траектории, что соответствует изменению подводного рельефа грунта по высоте  $h_i$  на расстояние  $b_i$  (в проекциях на координатные оси  $x$  и  $y$  соответственно) для  $i$ -ой точки. Необходимо отметить, что  $h_i$  относится ко времени  $t_0$ , а  $b_i$  ко времени  $t_1$ . Тогда запишем исследуемый массив в виде системы уравнений.

Примем уравнение (1) в качестве массива данных о рельефе дна

$$\left. \begin{aligned} a_{11}x_1 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1 \\ a_{n1}x_1 + \dots + a_{nn}x_n &= b_n \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

и представим его в таком виде:

$$\left. \begin{aligned} a_{11}x_1 &= a_{12}x_2 - a_{13}x_3 - \dots - a_{1n}x_n + b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 &= -a_{23}x_3 - \dots - a_{2n}x_n + b_2 \\ &\dots \\ a_{(n-1)1}x_1 + a_{(n-1)2}x_2 + \dots + a_{(n-1)(n-1)}x_{n-1} &= -a_{(n-1)n}x_n + b_{n-1} \\ a_{(n-1)1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{n(n-1)}x_{n-1} + a_{nn}x_n &= b_n \end{aligned} \right\},$$

где  $a_{ij}$  - определяемые коэффициенты.

Здесь в  $j$ -м уравнении перенесены в правую часть все члены, содержащие  $x_i$ , для  $i > j$  и записали систему в таком виде:

$$(L + D)\vec{x} = -U\vec{x} + \vec{b},$$

где  $D$  означает матрицу, в которой на главной диагонали стоят диагональные элементы матрицы  $A$ , а все остальные элементы  $D$  нули; матрицы  $U$  и  $L$  содержат верхнюю и нижнюю треугольные части  $A$ , на главной диагонали матриц  $U$  и  $L$  стоят нули.

После выбора соответствующего начального приближения итерационный процесс строится по формуле:

$$(L + D)\vec{x}^{(k+1)} = -U\vec{x}^{(k)} + \vec{b}, k = 0, 1, 2, 3, \dots, n.$$

Значения  $x$  последовательно вычисляли преобразованием системы:

$$\left. \begin{aligned} x_1^{(k+1)} &= c_{12}x_2^{(k)} + c_{13}x_3^{(k)} + \dots + c_{1n}x_n^{(k)} + d_1 \\ x_2^{(k+1)} &= c_{21}x_1^{(k+1)} + c_{23}x_3^{(k)} + \dots + c_{2n}x_n^{(k)} + d_2 \\ &\dots \\ x_n^{(k+1)} &= c_{n1}x_1^{(k+1)} + c_{n2}x_2^{(k+1)} + \dots + c_{n(n-1)}x_{n-1}^{(k+1)} + d_n \end{aligned} \right\},$$

где  $c_{ij} = -\frac{a_{ij}}{a_{ii}}, d = \frac{b_i}{a_{ii}}, i = 1, \dots, n.$

Таким образом,  $i$ -тая компонента  $n$ -го приближения вычисляется по формуле:

$$x_i^{(k+1)} = \sum_{j=1}^{i-1} c_{ij}x_j^{(k+1)} + \sum_{j=i+1}^n c_{ij}x_j^{(k)} + d_i, i = 1, \dots, n.$$

Условие окончания итерационного процесса при достижении заданной точности  $\varepsilon$  в упрощенной форме имеет такой вид:

$$\|x^{(k+1)} - x^{(k)}\| \leq \varepsilon.$$

Условие сходимости:

$$|a_{ii}| > \sum_j |a_{ij}|.$$

Выше мы рассмотрели упрощенную модель, которая показывает лишь приближенно, как будет вести себя подводный рельеф при устоявшейся нагрузке. Для получения более реалистичной картины в результате моделирования воспользуемся системами нелинейных уравнений.

Представим модель рельефа дна в виде системы нелинейных уравнений

$$\left. \begin{aligned} f_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) &= 0 \\ f_2(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) &= 0 \\ \dots \\ f_n(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) &= 0 \end{aligned} \right\}$$

или

$$X = |x_1, x_2, x_3, \dots, x_n|.$$

Решая эту систему, находим, удовлетворяющий системе с заданной точностью  $\varepsilon$ , вектор

$$f_n(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = 0, i = \overline{1..n}.$$

При решении данной системы использовали итерационные методы.

$$\overline{X^0} = [x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0].$$

Преобразовав систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} f_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) &= 0 \\ f_2(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) &= 0 \\ \dots \\ f_n(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) &= 0 \end{aligned} \right\}$$

к виду:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \varphi_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \\ x_2 &= \varphi_2(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \\ \dots \\ x_n &= \varphi_n(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \end{aligned} \right\}$$

или

$$x_i = \varphi_i(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), i = \overline{1, n}.$$

Выбираем начальное приближение

$$\overline{X^0} = [x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0].$$

Используя значения переменных, полученных на шаге  $(k-1)$ , находим приближенные значения корней:

$$x_i^k = i(x_1^{k-1}, x_2^{k-1}, x_3^{k-1}, \dots, x_n^{k-1}). \quad (2)$$

Итерационный процесс прекращается, как только выполнится условие (по всем переменным):

$$|x_j^k - x_j^{k-1}| \leq \varepsilon, j = \overline{1, n}.$$

при выполнении условия сходимости итерационного процесса поиска, а именно:

$$\sum_{i=1}^n \left| \frac{\delta \varphi_i}{\delta x_j} \right| < 1, j = \overline{1, n}.$$

В результате несложных математических операций можем найти функцию  $y(x)$  при параллельном переносе геометрических форм рельефа дна, используя решение задачи Коши. Так, например, рассмотрим методы Рунге-Кутте, основанные на аппроксимации искомой функции  $Y(x)$  в пределах каждого шага многочленом, полученным при помощи разложения функции  $Y(x)$  в окрестности шага  $h$  каждой  $i$ -вой точки в ряд Тейлора

$$y(x_i + h) = y(x_i) + h \cdot y'(x_i) + \frac{h^2}{2!} y''(x_i) + \frac{h^3}{3!} y'''(x_i) + \frac{h^4}{4!} y^{(4)}(x_i) + \frac{h^5}{5!} y^{(5)}(x_i) + \dots (3)$$

Предложенная модель позволяет в информационном блоке IECDIS дать графическое отображение динамического процесса изобат на части электронной карты, как показано на рис.4, а также изображение динамики рельефа морского дна в 3-D изображении.

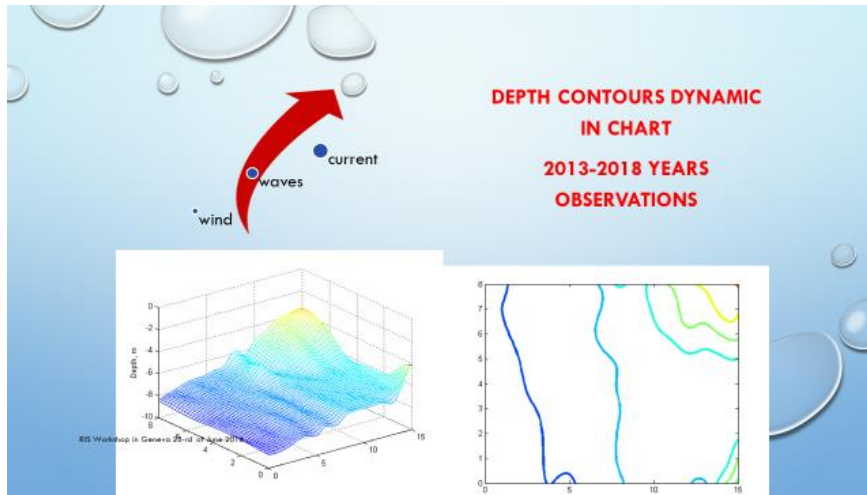


Рис.4 Изображение рельефа дна в динамике (слева) и изобар (справа)

Предложенную модель можно представить в виде блок-схемы, приведенной на рис.5.

Данная модель предполагает проведение постоянных наблюдений за состоянием внешней среды с использованием гидрометеорологического буя. Полученные результаты наблюдений заносят в электронный банк данных. В этом банке хранятся и в дальнейшем обрабатываются такие данные как скорость, продолжительность и направление ветра, данные о состоянии волнения (длина и высота волны, а также направление ее движения), рассчитанная скорость придонного течения, изменения уровня водной поверхности и глубины. Используя эти данные, путем проведения многофакторного анализа определяем весовую характеристику каждого из элементов внешней среды. Затем методом итераций подбираем функции, описывающие водную поверхность и поверхность дна. Эти функции отнесены к разным масштабам времени, поэтому, приводя их к одному масштабу с учетом динамических составляющих, получаем “chart dynamic model”.

Приведенный выше способ моделирования динамической карты дает возможность составлять прогноз заиливания морского/речного дна на задаваемый период времени. После сравнения прогноза с фактическим результатом вводим поправки в подбираемую функцию,

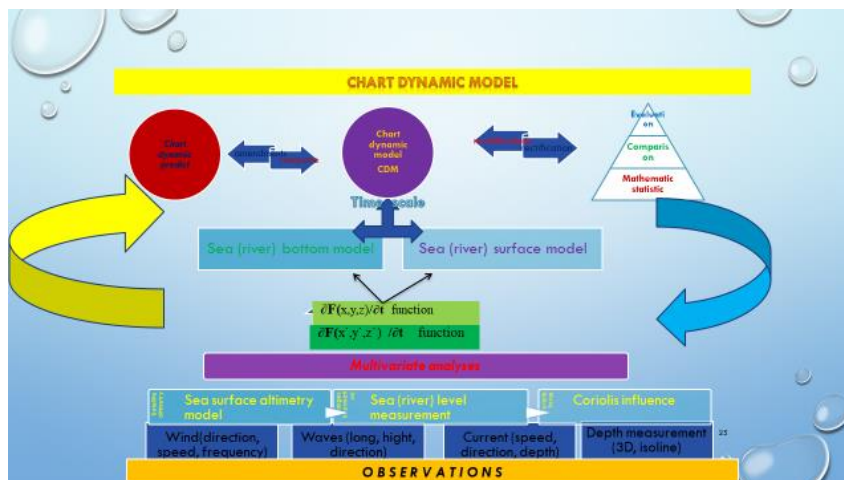


Рис. 5 Блок-схема динамической модели навигационной карты.



постоянно совершенствуем модель.

На блок-схеме (рис.5) отображена структурная модель т.н. динамической

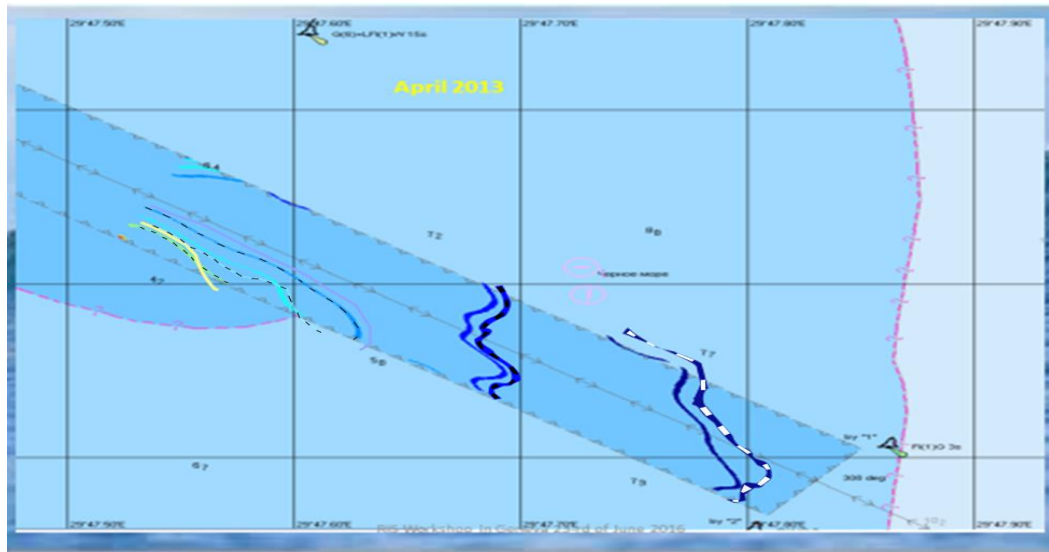


Рис.6 Изменение положения изобат на исследуемом участке, вследствие образования волн на поверхности моря за период в 30 сек

навигационной карты, масштаб которой привязан к периоду и параметрам морской волны. Так, например, для исследуемого участка построения динамической карты в качестве единицы масштаба времени выбрано 30 сек, в качестве единицы масштаба отображения колебания поверхности уровня воды выбрано 10 см. Для отображения динамики рельефа морского дна в качестве единицы масштаба времени выбран 1 мес с необходимой 10 см точностью отображения изобат.

На рис.6 изображено два фрагмента положения изобат в зависимости от волнения моря относительно колеблющейся поверхности воды. Эти два положения характеризуют изменение глубины на исследуемом участке за период в 30 сек, что соответствует единице масштаба и величине волнового образования, снятого из измерений гидрометеобуя.

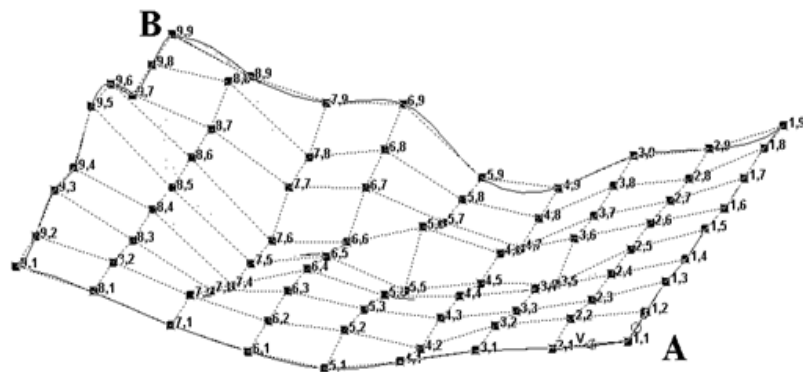
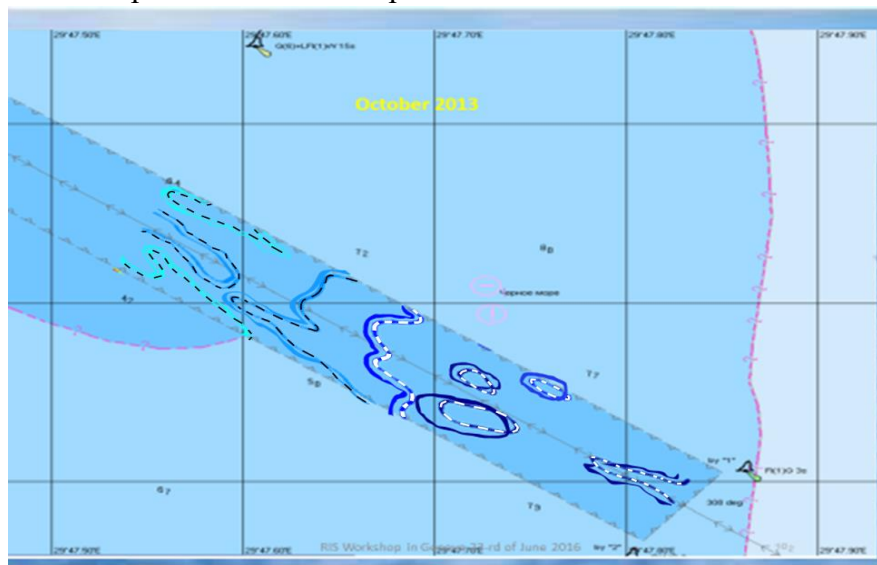


Рис.7 Узловые точки условной сетки координат в 3Д изображении

На рис.7 изображена криволинейная сетка координат, которая опирается на узловые точки, наиболее чувствительные в выбранном динамическом поле. Накладываем эту сетку координат на картографическое изображение, строим модель с использованием выражений (1) – (3), которая позволяет увидеть колебания поверхности в режиме 3Д.

На рис.8 приведены также два фрагмента положения изобат, но уже отображающие изменение глубин в зависимости от динамических процессов рельефа морского дна во временном масштабе равном 1 месяцу.

Как видно из приведенных изображений, одной из задач построения динамической модели навигационной карты является выбор наиболее значимого масштаба для проведения



*Рис.8 Изменение положения изобат на исследуемом участке вследствие движения подводного грунта с периодом в 1 месяц*

исследований и совмещение разномасштабных результатов в один информационный формат. Решение этой задачи приведено в общем виде на рис.5, где в процессе итерации вводят необходимые поправки в алгоритм используемой модели, а также подбирают наиболее значимый масштаб исходя из требуемой точности к результатам измерений и используемых методов.

### **Выводы из данного исследования и перспективы дальнейших поисков в данном направлении**

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. В процессе выбора модели динамики рельефа морского дна и составления динамической навигационной карты, при использовании разномасштабных данных водной поверхности и рельефа дна, ввели такие понятия как весовой коэффициент для индексации и “**scale factor**”. Это сделано для того, чтобы увеличить точность и чувствительность изменения положения изобат во время движения судна, а, следовательно, и повысить уровень безопасности плавания судов в динамически активных районах.

2. В информационный блок навигационных картографических систем ECDIS и Inland ECDIS рекомендуется вводить динамическую составляющую, позволяющую судоводителю видеть положение судна на волне относительно дна в реальном режиме времени, что дает возможность визуально оценивать степень риска касания днищем судна поверхности дна.

3. В данной статье рассмотрены и предложены методы моделирования путем параллельного переноса рельефа дна, основанные на данных статистических повторяющихся наблюдений для прогноза заносимости дна на фарватере. Эти методы дают достоверный результат, как правило, на песчаных и илистых грунтах, где рельеф имеет ярко выраженные волнообразные формы, а также при повторяющихся сравнительно часто внешних воздействиях.

4. Для целей прогнозирования ЭНК можно использовать упрощенную модель, которая показывает лишь приближенно положение изобат в динамике. Для более точного прогноза можно использовать модель рельефа дна в виде системы нелинейных уравнений. В сложных гидрометеоусловиях предлагается использование методов Рунге-Кутте, основанных на аппроксимации искомой функции  $Y(x)$ , где модель можно представить в виде блок-схемы,

приведенной на рис.5. Данная модель предполагает проведение постоянных наблюдений за состоянием внешней среды с использованием гидрометеорологического буя.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Юдин Ю.И., Сотников И.И. Математические модели плоскопараллельного движения судна. Классификация и критический анализ Вестник МГТУ, том 9, No2, 2016 г. стр.200-208
2. Самонов В. Е. Математическое моделирование движения тонкого слоя жидкости под действием поверхностных сил, дисс. К.т.н. СГУ,- Ставрополь 2013. – 145с.
3. Гладких И.И. Геодезические методы контроля динамики подводного рельефа на участках морских трубопроводов Одесса, ОГМА.- 1997.- 153с.
4. Учитель И.Л., Ярошенко В.Н., Гладких И.И. Основы неогеодинимики, Одесса.- Астропринт. – 2000.- 144с.
5. Дворецкий В. А. Автоматизация учета радиолокационной девиации / В. А. Дворецкий // Судовождение: Сборник научных трудов / Одесская национальная морская академия. – Одесса, 2000. – № 2. – С. 47–49.