

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор

ЗАО «АИТи»



Бакнев О.Р.

2011 г.

УТВЕРЖДАЮ

Ректор НИУ ИТМО



Васильев В.Н.

2011 г.

МНОГОПРОФИЛЬНАЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА СОЗДАНИЯ
И УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДОЙ
ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ CLAVIRE

ПРИКЛАДНОЙ СЕРВИС ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ РАЗВИТИЯ БРОЧИНГА ДЛЯ
ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ

ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

ЛИСТ УТВЕРЖДЕНИЯ

RU.СНАБ.80066-06 13 50-ЛУ

Инв.№ подл.	Подп. и дата
Взам. инв.№	Подп. и дата
Инв.№ дубл.	Подп. и дата

Представители
Организации-разработчика

Руководитель разработки,
профессор НИУ ИТМО

Бухановский А.В.

“ 28 ” декабря 2011 г.

Ответственный исполнитель,
с.н.с. НИУ ИТМО

Луценко А.Е.

“ 28 ” декабря 2011 г.

Нормоконтролер
ведущий инженер НИУ ИТМО

Ноздьякова Л.Г.

“ 29 ” декабря 2011 г.

2011

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**УТВЕРЖДЕН
RU.СНАБ.80066-06 13 50-ЛУ**

**МНОГОПРОФИЛЬНАЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА СОЗДАНИЯ
И УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДОЙ
ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ CLAVIRE**

**ПРИКЛАДНОЙ СЕРВИС ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ РАЗВИТИЯ БРОЧИНГА ДЛЯ
ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ**

ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

RU.СНАБ.80066-06 13 50

ЛИСТОВ 30

2011

Инв.№ подл.	
Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	

АННОТАЦИЯ

Документ содержит описание прикладного сервиса оценки вероятности развития брочинга для задач исследовательского проектирования морских объектов. Прикладной сервис реализует композитное приложение для многоцелевой инструментально-технологической платформы (МИТП) CLAVIRE, которое позволяет, основываясь на методах прямого численного моделирования динамики судна на нерегулярном волнении, получить ансамбль траекторий судна в режиме неуправляемого захвата волной, классифицировать и выделить случаи брочинга и оценить вероятность возникновения данной экстремальной ситуации. Прикладной сервис разработан в ходе выполнения проекта «Создание распределенной вычислительной среды на базе облачной архитектуры для построения и эксплуатации высокопроизводительных композитных приложений» (Договор № 21057 от 15 июля 2010 г., шифр 2010-218-01-209) в рамках реализации постановления Правительства РФ № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	4
2. ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ	5
2.1. Область применения	5
2.2. Функциональное назначение	5
2.3. Ограничения на применение	5
3. ОПИСАНИЕ ЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ	5
3.1. Структура композитного приложения	5
3.2. Характеристики модулей композитного приложения	8
3.3. Описание модулей композитного приложения в МИТП	15
4. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА	24
5. ВЫЗОВ И ЗАГРУЗКА	24
6. ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ	26
7. ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ	26
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ	28
ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	29

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Прикладной сервис (ПС) оценки вероятности развития брочинга для задач исследовательского проектирования морских объектов RU.СНАБ.80066-06 01 50 реализует композитное приложение, которое позволяет, основываясь на методах прямого численного моделирования динамики судна на нерегулярном волнении, получить ансамбль траекторий судна в режиме неуправляемого захвата волной, классифицировать и выделить случаи брочинга и оценить вероятность возникновения данной экстремальной ситуации. ПС разработан в ходе выполнения проекта «Создание распределенной вычислительной среды на базе облачной архитектуры для построения и эксплуатации высокопроизводительных композитных приложений» (Договор № 21057 от 15 июля 2010 г., шифр 2010-218-01-209) в рамках реализации постановления Правительства РФ № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

ПС функционирует в рамках распределенной среды облачных вычислений под управлением многофункциональной инструментально-технологической платформы (МИТП) CLAVIRE RU.СНАБ.80066-06. Он разработан на предметно-ориентированном языке EasyFlow описания композитных приложений.

ПС использует следующие пакеты прикладных программ, доступные в распределенной среде под управлением МИТП (см. также раздел 3.2):

- ShipX-DS - прикладной пакет моделирования экстремальной динамики судна с заданными характеристиками и геометрией корпуса на нерегулярном морском волнении;
- ValueGenerator - прикладной пакет генерации рядов случайных и последовательных чисел;
- SciLab - многоцелевой пакет компьютерной математики и визуализации (заимствуется).

Перечисленные пакеты описываются на языке EasyFlow и регистрируются в базе пакетов МИТП.

2. ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ

2.1. Область применения

ПС предназначен для моделирования и исследования динамики судна на заданном попутном волнении (которое является одним из ключевых факторов развития неуправляемого захвата судна волной) с заданной скоростью. Его основным достоинством является возможность прямого моделирования динамики судна на конкретных реализациях случайного морского волнения с целью сбора статистической информации о вариантах развития экстремальной ситуации.

Пакет может быть полезен на этапе как проектирования судов, так и на этапе их эксплуатации. Данные о вероятности возникновения экстремальной ситуации «бродинг» могут быть использованы, как для улучшения обводов корпуса и/или характеристик судна на этапе проектирования, так и для построения операционных диаграмм на этапе эксплуатации уже существующих судов.

2.2. Функциональное назначение

ПС предназначен для решения следующих задач:

- Моделирование динамики судна на нерегулярном попутном волнении.
- Построения ансамбля траектория судна для различных реализации случайного поля морского волнения.
- Классификация и выделение случаев развития экстремальной ситуации "бродинга".

2.3. Ограничения на применение

ПС применим для моделирования судов с малой скоростью движения, для которых вклад гидродинамических сил по сравнению с гидростатическими силами невелик. Это ограничение наложено особенностями пакета ShipX-DS.

3. ОПИСАНИЕ ЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

3.1. Структура композитного приложения

Композитное приложение, реализуемое ПС, предназначено для оценки вероятности развития экстремальной ситуации «бродинга» для выбранной модели судна на заданном попутном волнении при движении с заданной скоростью. Для обеспечения движения

судна с заданной скоростью необходимо провести предварительные расчеты, направленные на построение таблицы соответствия тяги винта и скорости движения судна. Для этого пакет ValueGenerator линейно разбивает диапазон значений силы тяги винта (от нуля до максимума), после чего полученные значения силы передаются пакету ShipX-DS для проведения численного моделирования динамики судна. Результаты экспериментов обрабатываются пакетом SciLab, который на выходе выдает построенную таблицу соответствия тяги винта и скорости движения судна. Параллельно с описанным процессом с помощью пакета ValueGenerator генерируются входные параметры функции случайной величины, необходимые для обеспечения разнообразия начальных профилей морской поверхности в ходе проведения последующих численных экспериментов. Полученные параметры вместе с построенной таблицей соответствия тяги винта и скорости движения судна передаются на вход пакету ShipX-DS для проведения численного моделирования динамики судна на заданном попутном волнении с заданной скоростью в течении указанного периода времени. Полученные результаты передаются на вход пакету SciLab для обработки с целью выявления случаев развития брочинга и расчета их количества относительно общего числа экспериментов. Также пакет SciLab строит графики, наглядно демонстрирующие обработанные результаты. Структура композитного приложения приведена на рисунке 3.1.

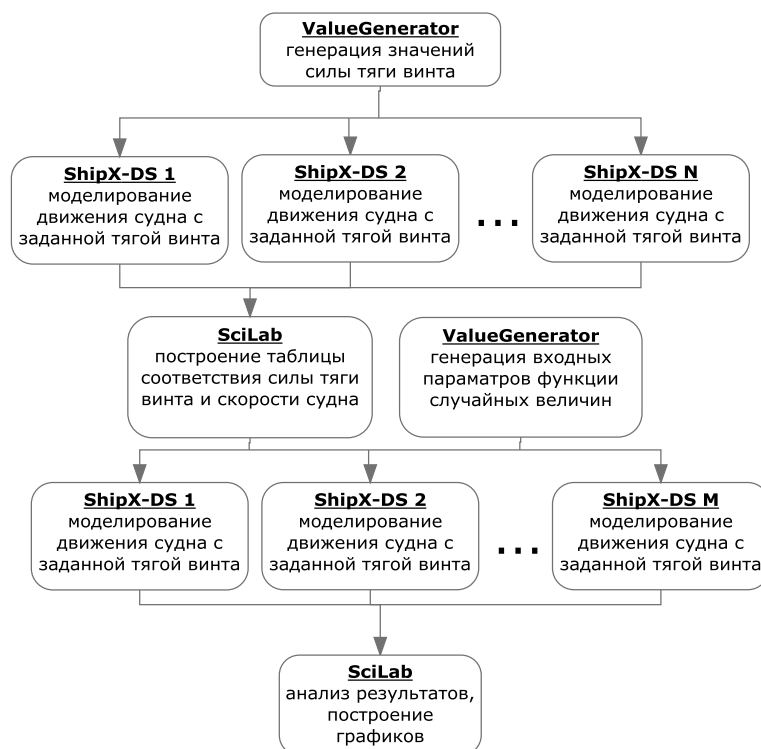


Рисунок 3.1 - Структура композитного приложения

Для реализации композитного приложения в соответствии со структурой на рисунке 3.1 используются следующие прикладные пакеты:

- ShipX-DS - прикладной пакет моделирования экстремальной динамики судна с заданными характеристиками и геометрией корпуса на нерегулярном морском волнении;
- ValueGenerator - прикладной пакет генерации рядов случайных и последовательных чисел;
- SciLab - многоцелевой пакет компьютерной математики и визуализации необходим для построения интервальных оценок и визуализации результатов.

В листинге 3.1 приведен скрипт композитного приложения на языке EasyFlow, а на рисунке 3.2 - результат его интерпретации в МИТП, который создает очередь из шести последовательных процессов запуска пакетов в виде AWF.

Листинг 3.1. Описание композитного приложения на языке EasyFlow

```

step ForceValGeneration runs valgenerator (
    max = 800000,
    number = 4,
    precision = 2,
    seqtype = "linear"
);

step PropTableSimulation runs sxds after ForceValGeneration (
    experiment = "propulsion",
    ship = "tugboat",
    force_file = sweep ForceValGeneration.Result.Outputs.values
);

step PropTableCompilation runs scilab after PropTableSimulation (
    script_name = "SHIPXDS_propulsion.sce",
    input_folder = PropTableSimulation.Result.sweep_outs["experiment.log"],
    output_file = "prop_table"
);

step RandomSeedGeneration runs valgenerator (
    max = 1000000,
    number = 50,
    precision = 0,
    seed = 5,
    seqtype = "random"
);

step BroachingSimulation runs sxds after PropTableCompilation,
RandomSeedGeneration (
    experiment = "broaching",
    ship = "tugboat",
    velocity = 6.7,
    period = 60,
    omega = 1.6,
    narrow = 64,
    gamma = 20,
    prop_table = PropTableCompilation.Result.outs["prop_table.data"],
    rand_seed_file = sweep RandomSeedGeneration.Result.Outputs.values

```



```
);
step ProbabilityCalculation runs scilab after BroachingSimulation (
    script_name = "SHIPXDS_broaching.sce",
    input_folder = BroachingSimulation.Result.sweep_outs["experiment.log"],
    output_file = "broaching",
    output_ext = ".png"
);
```

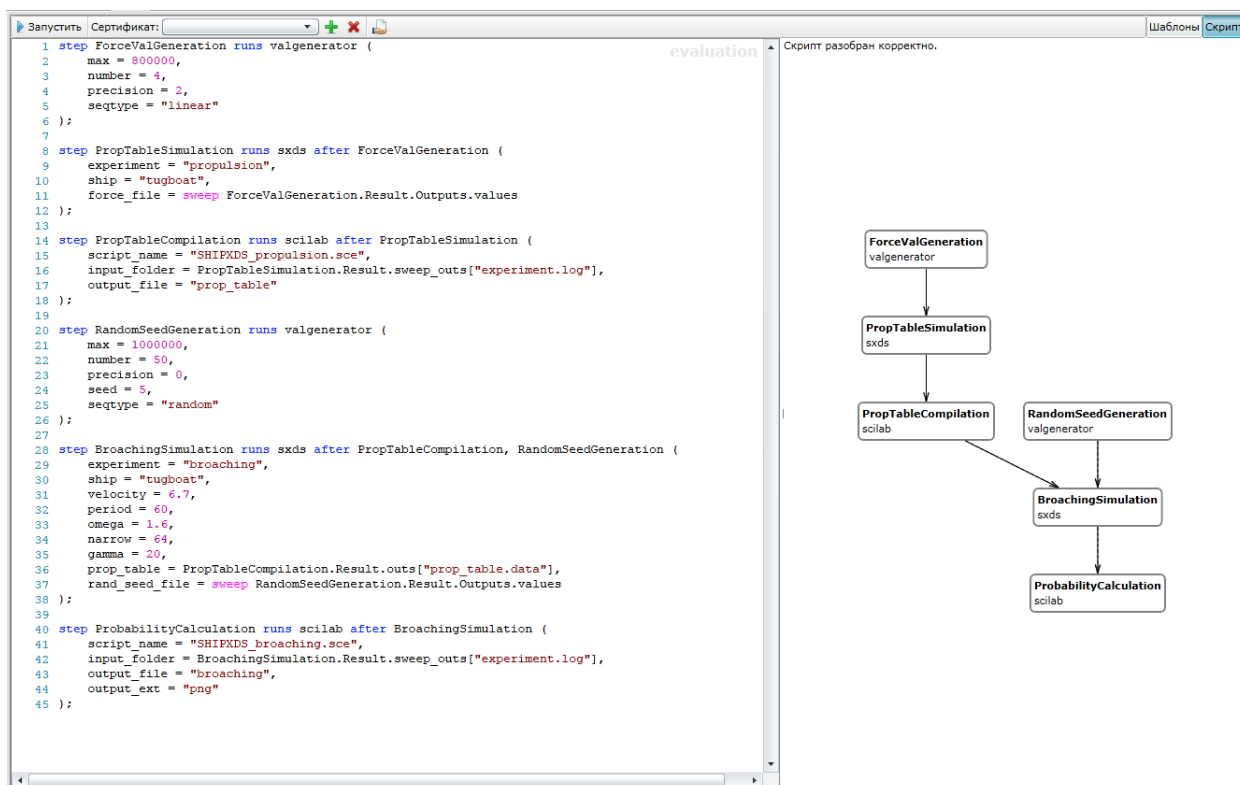


Рисунок 3.2 - Подготовка композитного приложения к запуску на выполнение в МИП

3.2. Характеристики модулей композитного приложения

3.2.1 Прикладной пакет ShipX-DS

Прикладной пакет – программный комплекс ShipX-DS – позволяет проводить расчет качки судна с шестью степенями свободы на нерегулярном трехмерном волнении на основе прямого интегрирования по корпусу.

Программный комплекс ShipX-DS предназначен для:

- расчета перемещений, скоростей и ускорений морского объекта под воздействием нерегулярных возмущений волновой природы путем интегрирования по корпусу, что позволяет учесть нелинейные динамические эффекты, характерные для экстремальных условий эксплуатации;

- вероятностного моделирования пространственно-временных полей морского волнения (и связанного с ним поля гидродинамических давлений) по заданному частотно-направленному спектру;
- формирования динамических сцен, характеризующих поведение морского объекта в экстремальных условиях эксплуатации.

Комплекс ShipX-DS реализует численное моделирование динамики судна как твердого тела с шестью степенями свободы на нерегулярном трехмерном волнении с учетом гидростатических и гидродинамических сил и моментов, вычисляемых непосредственным интегрированием по мгновенной погруженной поверхности корпуса объекта S [1]:

$$\mathbf{F} = - \left[\iint_S p \mathbf{n} dS \right] - \left[\iint_S H \mathbf{v} dS \right] + \mathbf{D} + \mathbf{F}_{ext}, \quad (3.1)$$

$$\mathbf{M} = - \left[\iint_S (p \mathbf{n}) \times (\mathbf{r} - \mathbf{p}) dS \right] - \left[\iint_S (H \mathbf{v}) \times (\mathbf{r} - \mathbf{p}) dS \right] + \mathbf{M}_{ext}. \quad (3.2)$$

Здесь \mathbf{D} – весовое водоизмещение объекта, p – гидростатическое и гидродинамическое давление воды в точке, \mathbf{n} – нормаль к поверхности, \mathbf{r} – радиус-вектор точки поверхности в глобальных координатах, \mathbf{p} – положение объекта в пространстве, определяемое шестью степенями свободы, $H \mathbf{v}$ – демпфирующая сила, действующая на единицу поверхности корпуса объекта, \mathbf{v} – скорость частиц вдоль поверхности судна в точке интегрирования, \mathbf{F}_{ext} и \mathbf{M}_{ext} – дополнительные сила и момент (внешнее управление).

Сила \mathbf{F} и момент \mathbf{M} рассматриваются относительно редуцированных масс и моментов инерции объекта, включающих в себя собственные и присоединенные составляющие. Структура выражений для демпфирующей силы и гидродинамической составляющей давления соответствует ньютоновским принципам гидродинамики; коэффициенты пропорциональности определяются экспериментально по записям затухающих колебаний.

В каждый момент времени t граница погруженной поверхности $S(t)$ определяется исходя из мгновенного профиля взволнованной поверхности моря, задаваемой моделью Лонге-Хиггинса [2], идентифицируемой по частотно-направленному спектру волнения $E(\mathbf{k})$, где \mathbf{k} – волновой вектор. Несмотря на относительно слабую сходимость модели, ее достоинством является возможность наглядной гидродинамической интерпретации с точки зрения определения волновых давлений в терминах вертикальных смещений частиц жидкости на глубине d :

$$p(t, \mathbf{p}, d) = \sum_{i,j} \gamma \exp\left(-|\mathbf{k}_{i,j}|d\right) a_{i,j} \cos\left(\mathbf{p} \cdot \mathbf{k}_{i,j} - \omega(\mathbf{k}_{i,j})t + \delta_{i,j}\right) + d\gamma \quad (3.3)$$

Здесь a_{ij} – коэффициенты модели Лонге-Хиггинса, которые определяются по спектру волнения, δ_{ij} – равномерно распределенные случайные фазы, $\omega = \omega(\mathbf{k})$ – дисперсионное соотношение для волн малой амплитуды, а γ – объемный вес воды, \mathbf{p} – радиус-вектор произвольной точки в плоскости тихой воды, \mathbf{k} – волновой вектор.

Значения главных сил (3.1) и моментов (3.2) в каждый момент времени t позволяют определить пространственные линейную и угловую скорость перемещения судна. На каждом временном шаге в (3.1) и (3.2) выполняется численное интегрирование по корпусу. Поверхность корпуса судна разбивается на N элементов; при этом выражения (3.1) и (3.2) можно переписать следующим образом:

$$\mathbf{F} = - \sum_{i=1}^N [\sigma(\mathbf{r}_i) p_i \mathbf{n}_i \Delta S_i] - \sum_{i=1}^N [\sigma(\mathbf{r}_i) H_i \mathbf{v}_i \Delta S_i], \quad (3.4)$$

$$\mathbf{M} = - \sum_{i=1}^N [\sigma(\mathbf{r}_i) p_i \mathbf{n}_i \Delta S_i \times (\mathbf{r}_i - \mathbf{p})] - \sum_{i=1}^N [\sigma(\mathbf{r}_i) H_i \mathbf{v}_i \Delta S_i \times (\mathbf{r}_i - \mathbf{p})], \quad (3.5)$$

где

$$\sigma(t, \mathbf{r}) = \begin{cases} 1 & r_z < h_w(t, r_x \mathbf{i} + r_y \mathbf{j}), \\ 0 & r_z \geq h_w(t, r_x \mathbf{i} + r_y \mathbf{j}). \end{cases} \quad (3.6)$$

Площадь элемента вычисляется следующим образом:

$$\Delta S_i = \frac{S}{N}, \quad (3.7)$$

а давление на элемент:

$$p_i = p_w(t, \xi \mathbf{i} + \eta \mathbf{j}, -\zeta) + c p_{dyn}, \quad (3.8)$$

где $p(t, \xi, \eta, \zeta)$ — гидростатическое давление, p_{dyn} — гидродинамическое давление, c — безразмерный коэффициент влияния гидродинамического давления, который используется для обеспечения гибкости в определении гидродинамических свойств судна.

Узлы в (3.4) и (3.5) формируются случайным образом; соответствующие интегралы рассчитываются численно по квадратурным формулам типа Маркова с локально распределенными случайными узлами, перестраиваемыми на каждом шаге t . Такой подход позволяет компенсировать невязку, вызванную дискретным характером сетки, при аппроксимации непрерывно изменяющегося профиля мгновенной ватерлинии.

Программный комплекс ShipX-DS разработан на языке C++ с использованием технологии CUDA и предоставляет собой набор механизмов для проведения численных

экспериментов, которые обеспечивают настройку параметров моделирования, создание сценариев модельных экспериментов на языке Lua, интерактивную визуализацию результатов компьютерного эксперимента в моно- и стереорежимах, экспорт расчетных данных для последующей обработки в пакетах математического моделирования и проектирования.

Программный комплекс состоит из следующих программных компонентов.

- *Ядро* представляет собой фреймворк, включающий библиотеку математических функций, интерпретатор Lua, интерфейс операционной и файловой системы, систему конфигурирования, а также функционал по работе с устройствами ввода.
- *Библиотека поддержки визуализации* не зависит от используемого графического API и предоставляет функции по работе с изображениями, полигональными сетками и предрасчитанными анимациями (например, анимациями камеры или механизированных элементов судна, таких как винты, рули, подвижные элементы надстройки).
- *Графическая подсистема* позволяет визуализировать собственно объекты, водную поверхность, отладочную информацию и текст, используя современные технологии высококачественного синтеза изображения (технологии освещения, построения теней, отражения, преломления и затуманивания по удалению).
- *Звуковая подсистема* обеспечивает воспроизведение как стерео- и квадрофонического звука, так и трехмерных позиционированных звуков с учетом эффекта Доплера и эффектов окружения (эхо, реверберация и т.д.).
- *Подсистема имитационного моделирования* представляет собой расширяемую библиотеку сущностей и параметров окружения. В число сущностей входят такие классы, как «Таймер» и «Корабль», к числу параметров окружения относятся параметры морского волнения. Также подсистема имитационного моделирования предоставляет ряд функций, которые могут быть использованы для написания сценариев на языке Lua и настройки интерактивного взаимодействия пользователя и программного комплекса.

На рисунке 3.3 приведена диаграмма потоков данных в процессе моделирования динамики морских объектов в программном комплексе ShipX-DS.

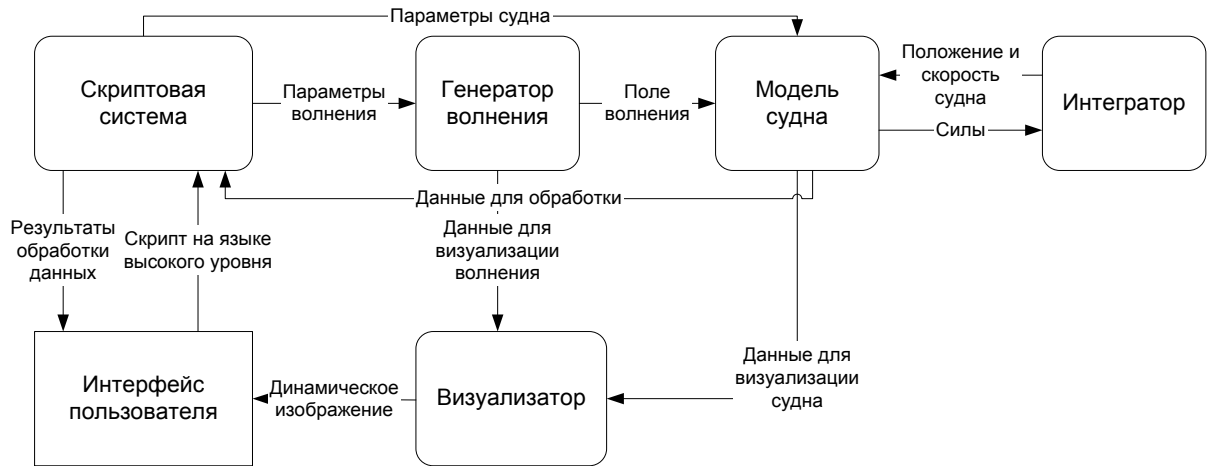


Рисунок 3.3. Диаграмма потоков данных в процессе моделирования динамики морских объектов в программном комплексе ShipX-DS

Программный комплекс ShipX-DS функционирует на ЭВМ под управлением ОС Windows Vista и выше и оснащенной x86-совместимым процессором (Intel Core 2 Duo, аналог или выше) и графическим ускорителем с поддержкой технологии CUDA (nVidia GeForce GTX 260 аналог или выше).

За счет поддержки скриптового языка Lua программный комплекс ShipX-DS позволяет создавать гибкие сценарии численных экспериментов, а также встраивать и проводить расчеты над различными моделями судов. Для обеспечения работы в рамках прикладного сервиса в комплекс были встроены модели судов класса «катер» и «буксир», а также разработан скрипт, обеспечивающий запуск приложения через интерфейс командной строки. Пример запуска комплекса из командной строки приведен на рисунке 3.4.

```

launch.exe -exp_name=broaching -outfile=out.log -ship=tugboat -velocity=5.19
-sim_period=60 -omega=1.6 -narrow=64 -gamma=20 -rand_seed=8026 -debug -
prop_table=prop_table.data
  
```

Рисунок 3.4 - Пример запуска программного комплекса ShipX-DS из командной строки

Перечень всех параметров командной строки приведен в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Перечень параметров запуска программного комплекса ShipX-DS

Параметр	Описание
-exp_name	Имя исполняемого сценария эксперимента. Варианты: broaching и propulsion.
-outfile	Имя файла, в который будут сохранены результаты моделирования.
-ship	Название модели судна. Встроенные по умолчанию модели: cutter, tugboat.
-ship_description	Lua скрипт с описанием конфигурации и поведения модели судна. (применим как ко встроенным, так и ко входным моделям в формате esx)

Параметр	Описание
-model	3D модель судна в формате esx
-velocity	Скорость судна в м/с. Задается при выполнении сценария broaching.
-sim_period	Продолжительность моделирования. Задается в секундах при выполнении сценария broaching.
-omega	Частота пика спектра морского волнения. Задается при выполнении сценария broaching.
-narrow	Параметр формы углового распределения морского волнения. Задается при выполнении сценария broaching.
-gamma	Параметр узости спектра морского волнения. Задается при выполнении сценария broaching.
-rand_seed	Входной параметр генератора случайных величин. Задается при выполнении сценария broaching.
-prop_table	Имя файла, содержащего таблицу соответствия тяги винта и скорости судна. Задается при выполнении сценария broaching.
-force	Сила тяги винта в ньютонах. Задается при выполнении сценария propulsion.
-debug	Ключ вывода на экран отладочной информации.

Результатом работы программы является текстовый файл, содержащий параметры движения судна с шагом по времени 0,25 с. Значение первой строки зависит от исполняемого сценария эксперимента. При запуске эксперимента «propulsion», в первую строку данного файла записывается значение переданной силы тяги винта. При моделировании брочинга, в первую строку выходного файла программный комплекс записывает пять чисел: частота пика спектра, коэффициенты углового распределения и узости спектра морского волнения, скорость и начальный курс судна. Каждая последующая строка содержит параметры движения судна на каждом шаге по времени: время в секундах, прошедшее с начала эксперимента, курс, угол продольного крена, угол бортового крена, три координаты центра масс судна, высота волны в точке нахождения центра масс судна, модуль линейной скорости в м/с, угловая скорость судна в рад/с и глубина погружения оси винта судна в метрах. Пример выходного файла приведен на рисунке 3.5.

```
1.600000 64.000000 20.000000 6.700000 0.000000
0.000000 0.000215 0.553282 -0.371833 0.030580 -0.000415 0.598132 -0.177102 1.739032 0.000122 0.990173
0.251000 -0.006417 -0.872164 -0.327104 0.526566 -0.007424 0.533402 -0.201929 2.208365 -0.000510 1.340390
0.501000 -0.025726 -2.275607 -0.262884 1.136960 -0.015014 0.352718 -0.233078 2.653373 -0.002149 1.800726
```

Рисунок 3.5 - Пример выходного файла.

3.2.2 Прикладной пакет ValueGenerator

Прикладной пакет ValueGenerator позволяет генерировать наборы файлов, содержащие элементы последовательности случайных чисел и последовательности чисел, разбивающих заданный интервал вещественных чисел на равные отрезки.

Пакет предназначен для:

- генерации последовательности случайных чисел;
- генерации последовательности чисел, разбивающих заданный вещественный интервал на равные отрезки.

Для генерации случайных чисел используется стандартный генератор псевдослучайных чисел, реализованный в библиотеке Microsoft .NET Framework версии 4.0.

Последовательность чисел из k элементов, разбивающая интервал $[a, b]$ на равные отрезки рассчитывается по формуле

$$N_i = a + \frac{(i-1) \cdot (b-a)}{k-1}, i = 1 \dots k \quad (3.9)$$

Пакет ValueGenerator написан на языке C# с использованием платформы Microsoft .NET Framework версии 4.0 и может функционировать на всех операционных системах семейства Microsoft Windows, которые ее поддерживают.

Пакет вызывается из консоли в формате, приведенном на рисунке 3.6.

```
ValueGenerator.exe <минимальное значение последовательности> <максимальное значение последовательности> <требуемое количество элементов> <требуемое количество знаков после запятой у элементов последовательности> <тип последовательности: «random» или «linear»> <входной параметр генератора случайных чисел>
```

Рисунок 3.6 - Пример запуска пакета ValueGenerator

Результатом работы программы будет последовательность с требуемыми параметрами, каждый элемент которой записан в отдельный файл с расширением «.value».

3.2.3 Прикладной пакет SciLab

Прикладной пакет SciLab представляет собой свободно-распространяемую систему, позволяющую проводить обработку и визуализацию научных данных и поддерживающую собственный скриптовый язык.

Пакет SciLab предназначен для выполнения инженерных и научных вычислений, а также построения различных графиков и диаграмм. Более подробно с функциональными

возможностями и техническими требованиями данного пакета можно ознакомиться на его официальном сайте <<http://scilab.org>>.

Выполнение скриптов, написанных на языке пакета SciLab осуществляется посредством консольного запуска интерпретатора SciLex с соответствующими параметрами, описанными в таблице 3.2. Пример запуска скрипта приведен на рисунке 3.7.

Таблица 3.2

Перечень параметров запуска интерпретатора SciLex

Параметр	Описание
-nw	Ключ запуска интерпретатора в консольном режиме
-f	Имя файла, содержащего исполняемый скрипт.
-args	Маркер начала перечисления параметров, передаваемых скрипту
-input_file	Имя файла, содержащего входные данные, обрабатываемые скриптом.
-input_folder	Имя папки, содержащей файлы со входными параметрами, обрабатываемые скриптом.
-output_file	Имя текстового или графического файла, в который будет записан результат работы скрипта.
-output_ext	Формат выходного графического файла. Возможные варианты: png, bmp, gif, jpg.

```
scilex.exe -nw -nb -f SHIPXDS_broaching.sce -args input_folder=broaching_logs
output_file=broaching output_ext=png
```

Рисунок 3.7 - Пример запуска интерпретатора языка SciLab

3.3. Описание модулей композитного приложения в МИТП

3.2.1 Прикладной пакет ShipX-DS

Для интеграции пакета ShipX-DS в МИТП необходимо описать его взаимодействия с платформой, опираясь на формат представления входных и выходных данных, на языке EasyPackage. Платформенный скрипт описания пакета ShipX-DS позволяет определить уровень абстракции и интерпретации в работе с входными и выходными параметрами, что обеспечивает гибкость и упрощение процедуры взаимодействия пользователя с платформой на этапе запуска задания.

Платформенный скрипт описания пакета ShipX-DS определяется в соответствии с листингом 3.2.


```
name "sxds"

class RandSeedExtractor < TextExtractor
  def extract(str)
    rand_seed = str.to_s
    Params = {}
    rand_seed.strip!
    Params["rand_seed"] = rand_seed.to_i
    return Params
  end
end

class ForceExtractor < TextExtractor
  def extract(str)
    force = str.to_s
    Params = {}
    force.strip!
    Params["force"] = force.to_f
    return Params
  end
end

inputs {
  public param {
    name "experiment"
    type enum ["broaching", "propulsion"]
    required
  }
  public param{
    name "ship"
    type enum ["cutter", "tugboat"]
    default "tugboat"
    required
  }
  public param {
    name "velocity"
    type float
    default 1.0
  }
  public param {
    name "period"
    type float
    default 60.0
  }
  public param {
    name "omega"
    type float
    default 1.0
  }
}
```

```

public param {
    name "narrow"
    type float
    default 1.0
}
public param {
    name "gamma"
    type float
    default 1.0
}
public file {
    name "force_file"
    extractor ForceExtractor.new
}
public param {
    name "force"
    depends ["force_file?"]
    type float
    default 1.0
}
public file {
    name "rand_seed_file"
    extractor RandSeedExtractor.new
}
public param {
    name "rand_seed"
    depends ["rand_seed_file?"]
    type int
}
public file {
    name "prop_table"
    path "/"
    filename "prop_table.data"
    package
}
param {
    name "cmdLinePrefix"
    type string
    depends ["experiment", "ship"]
    evaluator { |ctx| "{0} " +
        "-exp_name=" + ctx.experiment.to_s +
        "-outfile=experiment.log" +
        "-ship=" + ctx.ship.to_s }
}
cmdline { |ctx| if (ctx.experiment.to_s == "broaching")
    ctx.cmdLinePrefix +
    "-velocity=" + ctx.velocity.to_s +
    "-sim_period=" + ctx.period.to_s +
    "-omega=" + ctx.omega.to_s +
    "-narrow=" + ctx.narrow.to_s +
    "-gamma=" + ctx.gamma.to_s +

```

```

        "-rand_seed=" + ctx.rand_seed.to_s +
        "-debug -prop_table=prop_table.data"
      else
        ctx.cmdLinePrefix +
        "-force=" + ctx.force.to_s
      end
    }
  }
  outputs {
    public file {
      name "output_file"
      path "/"
      expected
      filename "experiment.log"
    }
  }
}
prepare_package

```

Как видно из листинга 3.2, описание пакета состоит из четырех частей: описание экстракторов, описание входных параметров, описание алгоритма формирования командной строки и описание выходных параметров пакета.

Каждый экстрактор (extractor) представляет собой класс, описанный на языке Ruby. Данные классы предназначены для извлечения необходимых значений из файлов с целью их передачи в качестве параметров командной строки на вход пакету уже в виде чисел или отдельных строк. В описании пакета ShipX-DS присутствуют два экстрактора: RandSeedExtractor и ForceExtractor. RandSeedExtractor предназначен для извлечения из файла целого числа, являющегося параметром генератора случайных чисел. ForceExtractor предназначен для извлечения вещественного числа из файла, являющегося значением силы тяги винта, передаваемым на вход прикладному пакету.

Все входные и выходные параметры пакета описаны со следующими дополнительными атрибутами:

- «имя» (name) – данный атрибут обязателен для всех параметров, т.к. является идентификатором;
- «имя файла» (filename) – данный атрибут устанавливается для файловых параметров и задает имя файла, передаваемого на вход пакету;
- «необходимый» (required) – данный атрибут отражает условие присутствия этого параметра при запуске;
- «тип» (type) – задает тип параметра, необходим для отсеивания низкоуровневых ошибок, связанных с типизацией данных;

- «значение по умолчанию» (default) – задает значение параметра по умолчанию;
- «экстрактор» (extractor) – задает экземпляр класса экстрактора, обеспечивающего предварительную обработку параметра;
- «зависимость» (depends) – описывает зависимость параметра от значения других параметров;
- «пакет» (package) – используется только для файлов и показывает, что данный файл является входным для пакета;
- «ожидаемый» (expected) – используется только для файлов и показывает, что данный файл является выходным для пакета;
- «путь» (path) – определяет путь размещения файлов.

Формируемая командная строка состоит из двух частей. Первая ее часть является общей для всех возможных сценариев запуска пакета, а вторая зависит от значения одного из параметров.

3.2.1 Прикладной пакет ValueGenerator

Для интеграции пакета ValueGenerator в МИТП необходимо описать его взаимодействия с платформой, опираясь на формат представления входных и выходных данных, на языке EasyPackage. Платформенный скрипт описания пакета ValueGenerator позволяет определить уровень абстракции и интерпретации в работе с входными и выходными параметрами, что обеспечивает гибкость и упрощение процедуры взаимодействия пользователя с платформой на этапе запуска задания.

Платформенный скрипт описания пакета ValueGenerator определяется в соответствии с листингом 3.3.

Листинг 3.3 – Скрипт описания пакета ValueGenerator

```
name "valgenerator"

inputs {
    public param {
        name "min"
        display "Minimum value"
        type float
        default 0
    }
    public param {
        name "max"
        display "Maximum value"
        type float
    }
}
```

```

        required
    }
    public param {
        name "number"
        display "Number of values to generate"
        type int
        required
    }
    public param {
        name "precision"
        display "Precision of generated values"
        type int
        required
    }
    public param{
        name "seqtype"
        display "Generated sequence type"
        type enum ["linear", "random"]
        required
    }
    public param {
        name "seed"
        display "Random sequence seed"
        type int
        default -1
    }
}

cmdline { |ctx| "{0} " + ctx.min.to_s + " " + ctx.max.to_s + " " + ctx.number.to_s + " " +
ctx.precision.to_s + " " + ctx.seqtype.to_s + " " + ctx.seed.to_s }
}

outputs{
    public file_group {
        name "values"
        expected
        filters [".value$"]
    }
}
}

prepare_package

```

Как видно из листинга 3.3, все входные и выходные параметры описаны со следующими дополнительными атрибутами:

- «имя» (name) – данный атрибут обязателен для всех параметров, т.к. является идентификатором;
- «необходимый» (required) – данный атрибут отражает условие присутствия этого параметра при запуске;

- «тип» (type) – задает тип параметра, необходим для отсеивания низкоуровневых ошибок, связанных с типизацией данных;
- «значение по умолчанию» (default) – задает значение параметра по умолчанию;
- «ожидаемый» (expected) – используется только для файлов и показывает, что данный файл является выходным для пакета;
- «фильтр» (filters) – используется для описания правил, по которым будут отбираться файлы, содержащие выходные данные пакета.

3.2.3 Прикладной пакет SciLab

Для интеграции пакета SciLab в МИТП необходимо описать его взаимодействия с платформой, опираясь на формат представления входных и выходных данных, на языке EasyPackage. Платформенный скрипт описания пакета SciLab позволяет определить уровень абстракции и интерпретации в работе с входными и выходными параметрами, что обеспечивает гибкость и упрощение процедуры взаимодействия пользователя с платформой на этапе запуска задания.

Платформенный скрипт описания пакета SciLab определяется в соответствии с листингом 3.4.

Листинг 3.4 – Скрипт описания пакета SciLab

```
name "scilab"

inputs {
  public param{
    name "script_name"
    type enum ["ISM_chart.sce", "VSM_chart.sce", "CCDA_stat.sce",
              "CCDA_pointDis.sce", "CCDA_boxPlot.sce", "SHIPXDS_propulsion.sce",
              "SHIPXDS_broaching.sce"]
  }
  file {
    name "scilab_aux"
    path "/"
    filename "scilab_aux.sci"
    assembler byte_content rbytes("scilab_aux.sci")
    package
  }
  file {
    name "ISM_chart"
    path "/"
    filename "ISM_chart.sce"
    assembler byte_content rbytes("ISM_chart.sce")
    package
  }
}
```

```
}
file {
    name "VSM_chart"
    path "/"
    filename "VSM_chart.sce"
    assembler byte_content rbytes("VSM_chart.sce")
    package
}
file {
    name "CCDA_stat"
    path "/"
    filename "CCDA_stat.sce"
    assembler byte_content rbytes("CCDA_stat.sce")
    package
}
file {
    name "CCDA_pointDis"
    path "/"
    filename "CCDA_pointDis.sce"
    assembler byte_content rbytes("CCDA_pointDis.sce")
    package
}
file {
    name "CCDA_boxPlot"
    path "/"
    filename "CCDA_boxPlot.sce"
    assembler byte_content rbytes("CCDA_boxPlot.sce")
    package
}
file {
    name "SHIPXDS_propulsion"
    path "/"
    filename "SHIPXDS_propulsion.sce"
    assembler byte_content rbytes("SHIPXDS_propulsion.sce")
    package
}
file {
    name "SHIPXDS_broaching"
    path "/"
    filename "SHIPXDS_broaching.sce"
    assembler byte_content rbytes("SHIPXDS_broaching.sce")
    package
}
public file {
    name "input_file"
    path "/"
    filename "inputfile"
    package
}
public filegroup {
    name "input_folder"
```

```

        path "/input/"
    }
    public param {
        name "output_file"
        type string
        default "output.data"
    }
    public param {
        name "output_ext"
        type enum ["gif", "png", "jpg", "bmp"]
        default "png"
    }
    cmdline { |ctx| "{0} -nw -nb -f " + ctx.script_name.to_s + " -args input_file=inputfile
        output_file=" + ctx.output_file.to_s + " output_ext=" + ctx.output_ext.to_s +
        " input_folder=input" }
}

outputs{
    public file_group {
        name "out_files"
        filters [".gif$", ".png$", ".jpg$", ".bmp$", ".data$"]
    }
}

prepare_package

```

Как видно из листинга 3.4, все входные и выходные параметры описаны со следующими дополнительными атрибутами:

- «имя» (name) – данный атрибут обязателен для всех параметров, т.к. является идентификатором;
- «имя файла» (filename) – данный атрибут устанавливается для файловых параметров и задает имя файла, передаваемого на вход пакету;
- «тип» (type) – задает тип параметра, необходим для отсеивания низкоуровневых ошибок, связанных с типизацией данных;
- «значение по умолчанию» (default) – задает значение параметра по умолчанию;
- «путь» (path) – определяет путь размещения файлов;
- «пакет» (package) – используется только для файлов и показывает, что данный файл является входным для пакета;
- «фильтр» (filters) – используется для описания правил, по которым будут отбираться файлы, содержащие выходные данные пакета;
- «ассемблер» (assembler) – в данном случае атрибут означает, что данный файл должен быть скопирован в рабочую директорию из базы скриптов.

4. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА

ПС функционирует в рамках распределенной среды облачных вычислений под управлением многофункциональной инструментально-технологической платформы (МИТП) CLAVIRE RU.СНАБ.80066-06. Для использования ПС необходима рабочая станция с подключением к Интернет, со следующими минимальными характеристиками:

- архитектура процессора – x86, x86_64, IA64;
- объем оперативной памяти – 1 ГБ;
- объем свободного пространства на жестком диске – 1 ГБ;
- тактовая частота процессора – 1 ГГц.

Для работы с композитным приложением необходимо использовать браузеры Mozilla FireFox (версия 3.0 и выше), Google Chrome (версия 13 и выше), Opera (версия 9.0 и выше) и Internet Explorer (версия 7.0 и выше)

5. ВЫЗОВ И ЗАГРУЗКА

Исполнение ПС выполняется средствами МИТП CLAVIRE. При запуске композитное приложение описывает следующий процесс, реализуемый в среде облачных вычислений средствами МИТП:

1. По заданному перечню параметров запуска (в тексте программы на языке EasyFlow) определяются входные данные пакетов.
2. На основе мониторинга доступных вычислительных ресурсов МИТП строит оптимальное (с точки зрения минимизации общего времени выполнения) расписание исполнения цепочки запусков.
3. Экземпляр пакета ValueGenerator запускается на исполнение на выбранном вычислительном ресурсе и генерирует последовательность, разбивающую интервал значений силы тяги винта на равные отрезки.
4. По окончании работы пакета ValueGenerator, его выходные данные (в форме файлов) передаются на вход пакету моделирования динамики судна ShipX-DS, несколько экземпляров которого параллельно запускаются на исполнение на подготовленных вычислительных ресурсах.
5. Полученные в результате работы пакета ShipX-DS файлы передаются на вход пакету SciLab, который строит таблицу соответствия силы тяги винта и скорости судна.

6. Параллельно пунктам 4 и 5 на исполнение запускается экземпляр пакета ValueGenerator, генерирующего последовательность случайных чисел, которые сохраняются в виде файлов.
7. Полученные на шагах 5 и 6 файлы передаются на вход пакету ShipX-DS, несколько экземпляров которого параллельно запускаются на исполнение на подготовленных вычислительных ресурсах и осуществляют расчет динамики судна при его движении на заданном попутном волнении.
8. Результаты работы пакета ShipX-DS полученные на предыдущем шаге передаются на вход пакету SciLab, который запускается на выбранном вычислительном ресурсе, осуществляет расчеты, связанные с оценкой вероятности возникновения брочинга, и сохраняет результаты в текстовом и графическом виде.
9. После окончания работы приложения выходные данные передаются в хранилище данных, и пользователь уведомляется средствами МИТП об успешном выполнении задания.

На рисунке 5.1 показан CWF в процессе исполнения композитного приложения под управлением МИТП.

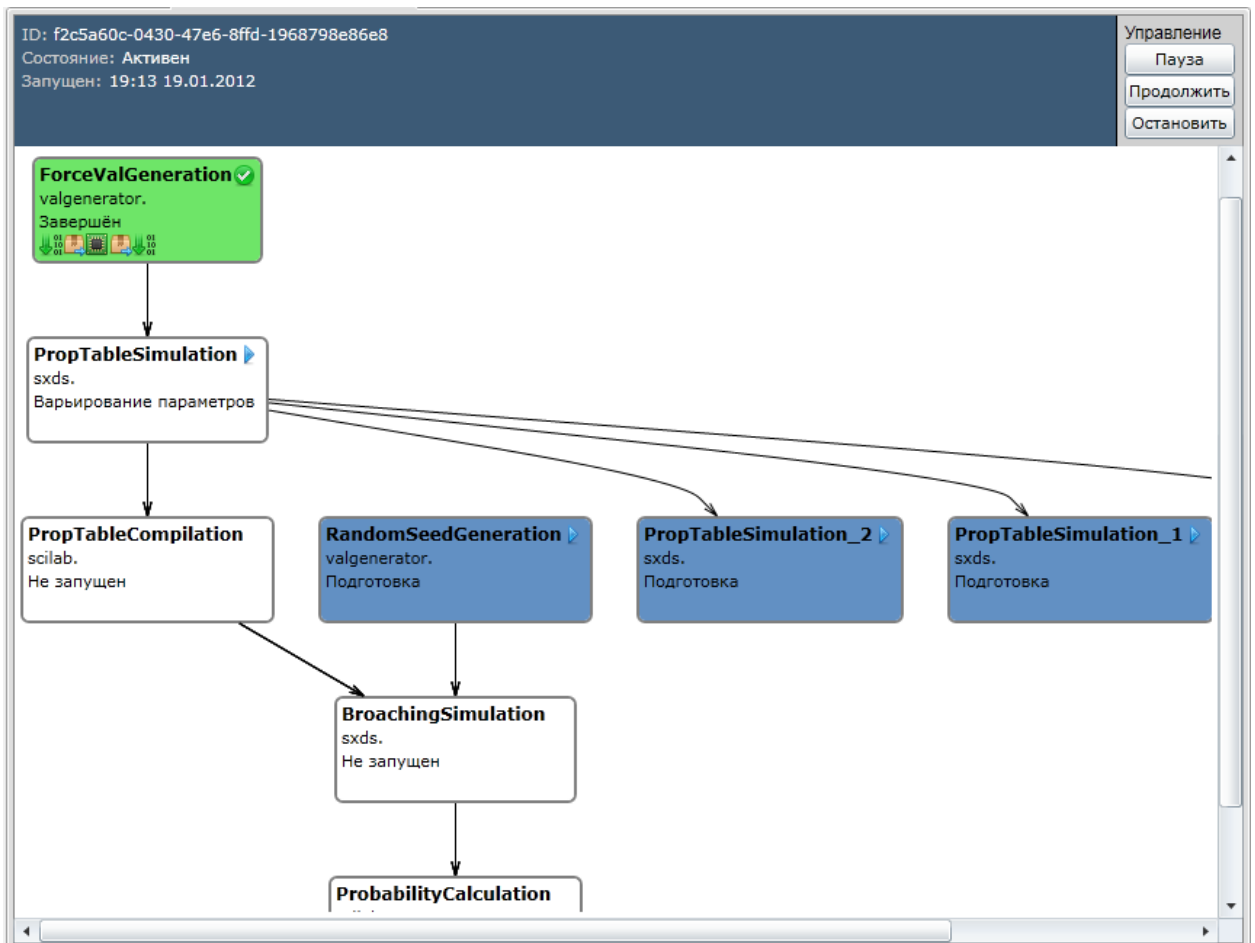


Рисунок 5.1 - Образ WF исполнения композитного приложения

6. ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Для расчета задачи требуются следующие данные:

- название модели судна (встроенные по умолчанию модели: cutter, tugboat);
- максимальная тяга винта судна;
- скорость судна;
- параметры волнения: частота пика спектра, параметр формы углового распределения, параметр узости спектра;
- продолжительность моделирования;
- количество проводимых экспериментов.

7. ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Результатом работы WF является следующий набор файлов:

- набор текстовых файлов с расширением .value содержащие входные параметры (целые числа) для генератора случайных чисел, на основе которого формируется начальный профиль морской поверхности;
- набор текстовых файлы с расширением .value содержащие значения силы тяги винта судна (дробные числа) по которым строится таблица соответствия силы тяги винта и скорости судна;
- набор текстовых файлов experiment.log содержат результаты численных экспериментов;
- текстовый файл prop_table.data содержит таблицу соответствия силы тяги винта и скорости судна;
- текстовый файл broaching.data содержит рассчитанное значение вероятности возникновения «бродчинга»;
- графический файл broaching.png содержит графики ансамбля траекторий судна и диаграмму рассеяния, приведенные на рисунке 7.1

RU.СНАБ.80066-06 13 50

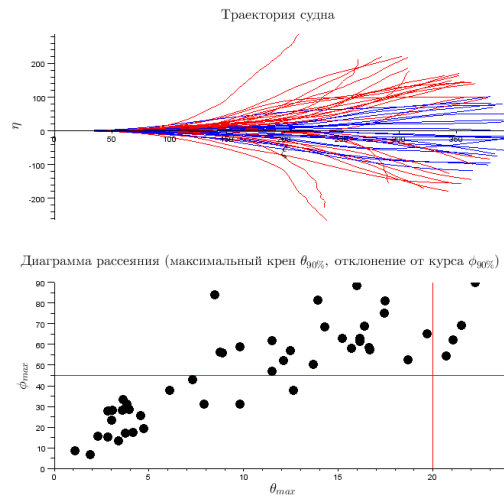


Рисунок 7.1 - Пример выходного графического файла

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

МИТП	Многофункциональная инструментально-технологическая платформа
CWF	Composite workflow

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хаскинд М.Д. Гидродинамическая теория качки корабля // Наука, М. – 1973 – 326 с.
2. Лонге–Хиггинс М.С. Статистический анализ случайной движущейся поверхности. В кн.: Ветровые волны. М., ИЛ, 1962, с. 112–230.

