

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СОГЛАСОВАНО
Генеральный директор
ЗАО «АйТи»



Бакиев 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 НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРОГНОЗОВ
НАВОДНЕНЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

ЛИСТ УТВЕРЖДЕНИЯ

RU.СНАБ.80066-06 13 55-ЛУ

Ине. № годл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Ине. № дубл.	Подп. и дата

Представители
Организации-разработчика

Руководитель разработки,
профессор НИУ ИТМО

Бухановский А.В.

“29” сентября 2011 г.

Ответственный исполнитель,
с.н.с. НИУ ИТМО

Луценко А.Е.

“29” сентября 2011 г.

Нормоконтролер
ведущий инженер НИУ ИТМО

Позднякова Л.Г.

“29” сентября 2011 г.

2011

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**УТВЕРЖДЕН
RU.СНАБ.80066-06 13 55-ЛУ**

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

**ПРИКЛАДНОЙ СЕРВИС ОЦЕНКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРОГНОЗОВ
НАВОДНЕНЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ**

ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

RU.СНАБ.80066-06 13 55

ЛИСТОВ 33

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

АННОТАЦИЯ

Документ содержит описание прикладного сервиса оценки неопределенности прогнозов наводненческих ситуаций в Санкт-Петербурге (СОНПНС). Прикладной сервис реализует композитное приложение для многоцелевой инструментально-технологической платформы (МИТП) CLAVIRE, которое позволяет, основываясь на сгенерированных масках коэффициентов для прогностических полей ветра HIRLAM, построить ансамбль прогнозов ветрового волнения и хода уровня воды в контрольных точках Финского залива для оценки неопределённости как прогноза в целом, так и пика наводнения, в частности. 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	6
3.	ОПИСАНИЕ ЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ	6
3.1.	Структура композитного приложения	6
3.2.	Характеристики модулей композитного приложения	10
3.2.2.	<i>Прикладной пакет NMImposer обработки данных прогнозов HIRLAM</i>	<i>11</i>
3.2.3.	<i>Прикладной пакет сервиса волнового моделирования на основе SWAN</i>	<i>12</i>
3.2.4.	<i>Прикладной пакет расчета полей течений и уровня Балтийского моря на основе модели BSM</i>	<i>15</i>
3.2.5.	<i>Прикладной пакет CcdAnalyzer обработки и полученных прогностических полей уровня Балтийского моря</i>	<i>18</i>
3.3.	Описание модулей композитного приложения в МИТП	19
3.3.2.	<i>Прикладной пакет NMImposer обработки данных прогнозов HIRLAM</i>	<i>20</i>
3.3.3.	<i>Прикладной пакет ветрового волнения SWAN</i>	<i>21</i>
3.3.4.	<i>Прикладной пакет расчета полей течений и уровня Балтийского моря на основе модели BSM</i>	<i>23</i>
3.3.6.	<i>Прикладной пакет обработки прогностических полей уровня воды CcdAnalyzer</i>	<i>26</i>
4.	ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА	28
5.	ВЫЗОВ И ЗАГРУЗКА	28
6.	ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ	30
7.	ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ	30
	ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ	31
	ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	32

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Прикладной сервис (ПС) оценки неопределенности прогнозов наводненческих ситуаций в Санкт-Петербурге (СОНПНС) RU.СНАБ.80066-06 13 55 реализует композитное приложение, которое позволяет, основываясь на сгенерированных масках коэффициентов для прогностических полей ветра HIRLAM, построить ансамбль прогнозов ветрового волнения и хода уровня воды в контрольных точках Финского залива для оценки неопределённости как прогноза в целом, так и пика наводнения, в частности. 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):

- HMGenerator - прикладной пакет генерации маски коэффициентов на основе нормального распределения для данных HIRLAM;
- HMImposer - прикладной пакет обработки данных прогнозов HIRLAM;
- SWAN - прикладной пакет волнового моделирования на основе SWAN;
- BSM - прикладной пакет расчета полей течений и уровня Балтийского моря на основе BSM модели;
- CcdAnalyzer - прикладной пакет обработки полученных прогностических полей уровня Балтийского моря;
- 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 создания ансамбля прогностических полей уровня Балтийского моря. Его основным достоинством является возможность исследования влияния неопределенности на точность прогнозов в оперативном режиме путем искусственного внесения стохастической изменчивости в исходные данные метеопрогноза. Применительно к проблеме прогнозирования наводнений в Санкт-Петербурге этот аспект является крайне важным, так как вследствие редкой повторяемости этого явления невозможно в полной мере воспользоваться ретроспективными данными для настройки прогностической модели [1]. Отчасти снизить влияние неопределенности можно с помощью процедуры усвоения данных, однако качество усвоения напрямую зависит от полноты априорных знаний о поведении модели в различных ситуациях. А для получения достаточного количества сведений требуется несколько лет оперативной эксплуатации. ПС позволяет, исходя из знаний о вероятностной структуре изменчивости входных характеристик, исследовать как меру риска при принятии решения о маневрировании затворами по прогностическим данным, так и чувствительность самой прогностической модели к изменению настроечных параметров при диагностических расчетах.

2.2. Функциональное назначение

Прикладной сервис СОНПНС предназначен для решения задач анализа неопределенности гидрологических прогнозов уровня воды в Санкт-Петербурге. Основные классы решаемых задач:

- оценка неопределенности, вносимой в прогноз полей уровня воды Балтийского моря локальными изменениями в поле ветра над Финским заливом.
- оценка чувствительности модели BSM к локальным изменениям в поле ветра.
- оценка величины пика наводнения в Санкт-Петербурге с учетом погрешности прогноза ветра в заданных пределах.
- оценка влияния изменчивости поля ветра на результаты прогнозирования уровня воды в различных точках Финского залива.

Основное назначения сервиса:

- генерация ансамбля прогнозов HIRLAM, варьирующихся относительно среднего скорости ветра с нормальным законом распределения и мерой разброса значений, заданной пользователем;
- генерация ансамбля прогностических полей ветрового волнения с использованием модели SWAN и измененных прогнозов ветра HIRLAM;
- генерация ансамбля прогностических полей уровня воды гидродинамической моделью BSM с применением полученных на прошлых шагах ансамблей ветра и волнения;
- извлечение данных об уровне воды в интересующих пользователя точках из всех ансамблевых полей уровня, моделируемых гидродинамической моделью BSM;
- получение основных статистических характеристик рассчитываемого ансамбля моделью BSM;
- построение оценки влияния изменения скорости ветра на ход уровня воды в Финском заливе, используя график компактного отображения одномерного распределение вероятностей (boxplot).
- построение графиков разброса значение хода уровня воды относительно расчета сделанного по начальным данным HIRLAM.

2.3. Ограничения на применение

Ограничения на применение комплекса связаны с возможностью адекватного предсказания наводнения на период более чем 6 часов (из-за погрешностей и ограничений физической модели прогноз наводнений на 48 часов может иметь лишь характер предостережения, а так же с возможностью адекватного предсказания параметров волнения в условиях наводненческой ситуации и неточных данных HIRLAM.

3. ОПИСАНИЕ ЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

3.1. Структура композитного приложения

Композитное приложение, реализуемое ПС, предназначено для оценки меры неопределенности в результатах моделирования хода уровня воды в Балтийском море. Для этого необходимо, указав значение варьируемого диапазона погрешности прогноза ветра, сгенерировать, используя нормальное распределение, маски коэффициентов и наложить их на исследуемые данные прогноза HIRLAM. Принимая во внимание

необходимость учета ветрового волнения, полученный ансамбль модифицированных прогнозов просчитать с помощью модели SWAN и, смоделировать ансамбль хода уровня воды в Балтийском море, используя модель BSM. Далее извлекая результаты ансамблевого моделирования в контрольных точках Финского залива, необходимо построить основные статистические характеристики, графики распределения значений уровня воды по часам и график, компактно изображающий одномерное распределение. Структура композитного приложения показана на рис. 3.1.

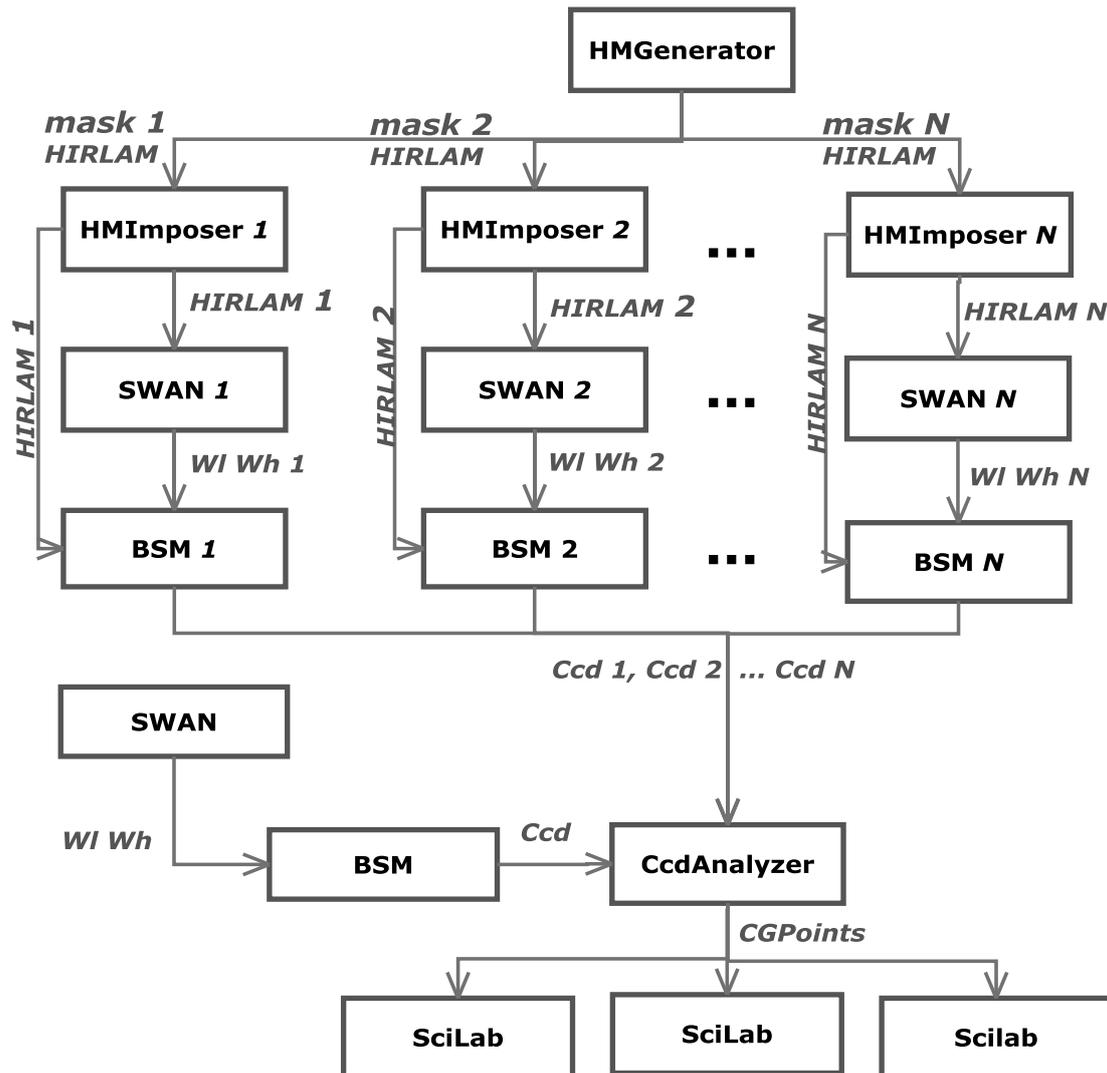


Рисунок 3.1 - Структура композитного приложения

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

- HMGenerator - прикладной пакет генерации маски коэффициентов на основе нормального распределения для данных HIRLAM;

- HMImposer - прикладной пакет обработки данных прогнозов HIRLAM, с возможностью наложения маски коэффициентов;
- SWAN - прикладной пакет генерации ветрового волнения на основе SWAN;
- BSM - прикладной пакет расчета полей течений и уровня Балтийского моря на основе BSM модели;
- CcdAnalyzer - прикладной пакет обработки полученных прогностических полей уровня Балтийского моря;
- SciLab - многоцелевой пакет компьютерной математики и визуализации – необходим для построения основных статистических характеристик и визуализации результатов.

В листинге 3.1 приведен скрипт композитного приложения на языке EasyFlow, а на рис. 3.2 - результат его интерпретации в МИТП, который создает сложную очередь из 10 процессов запуска пакетов в виде AWF.

Листинг 3.1. Описание композитного приложения на языке EasyFlow

```
require hirlamZip,measurementFile,BSHFile, assFields, projects;
require inControlPoints;
require points;

step HMGenerator runs hmgenerator
(
    sigma = 0.1,
    maskCount = 50
)

step HMAppling runs hmimposer after HMGenerator
(
    inHirlam = hirlamZip,
    inMask = sweep HMGenerator.Result.Outputs.outMasks
);

step MaskedSwan runs swan
(
    startCalcDate = "27.11.2011 12:00:00",
    endCalcDate = "27.11.2011 12:00:00",
    inHirlam = sweep HMAppling.Result.sweep_outs["MaskedHirlam.zip"]
);

[sweepMode = @zip]
step MaskedFullBSM runs bsm
(
    inMeasurement = measurementFile,
    inHirlam = sweep HMAppling.Result.sweep_outs["MaskedHirlam.zip"],
    inBSH = BSHFile,
    inSwanCardinal = sweep MaskedSwan.Result.sweep_outs["swanCardinal.zip"],
    useAssimilation = true,
    useSWAN = true,
    useBSH = true,
    useOldProject = false,
    useMask = false,
    startCalcDate = "27/11/2011 12:00:00",
    inAssFields = assFields,
    inProject = projects,
    controlPoints = inControlPoints,
    deleteDirs = true
)
```

```
);  
step OriginSwan runs swan  
(  
    startCalcDate = "27.11.2011 12:00:00",  
    endCalcDate = "27.11.2011 12:00:00",  
    inHirlam = hirlamZip  
);  
step OriginFullBSM runs bsm  
(  
    inMeasurement = measurementFile,  
    inHirlam = hirlamZip,  
    inBSH = BSHFile,  
    inSwanCardinal = OriginSwan.Result.outs["swanCardinal.zip"],  
    useAssimilation = true,  
    useSWAN = true,  
    useBSH = true,  
    useOldProject = false,  
    useMask = false,  
    startCalcDate = "27/11/2011 12:00:00",  
    inAssFields = assFields,  
    inProject = projects,  
    controlPoints = inControlPoints,  
    deleteDirs = true  
);  
step CcdAnalyzer runs ccdanalyzer  
(  
    OriginCcd = OriginFullBSM.Result.outs["ccd.zip"],  
    CcdZip = MaskedFullBSM.Result.sweep_outs["ccd.zip"],  
    pointsToExtract = points  
);  
step WLStatAnalyzer runs scilab after CcdAnalyzer  
(  
    script_name = "CCDA_stat.sce",  
    input_file = CcdAnalyzer.Result.outs["GUAPoints.out"]  
);  
step WLPointDisAnalyzer runs scilab after CcdAnalyzer  
(  
    script_name = "CCDA_pointDis.sce",  
    output_ext = ".png" ,  
    input_file = CcdAnalyzer.Result.outs["GUAPoints.out"]  
);  
step WLBoxPlotAnalyzer runs scilab after CcdAnalyzer  
(  
    script_name = "CCDA_boxPlot.sce",  
    output_ext = ".png" ,  
    input_file = CcdAnalyzer.Result.outs["GUAPoints.out"]  
);
```

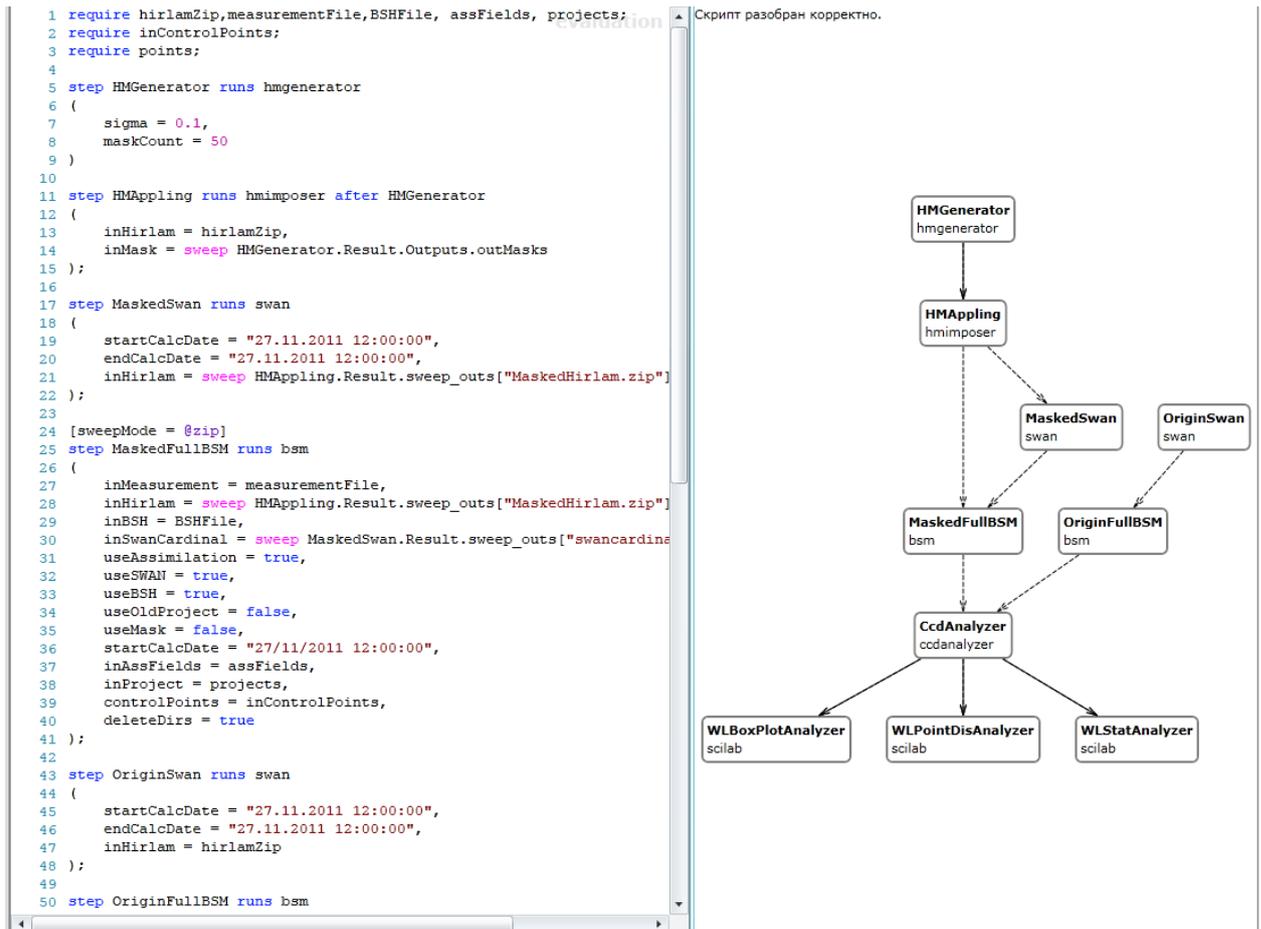


Рисунок 5.4.2 - Подготовка композитного приложения к запуску на выполнение в МИТП

3.2. Характеристики модулей композитного приложения

3.2.1. Прикладной пакет HMGenerator генерации масок для прогноза HIRLAM

Прикладной пакет HMGenerator предназначен для создания масок, содержащих коэффициенты для вариации исходного поля ветра над Финским заливом. Данный пакет позволяет генерировать коэффициенты с заданной шириной окна разброса значений вокруг среднего. Пакет HMGenerator разработан в виде консольного приложения с использованием платформы Microsoft .NET Framework версии 4.0. HMGenerator может функционировать на всех операционных системах семейства Windows, на которых может быть установлена упомянутая платформа.

HMGenerator дает возможность сгенерировать коэффициенты для точек в устье Невы, как нормально распределенные случайные величины с задаваемым пользователем параметром «sigma». Параметр «sigma» представляет собой среднеквадратическое отклонение (СКО) в моделируемом распределении при значении математического ожидания равном 1. Для корректировки поля ветра над остальной частью Финского залива

применяется линейная интерполяция, такая, что по мере приближения к выходу из залива коэффициенты стремятся к 1. Для оставшейся части Балтийского моря коэффициент равен 1.

В пакете NMGenerator применяется генератор нормальных чисел, основанный на полярном методе Марсаглия: $x, y \in [-1, 1]$ – равномерно распределенные случайные величины.

$s = x^2 + y^2$, если $0 < s < 1$, то величины z_1, z_2 будут нормально распределенными случайными величинами:

$$z_1 = x \cdot \sqrt{\frac{-2 \cdot \ln s}{s}}; \quad z_2 = y \cdot \sqrt{\frac{-2 \cdot \ln s}{s}}$$

На вход пакету требуется следующий набор входных данных:

- Параметр «sigma» определяющий среднеквадратичное отклонение для генерации коэффициентов сетки;
- Параметр «maskCount» – количество генерируемых масок;
- FinMeshHirlam.txt – файл, содержащий сетку HIRLAM прямоугольной области в районе Финского залива;
- GF_points_Hirlam.txt – файл узлов сетки HIRLAM, находящиеся непосредственно в пределах Финского залива.

На выходе генерируется заданное пользователем количество текстовых файлов с масками для всего Балтийского моря.

3.2.2. Прикладной пакет NMImposer обработки данных прогнозов HIRLAM

Прикладной пакет NMImposer предназначен для обработки и преобразования данных метеорологических прогнозов HIRLAM, формата GRIB по заданной маске коэффициентов. Пакет NMImposer разработан в виде консольного приложения с использованием платформы Microsoft .NET Framework версии 4.0. NMImposer может функционировать на всех операционных системах семейства Windows, на которых может быть установлена упомянутая платформа.

Прикладной пакет работает по следующим принципам. Изначально на вход подаётся маска коэффициентов и HIRLAM прогноз, состоящий из 49 файлов – на каждый час по прогнозу. Декодирование GRIB формата позволяет получить данные по скорости ветра и давлению. Далее, так как ветер в каждой точке представлен двумя компонентами u и v , то соответствующий коэффициент маски умножается на оба компонента вектора.

Далее полученные данные преобразуются в GRIB формат, формируя модифицированный HIRLAM прогноз.

На вход пакету требуются следующий набор входных данных:

- mask.txt или mask.zip – файл, содержащий маску коэффициентов;
- hirlam.zip – архив-файл прогноза HIRLAM.

На выходе генерируется модифицированный файл-архив HIRLAM прогноза.

3.2.3. Прикладной пакет сервиса волнового моделирования на основе SWAN

Ядром сервиса волнового моделирования (далее СВМ) является приложение SWAN. SWAN - это открытое программное обеспечение, распространяемое в рамках лицензии GNU. В основе SWAN лежит волновая модель третьего поколения, предназначенная для расчета случайных коротких ветровых волн в прибрежных морских районах и внутренних водах. В связи с особенностями использования SWAN была реализована «внешняя оболочка», позволяющая упростить применение этого приложения для решения задач ветрового волнения в акватории Финского залива.

СВМ функционирует на ЭВМ под управлением ОС Windows начиная с XP и ОС семейства Linux.

Программный комплекс СВМ предназначен для:

- расчетов распространения волн в пространстве и времени на мелководье;
- генерации волн ветром;
- нелинейных межволновых взаимодействий;
- расчетов глубинного трения;
- блокирования волн течением.

Внешняя надстройка, направленная на упрощение и ускорение работы с сервисом, позволяет:

- автоматизировать процесс интеграции внутреннего формата SWAN и данных ветрового прогноза HIRLAM;
- автоматизировать задание начальных параметров системы в различных конфигурационных файлах путем определения этих параметров в едином месте;
- автоматизировать процесс конвертации выходного формата данных во входной формат сервиса расчета течений и водного уровня (BSM);
- производить непрерывные расчеты на период более одного прогноза, указывая временной диапазон.

В основе программного комплекса SWAN лежит спектральная волновая модель, базирующаяся на численном решении уравнения баланса волновой энергии. SWAN специально разработан для анализа ветрового волнения в мелководных акваториях, подобных Финскому заливу. Более подробное описание программного комплекса доступно по адресу <<http://www.swan.tudelft.nl/>>. Разработанная надстройка определяется следующим алгоритмом выполнения (см. рис. 3.2.3.1).

На первом этапе производится обработка входных параметров. Далее рассчитанные параметры интерпретируются системой и запускается основной цикл выполнения программы. Первым шагом в данном цикле является построение скрипта запуска проекта. После генерации скрипта происходит его запуск, который в свою очередь делится на три основных шага: преобразование входных данных HIRLAM в формат SWAN, выполнение SWAN и преобразование выходных данных в формат BSM пакета для дальнейшего расчета предсказания течений и водного уровня. Конечным этапом в алгоритме является сбор и обработка выходных данных.

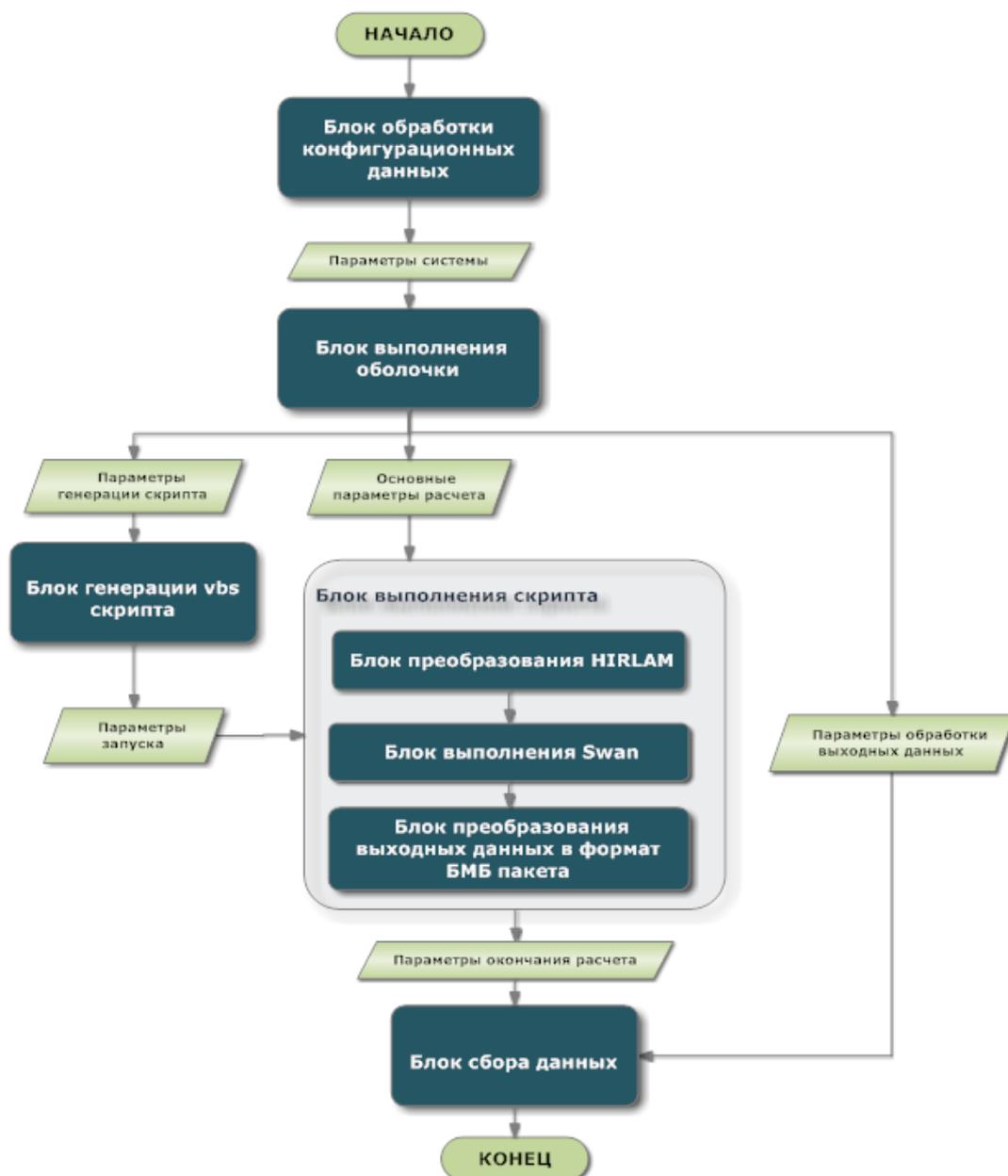


Рисунок 3.2.3.1 - Диаграмма выполнения оболочки

Для вызова пакета SWAN требуется в консольном приложении перейти в директорию, в которой находится приложение, и запустить исполняемый файл SWANExecutor.exe.

Требования к аппаратной совместимости пакета SWAN: персональный компьютер или узел кластера на базе процессора не менее Pentium IV, свободное дисковое пространство – не менее 10 ГБ, объем оперативной памяти – не менее 256 МБ.

Требования к информационной и программной совместимости: программа предназначена для функционирования на персональном компьютере с операционными

системами серии Windows (начиная с XP). На компьютере должна быть установлена платформа Microsoft .NET Framework (версии 3.5 и выше).

В случае удачного запуска и отработки приложения в директории появится иерархия папок \results\cardinal\ с выходными данными.

Входным параметром пакета является конфигурационный файл с основными параметрами, представленными в табл. 3.2.3.1.

Таблица 3.2.3.1

Параметры конфигурационного файла

Имя параметра	Описание параметра
StartCalcTime	Время начала расчета
EndCalcTime	Время окончания расчета
ZipPath	Сохранение результатов расчетов

Результатом работы пакета являются файлы формата wh и wl , а также их архив. Помимо этого на выходе генерируются файлы результатов расчета в указанных на входе контрольных точках.

3.2.4. Прикладной пакет расчета полей течений и уровня Балтийского моря на основе модели BSM

Прикладной пакет BSM является программным комплексом сторонней разработки, предназначенным для расчета течений и водного уровня в условиях наводненческой ситуации. Программный комплекс BSM разработан на языках Delphi с доработанной автоматизированной оболочкой на языке C#. Комплекс BSM функционирует на ЭВМ под управлением ОС Windows начиная с XP.

Программный комплекс BSM предназначен для:

- расчета полей уровня и течений Балтийского моря по входным данным мезомасштабной атмосферной модели HIRLAM;
- предсказания поведения уровня воды Невской губы в условиях полного или частичного закрытия затворов дамбы Санкт-Петербурга.

Также для улучшения эффективности использования BSM была разработана внешняя надстройка, предназначенная для упрощения и ускорения работы с сервисом. Данная надстройка позволяет:

- ускоренно запускать процессы расчетов благодаря объединению вычислительных модулей (самого BSM и модуля ассимиляции данных),

- гибко разворачивать систему на вычислительный ресурс с инкапсуляцией детальных параметров настроек,
- производить расчеты на период более одного прогноза, указывая временной диапазон с возможностью сбора данных в заранее определенных контрольных точках.

Базовой составляющей пакета расчета полей уровня и течений Балтийского моря является программный продукт BSM, в основе которого лежит моделирование нестационарных гидродинамических процессов. Гидродинамические уравнения в BSM решаются неявным конечно-разностным методом на криволинейной сетке, покрывающей акваторию Балтийского моря. Более подробное описание программного комплекса доступно в [2, 3]. Разработанная надстройка определяется алгоритмом выполнения, приведенным на рис. 3.2.4.1.

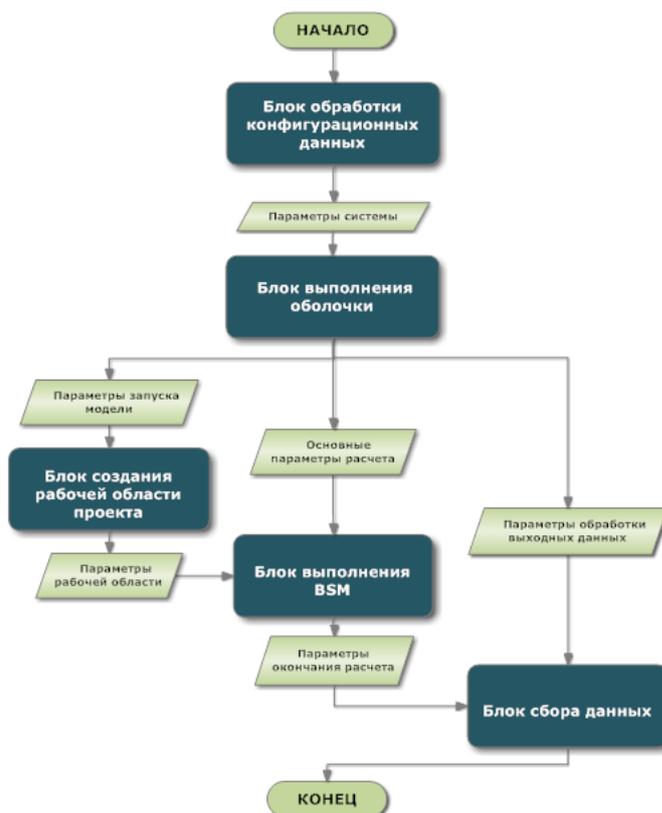


Рисунок 3.2.4.1 - Диаграмма выполнения оболочки

На первом этапе производится обработка входных параметров. Далее рассчитанные параметры интерпретируются системой, и запускается основной цикл выполнения программы. Первым шагом в данном цикле является построение структуры проекта, необходимой для корректной работы, в случае многократного запуска и расчета более чем на один период предсказания. После создания рабочей области происходит запуск BSM модели. Конечным этапом алгоритма является сбор и обработка выходных данных.

Диаграмма связей основных классов представлена на рис. 3.2.4.2 Центральным является класс `ArmmExecutor`, который агрегирует в себе основные классы функциональных блоков, к ним относятся `ExternalExecutor`, `ProjectDeployer`, `ResultExtractor`, а также `ParamConverter`. Первый класс отвечает за запуск самого BSM, второй – за его развертывание, `ParamConverter` – за обработку входных данных `ResultExtractor` – класс обработки результатов. Остальные классы носят вспомогательный характер.

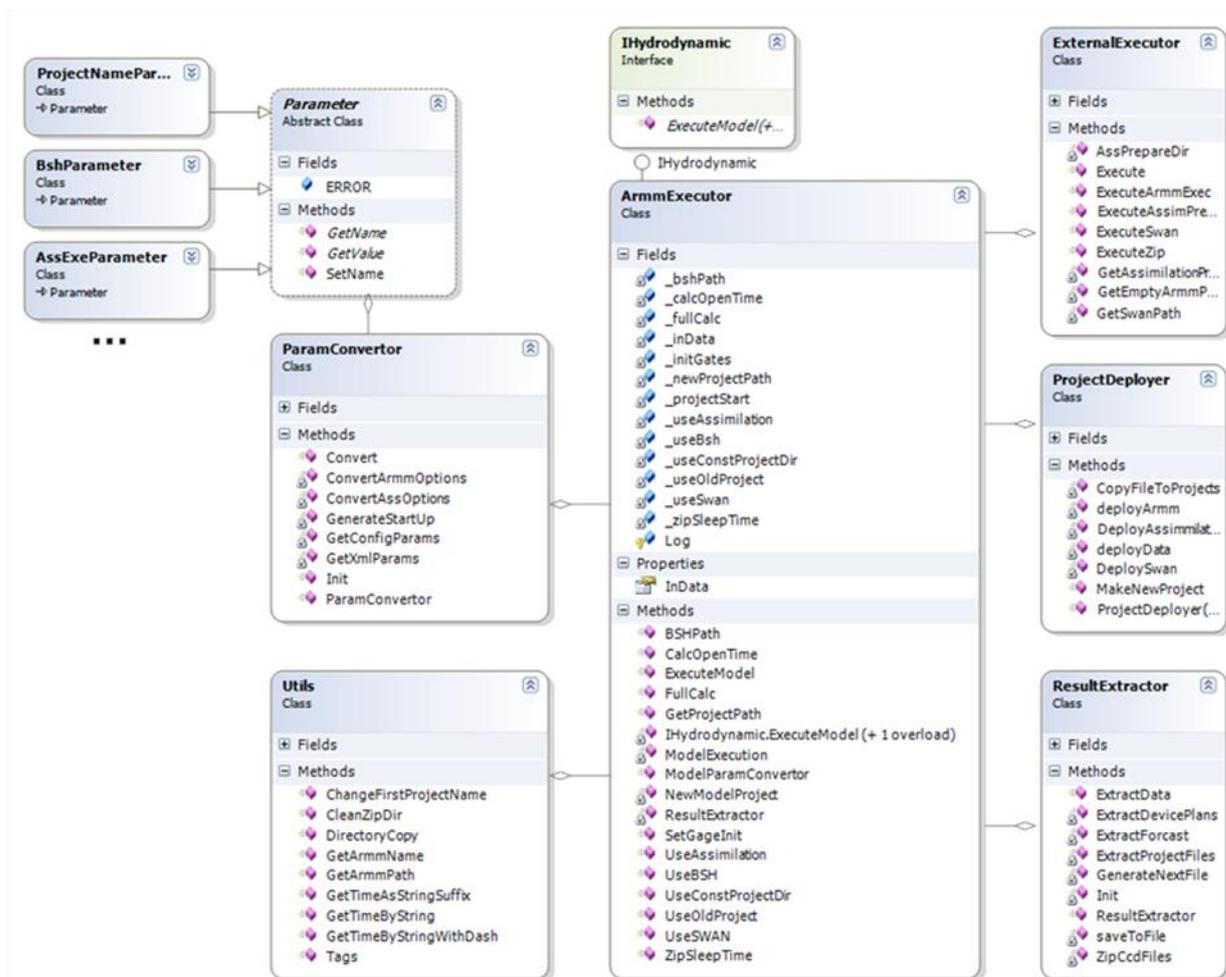


Рисунок 3.2.4.2 - Диаграмма основных классов надстройки пакета BSM

Для вызова пакета BSM требуется в консольном приложении перейти в директорию, в которой находится приложение, и запустить исполняемый файл.

Требования к аппаратной совместимости пакета BSM: персональный компьютер или узел кластера на базе процессора не менее Pentium IV, свободное дисковое пространство – не менее 10 ГБ, объем оперативной памяти – не менее 256 МБ.

Требования к информационной и программной совместимости: программа предназначена для функционирования на персональном компьютере с операционными

системами серии Windows (начиная с XP). На компьютере должна быть установлена платформа Microsoft .NET Framework (версии 3.5 и выше).

В случае удачного запуска и отработки приложения в директории появится иерархия папок \results\out с выходными данными.

Входным параметром пакета является конфигурационный файл с представленными ниже параметрами (таблица 3.2.4.1).

Таблица 3.2.4.1

Параметры конфигурационного файла

Имя параметра = Значение	Описание параметра
CloseTime	Время закрытия затворов
Barriers	Учитывать системой затворы или нет
CalcOpenTim	Рассчитать время открытия затворов
HirlamDir	Путь к директории файлов Hirlam
TestDate	Время начала расчета
OnlyResultExtract	Выполнить расчет только анализа результатов – см. файл projectToExtract.ini в случае true
UseOldProject	Использовать старый или новый проект (важно для наводнений до 2008 года)
UseAssimilation	Использовать Ассимиляцию
UseSWAN	Использовать SWAN
UseBSH	Использование Датских проливов
BSH_Path	Путь к Датским проливам
UseConstProjectDir	Использование константной переменной

Результатом работы пакета являются файлы формата ccd, а также их архив. Помимо этого на выходе генерируются файлы значений уровня воды в указанных на входе контрольных точках.

3.2.5. Прикладной пакет CcdAnalyzer обработки и полученных прогностических полей уровня Балтийского моря

Прикладной пакет CcdAnalyzer предназначен для обработки и преобразования полей уровня воды генерируемых моделью BSM. Пакет CcdAnalyzer разработан в виде консольного приложения с использованием платформы Microsoft .NET Framework версии 4.0. CcdAnalyzer может функционировать на всех операционных системах семейства Windows, на которых может быть установлена упомянутая платформа.

Прикладной пакет предназначен для обработки больших объемов данных ccd формата, полученных к примеру из ансамбля по прогнозам HIRLAM или BSH. Изначально производится разархивирование всех входных архивов, далее по входным контрольным точкам извлекаются значения уровня воды, образуя ряды максимальных, минимальных и средних уровней. Отдельно производится извлечение матрицы значений уровней всего массива данных для точки «Горный Институт».

На вход пакету требуются следующий набор входных данных:

- ccd.zip – архив-файл прогноза HIRLAM
- extractedPoints.in – файл с контрольными точками нерегулярной сетки модели BSM.

На выходе генерируется файл «GUAPoints.out» матрицы со значениями хода уровня воды для всего ансамбля и обычного расчета в контрольной точке «Горный институт». Также генерируются файлы min.out, mid.out, max.out, с максимальными, минимальными и средними значениями уровня воды в контрольных точках.

3.3. Описание модулей композитного приложения в МИТП

3.3.1. Прикладной пакет *HMGenerator* генерации масок для прогноза *HIRLAM*

Для интеграции пакета *HMGenerator* в МИТП необходимо описать его взаимодействие с платформой, опираясь на формат представления входных и выходных данных, на языке EasyPackage. Платформенный скрипт описания пакета *HMGenerator* 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 *HMGenerator* определяется в соответствии с листингом 3.2.

Листинг 3.2 Скрипт описания пакета *HMGenerator*

```
name "hmgenerator"
#description "Hirlam Mask Generator"
#logo ""

inputs {

    public param {
        name "sigma"
        type float
        default 0.1
    }

    public param {
        name "maskCount"
```

```

        type int
        default 50
    }

    cmdline { |ctx| "{0} -- simga " + ctx.sigma.to_s + " --maskCount " +
ctx.maskCount.to_s }
}

outputs {

    public file_group {
        name "outMasks"
        filters ["\out$"]
    }
}

prepare_package

```

Как видно из листинга 3.2, входные/выходные параметры описаны со следующими атрибутами:

- «имя» (name) – данный атрибут обязателен для всех параметров т.к. является идентификатором;
- «тип» (type) – необходим для отсеивания низкоуровневых ошибок связанных с типизацией данных. В HMGenerator данным атрибутом обладают параметры maskCount и sigma;
- «значение по умолчанию» (default) – определяет начальное значение, в случае maskCount – это 50;
- «фильтр» (filter) – определяет фильтр по которому будут выбраны необходимые выходные файлы, в случае outMasks – это ["\out\$"].

3.3.2. Прикладной пакет HMImposer обработки данных прогнозов HIRLAM

Для интеграции пакета HMImposer в МИТП необходимо описать его взаимодействия с платформой, опираясь на формат представления входных и выходных данных, на языке EasyPackage. Платформенный скрипт описания пакета HMImposer 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 HMImposer определяется в соответствии с листингом 3.3.

Листинг 3.3 Скрипт описания пакета HMImposer

```

name "hmimposer"

inputs {
    public file {
        name "inHirLam"
        required
        package
    }
}

```

```

        filename "hirlam.zip"
        path "/data/in/zip/hirlam/"
    }

    public file {
        name "inMaskZip"
        package
        filename "mask.zip"
        path "/data/in/zip/mask/"
    }

    public file {
        name "inMask"
        package
        path "/data/in/mask/"
    }

    cmdline { |ctx| "{0}" }
}

outputs {
    file {
        name "hirlamZip"
        expected
        path "/"
        filename "MaskedHirlam.zip"
    }
}

prepare_package

```

Как видно из листинга 3.3, все входных параметры описаны со следующими атрибутами:

- «имя» (name) – данный атрибут обязателен для всех параметров т.к. является идентификатором;
- «имя файла» (filename) – данный атрибут устанавливается для всех параметров файла, где требуется определённое имя на вход пакету, к таким относятся inHirlam, inMaskZip, hirlamZip;
- «пакет» (package) – используется только для файлов и показывает, что данный файл является входным для пакета. В NMImposer все входные параметры обладают таким атрибутом;
- «ожидаемый» (expected) – используется только для файлов и показывает, что данный файл является выходным для пакета. В NMImposer параметром с таким атрибутом является hirlamZip;
- «путь» (path) – определяет путь размещения файлов у всех параметров пакета.

3.3.3. Прикладной пакет ветрового волнения SWAN

Для интеграции пакета SWAN в МИТП необходимо описать его взаимодействие с платформой, опираясь на формат представления входных и выходных данных. Платформенный скрипт описания пакета SWAN позволяет определить уровень

абстракции и интерпретации в работе с входными выходными параметрами, что обеспечивает гибкость и упрощение процедуры взаимодействия пользователя с платформой на этапе запуска задания. Тем самым необходимость в определении на входе тех или иных параметров по умолчанию устраняется. Это приводит к более эффективному использованию пакета в рамках компонентов выполняемого сервиса.

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

Листинг 3.4. Основная часть скрипта описания параметров пакета SWAN

```

name "Swan"
inputs {
  public param {
    name "startCalcDate"
    required
    display "Start Calculation Date"
    type datetime
    validator { |val, ctx| val < Time.now }
  }
  public param {
    name "endCalcDate"
    required
    display "End Calculation Date"
    type datetime
    depends ["startCalcDate"]
    evaluator { |ctx| ctx.startCalcDate }
    validator { |val, ctx| val >= ctx.startCalcDate }
  }
  public file {
    name "inHirlam"
    required
    package
    filename "hirlam.zip"
    path "/data"
  }
  public file {
    name "inConfig"
    required
    filename "config.ini"
    assembler erb_template rtext("swanConfig.erb")
    path "/"
  }
  cmdline { |ctx| "{0}" }
}
outputs {
  public file {
    name "outHirlam"
    expected
    filename "swanCardinal.zip"
    path "/"
  }
}
prepare_package

```

Как видно из листинга 3.4, все входные 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 всех параметров файла, где требуется определённое имя на вход пакету, к таким относятся inHirlam, inMaskZip, hirlamZip;
- «необходимый» (required) – данный атрибут отражает условие присутствия этого параметра при запуске, в описании пакета SWAN это – startCalcDate, endCalcDate, inHirlam, inConfig;
- «информация о параметре» (Display) – данный атрибут отражает текстовую информацию о параметре в интерфейсе пользователя;
- «валидатор»(validator) – необходим для проверки валидности значения параметра, например, endCalcDate должен быть либо больше, либо равен startCalcDate;
- «тип» (type) – необходим для отсеивания низкоуровневых ошибок, связанных с типизацией данных.

3.3.4. Прикладной пакет расчета полей течений и уровня Балтийского моря на основе модели BSM

Для интеграции пакета BSM в МИТП необходимо описать его взаимодействие с платформой, опираясь на формат представления входных и выходных данных. Платформенный скрипт описания пакета BSM позволяет определить уровень абстракции и интерпретации в работе с входными/выходными параметрами, что обеспечивает гибкость и упрощение процедуры взаимодействия пользователя с платформой на этапе запуска задания. Тем самым необходимость в определении на входе тех или иных параметров по умолчанию устраняется, а сложные составные входные данные декомпозируются на более мелкие составляющие. Это приводит к более эффективному использованию пакета в рамках состава компонентов выполняемого сервиса.

Платформенный скрипт описания пакета BSM определяется в соответствии с листингом 3.5.

Листинг 3.5. Основная часть параметров описания пакета BSM

```
name "BSM"
inputs {
  public param {
    name "useSWAN"
    display "Use SWAN"
    type bool
    default false
  }
  public param {
    name "startCalcDate"
    required
    display "Start Calculation Date"
    type string
  }
}
```

```
}
public param {
    name "useBSH"
    display "Use BSH"
    type bool
    default false
}
public param {
    name "useExternalProject"
    display "Use External Project"
    type bool
    default false
}
public param {
    name "useAssimilation"
    display "Use assimilation"
    type bool
    default false
}
public param {
    name "useMask"
    display "Use mask to impose on hirlam"
    type bool
    default false
}
public param {
    name "deleteDirs"
    display "Delete subdirectories for optimization network traffic"
    type bool
    default false
}
public file {
    name "inHirlam"
    required
    package
    filename "hirlam.zip"
    path "Data/Hirlam"
}
public file {
    name "inBSH"
    filename "bsh.zip"
    package
    path "/Data/BSH"
}
public file {
    name "inHirlamMask"
    filename "hirlamMask.zip"
    package
    path "/Data/HirlamMask"
}
public file {
    name "inHirlamMaskFile"
    package
    path "/Data/HirlamMask"
}

public file {
    name "inSwanCardinal"
    filename "swancardinal.zip"
    package
    path "/Data/Swan"
}

public file {
    name "inMeasurement"
    filename "measurement.zip"
    package
    path "/AssimilationTemplate/Data/Measurement"
}
```

```
public file {
    name "inBSMConfig"
    package
    filename "SPUVConfig.ini"
    path "/"
    assembler erb_template rtext("bsmConfig.erb")
}

public file {
    name "inProject"
    filename "Project.zip"
    package
    path "/Data/Projects"
}

public file {
    name "inAssFields"
    package
    path "/Data/AssimilationFields"
}

public file {
    name "controlPoints"
    filename "controlPoints.in"
    package
    path "/"
}

cmdline { |ctx| "{0}" }
}

outputs {
    file {
        name "zip_ccd"
        expected
        path "/"
        filename "ccd.zip"
    }
    file_group {
        name "points"
        filters ["\.data$"]
    }
}
}
prepare_package
```

Как видно из листинга 3.5, все входные параметры описаны со следующими дополнительными атрибутами:

- «необходимый» (required) – данный атрибут отражает условие присутствия этого параметра при запуске, в описании пакета BSM это – startCalcDate, inHirlam;
- «информация о параметре» (display) – данный атрибут отражает текстовую информацию о параметре в интерфейсе пользователя;
- «значение по умолчанию» (default) – определяет начальное значение, которое для всех переменных логического типа (bool) задано как «false», что в данном контексте означает «не использовать»;
- «тип» (type) – необходим для отсеивания низкоуровневых ошибок, связанных с типизацией данных;

- «экстракторы и ассемблеры» – атрибуты файлов, необходимые для нахождения какой-либо информации (конкретного значения, строки результата) внутри файла и создания новых файлов на основе указанных значений параметров и описанных шаблонов.

Шаблон для конфигурационного файла BSM представлен в листинге 3.6.

Листинг 3.6. Шаблон для конфигурационного файла BSM.

```
Barriers=false
CalcOpenTime=false
HirlamDir=.\Data\Hirlam\
TestDate=<%=w.startCalcDate%>
OnlyResultExtract=false
UseOldProject=<%=w.useOldProject%>
UseAssimilation=<%=w.useAssimilation%>
UseSWAN=<%=w.useSWAN%>
UseBSH=<%=w.useBSH%>
BSH_Path=.\Data\BSH\
UseConstProjectDir=true
ZipSleepTime=5000000
```

**3.3.6. Прикладной пакет обработки прогностических полей уровня воды
CcdAnalyzer**

Для интеграции пакета CcdAnalyzer в МИТП необходимо описать его взаимодействия с платформой, опираясь на формат представления входных и выходных данных, на языке EasyPackage. Платформенный скрипт описания пакета CcdAnalyzer 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 CcdAnalyzer определяется в соответствии с листингом 3.7.

Листинг 3.7. Основная часть параметров описания пакета CcdAnalyzer

```
name "ccdalyzer"
inputs {
    public file {
        name "pointsToExtract"
        required
        package
        filename "pointsToExtract.in"
        path "/"
    }
    public filegroup {
        name "CcdZip"
        required
        path "/CcdZip/"
    }
    public file {
        name "NormalCcdZip"
        path "/NormalZip/CcdZip/"
    }
}
```

```
    }
    cmdline { |ctx| "{0}" }
}
outputs {
  file {
    name "minPoints"
    expected
    path "/"
    filename "min.out"
  }
  file {
    name "maxPoints"
    expected
    path "/"
    filename "max.out"
  }
  file {
    name "midPoints"
    expected
    path "/"
    filename "mid.out"
  }
  file {
    name "guapoints"
    expected
    path "/"
    filename "GUAPoints.out"
  }
}
prepare_package
```

Как видно из листинга 3.7, все входных параметры описаны со следующими атрибутами:

- «имя» (name) – данный атрибут обязателен для всех параметров т.к. является идентификатором;
- «имя файла» (filename) – данный атрибут устанавливается для всех параметров файла, где требуется определённое имя на вход пакету, к таким относятся midPoints, minPoints, maxPoints, guapoints, pointsToExtract;
- «пакет» (package) – используется только для файлов и показывает, что данный файл является входным для пакета. В CcdAnalyzer pointsToExtract обладает таким атрибутом;
- «ожидаемый» (expected) – используется только для файлов и показывает, что данный файл является выходным для пакета. В CcdAnalyzer параметром с таким атрибутом является guapoints;
- «путь» (path) – определяет путь размещения файлов у всех параметров пакета.

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:

1. архитектура процессора – x86, x86_64, IA64;
2. объем оперативной памяти – 1 ГБ;
3. объем свободного пространства на жестком диске – 1 ГБ;
4. 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 генерации маски коэффициентов NMGenerator запускается на исполнение на выбранном вычислительном ресурсе.
4. По окончании расчета экземпляра пакета NMGenerator выходные данные (в форме файлов) передаются на вход пакету по работе с данными HIRLAM – NMImposer, *N* экземпляров которого параллельно запускаются на исполнение на подготовленных вычислительных ресурсах.
5. По окончании работы всех экземпляров пакета NMImposer, выходные данные передаются такому же количеству экземпляров пакета моделирования ветрового волнения SWAN, которые запускаются на исполнение на подготовленных вычислительных ресурсах.

6. По завершению выполнения всех экземпляров пакета SWAN, выходные данные экземпляров выполненных пакетов HMImposer и SWAN передаются N экземплярам пакета моделирования хода уровня воды BSM, запуск которых осуществляется на выбранных платформой вычислительных ресурсах.
7. После завершения работы пакета BSM выходные файлы передаются пакету обработки данных (в формате ccd) CcdAnalyzer, который запускается на выделенном ресурсе.
8. По окончании работы пакета CcdAnalyzer выходные файлы передаются трем экземплярам пакета SciLab для:
 - расчета основных статистических характеристик;
 - построения графика boxplot;
 - построения графика распределения ансамблевых данных.
9. После завершения работы приложения выходные данные передаются в хранилище данных, и пользователь уведомляется средствами МИТП об успешном выполнении задания.

На рисунке 4 показан CWF(Composite workflow) в процессе исполнения композитного приложения под управлением МИТП.

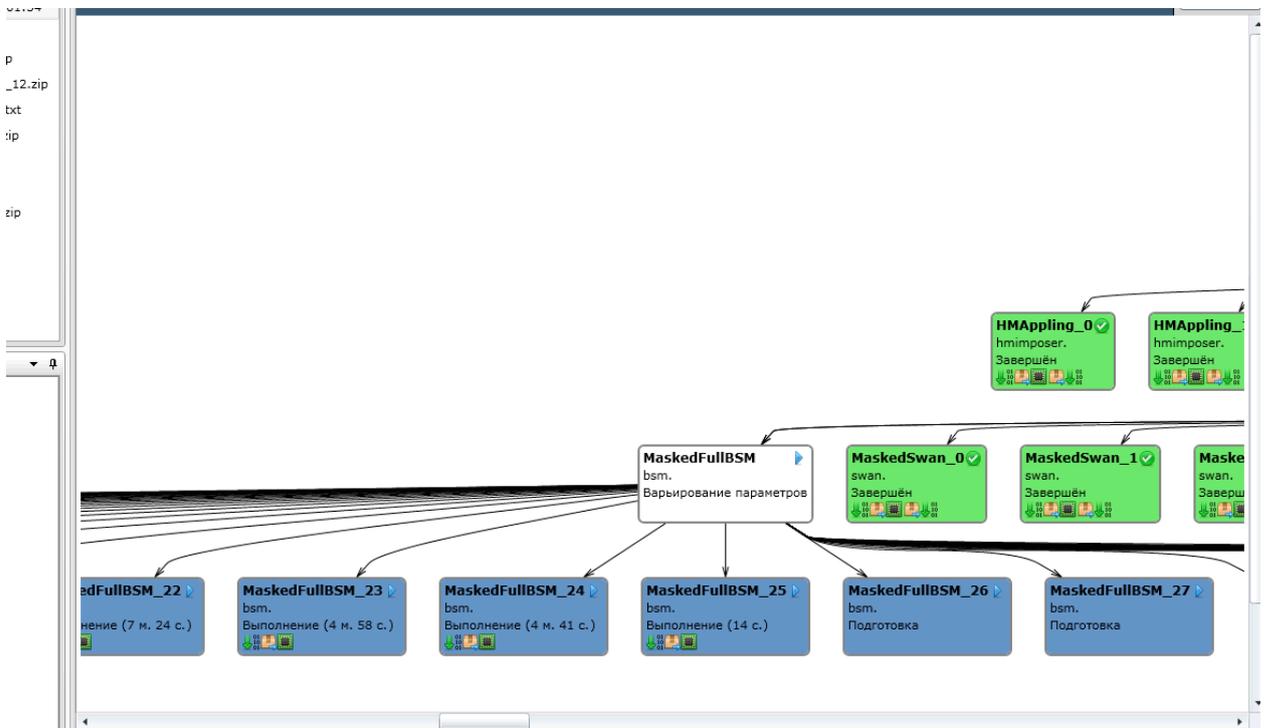


Рисунок 4 - Образ WF исполнения композитного приложения

6. ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Входные данные, необходимые для работы прикладного сервиса:

- архив метеорологических данных HIRLAM исследуемого прогноза;
- архив проектных фалов BSH подготовленный предысторией расчетов на дату исследуемого прогноза;
- поле ассимиляции, сгенерированное на дату исследуемого прогноза;
- архив измерений уровня воды в контрольной точке Горный институт с 2-х дневной предысторией;
- данные BSH по стоку датских проливов на дату прогноза;
- координаты контрольных точек криволинейной сетки BSM, значения хода уровня которых, требуется извлечь;
- скрипты статистической обработки и построения графиков формата «sce».

7. ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ

По результатам выполнение WF должен получиться следующий набор выходных данных:

- ансамбль прогнозов HIRLAM в виде архивов «MaskedHirlam.zip»;
- ансамбль прогнозов ветрового волнения в виде архивов «swancardinal.zip»;
- ансамбль прогнозов хода уровня воды в Финском заливе в виде архивов «ccd.zip»;
- файлы формата «BSM48_22_<дата>_<id>_<index>».data с извлекаемыми контрольными точками, заданными входными данными;
- прогноз ветрового волнения в виде архива «swancardinal.zip» без применения маски;
- прогноз хода уровня воды в ФЗ в виде архива «ccd.zip» без применения маски;
- матрица «GUAPoints.out» со значениями хода уровня воды для всего ансамбля и обычного расчета в контрольной точке «Горный институт»;
- файл основных статистических характеристик ансамбля;
- график компактного отображения одномерного распределение вероятностей оценки влияния изменения скорости ветра на ход уровня воды в контрольной точке «Горный институт»;
- график разброса значений уровня воды относительно расчета сделанного без наложения маски.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

ПС	Прикладной сервис
СОНПС	Прикладного сервиса оценки неопределенности прогнозов наводненческих ситуаций в Санкт-Петербурге
СКО	Среднеквадратическое отклонение
МИТП	Многофункциональная инструментально-технологическая платформа
СВМ	Сервиса волнового моделирования
CWF	Composite workflow
ФЗ	Финский залив

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бухановский А. В., Рожков В. А. Невские наводнения редкой повторяемости // Изв. РГО. 1999. Т. 131, вып 3.
2. Клеванный К.А. Смирнова Е.В. Использование программного комплекса CARDINAL // Журнал Университета водных коммуникаций. – 2009, вып. 1. – С. 153–162.
3. Аверкиев А.С., Клеванный К.А. Расчет экстремальных уровней воды в восточной части Финского залива // Метеорология и гидрология. – 2009, № 11. – С. 59–68.

