

К.А. Лизунов, А.В. Илларионов

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ ПРИ РЕШЕНИИ ПРОТИВОМИННОЙ ЗАДАЧИ

Лизунов Кирилл Александрович, окончил кораблестроительный факультет Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. Инженер 2 категории ОАО «ЦНИИ «Курс». Имеет статьи и свидетельства о регистрации программ для электронно-вычислительных машин в области систем имитационного моделирования для судостроительной отрасли. [e-mail: mail@kyrs.ru].

Илларионов Александр Владимирович, окончил факультет автоматизации и управления в машиностроении Московского государственного технического университета «МАМИ». Ведущий инженер ОАО «ЦНИИ «Курс». Имеет статьи и свидетельства о регистрации программ для электронно-вычислительных машин в области систем имитационного моделирования, трехмерной графики, суперкомпьютерных вычислений. [e-mail: mail@kyrs.ru].

Аннотация

В статье предложено описание программного комплекса, предназначенного для имитационного моделирования действий автономных необитаемых подводных аппаратов в процессе разминирования района акватории, последующего сбора статистики и подсчета эффективности их применения.

Ключевые слова: моделирование, статистика, необитаемый подводный аппарат, разминирование, автономный необитаемый подводный аппарат, подводный робот.

Введение

Борьба с минной опасностью является сложной технической проблемой, решение которой требует непрерывного развития и совершенствования противоминных сил и средств. Поиски новых технических решений в области противоминного оружия привели к возникновению концепции, которая включает в себя обнаружение, классификацию и нейтрализацию (уничтожение) мин [1].

Данная работа ставила целью обеспечение проведения комплекса исследований по обоснованию технического облика системы разминирования, достижимых основных характеристик и параметров системы.

Описание работы

Программное обеспечение предназначено для комплексного имитационного моделирования процессов действия необитаемых подводных аппаратов (НПА) при разминировании акватории. При работе проводится многоэтапное имитаци-

онное моделирование процессов работы НПА. Вычисления организованы таким образом, чтобы максимально загрузить все имеющиеся аппаратные средства. Результаты расчетов предоставляются оператору в виде статистических данных, на основе которых принимается решение о целесообразности использования тех или иных средств для каждой конкретной задачи.

При проведении расчетов методом имитационного моделирования задействуются значительные мощности вычислительных средств. При этом проводятся многочисленные запуски (далее – «прогоны») каждого конкретного сценария применения НПА. В процессе выполнения одного «прогона» сценария поведение и относительное расположение объектов, участвующих в моделировании, разыгрываются вероятностным методом относительно математических ожиданий, заложенных в сценарии. После проведения каждого «прогона» собирается статистика всех событий, произошедших в процессе моделирования. После выполнения заданного числа «прогонов» (например, 1000) каждого сценария проводится анализ результатов моделирования на основе полученной статистики.

Для расчетов используется среда распределенных вычислений, построенная по технологии HLA (HighLevelArchitecture, в переводе – архитектура высокого уровня).

Система включает в себя следующие модели и блоки:

1. Блок отображения и формализации оперативно-тактической обстановки.
2. Модели внешней среды.
3. Модели противодействующей стороны.
4. Модели НПА.
5. Блок обработки результатов моделирования.

Блок отображения и формализации оперативно-тактической обстановки предназначен для вывода на дисплей электронной карты местности, типовых объектов противника, своих сил и средств для нанесения оперативно-тактической обстановки и результатов работы остальных блоков системы. Он включает в себя следующие модули:

- электронной карты;
- нанесения обстановки;
- отображения и документирования.

Модель внешней среды формирует условия ведения боевых действий в зависимости от гидрометеобстановки, времени суток и характера рельефа дна (факторов пространства и времени) и включает в себя модели:

- гидрофизических условий (ГФУ);
- района действий.

Модели противодействующей стороны предназначены для моделирования средств вооруженной борьбы противника в ходе решения НПА поставленной задачи и содержат модель миноподобного объекта противника.

Модель НПА предназначена для моделирования функционирования НПА и его подсистем с учетом влияния основных факторов и содержит следующие модели:

- движения НПА;
- системы навигации НПА;

- обнаружения НПА;
- систем вооружения НПА.

Блок обработки результатов моделирования предназначен для накопления результатов расчетов (моделирования), их обработки, анализа и представления оператору в удобном для него виде, а также для визуализации процесса моделирования.

Структурная схема информационных связей между моделями приведена на рисунке 1.

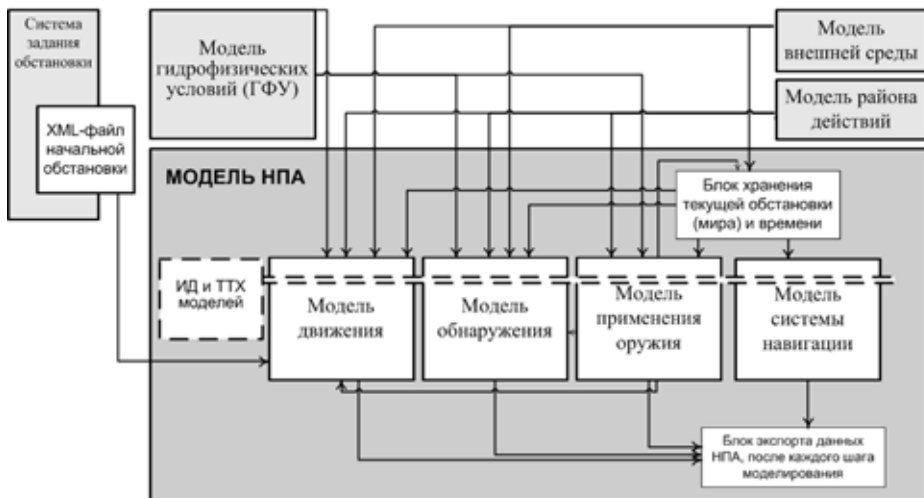


Рис.1. Структурная схема информационных связей между моделями

Модель ГФУ

Модель ГФУ предназначена для задания гидрофизических и метеорологических параметров внешней среды в процессе моделирования. Данная модель является вспомогательной для других моделей, таких как модель различных средств обнаружения НПА, различных моделей движения и применения оружия. В процессе работы моделируются следующие параметры ГФУ: осадки, ветер, температура воздуха, волнение моря, направление и скорость течения.

Модель района действий

Модель района выдает информацию о конфигурации запретных для работы зон и данные о глубинах на основе цифровой карты рельефа местности.

Модель системы навигации НПА

НПА определяет свои координаты с помощью инерциальной системы и глубиномера [2]. Ошибки системы навигации задаются в файле ТТХ.

Учитывается две группы ошибок:

- ошибки текущего определения координат разыгрываются в процессе движения НПА [2];

– ошибки начальной установки инерциальной системы (включая ошибки юстировки) разыгрываются в точках установки (уточнения) координат, при этом накопленные ошибки инерциальной системы сбрасываются [2].

Алгоритмы расчета маршрутов движения НПА

Используется несколько алгоритмов:

– алгоритм расчета маршрута для поиска мин в зоне с помощью гидролокатора бокового обзора (ГБО) просчитывает поворотные точки, разбивая зону для движения галсами;

– алгоритм расчета маршрута для уточнения определения мин с помощью профилографа;

– алгоритм расчета маршрута для уточнения определения мин с помощью электромагнитного излучателя;

– алгоритм расчета маршрута для установки заряда.

Модель движения НПА

Модель предназначена для воспроизведения движения подводного аппарата в толще воды.

При построении модели учитывались характеристики существующих и перспективных НПА [3].

Перед началом работы модели производится ее инициализация: из файла сценария считывается начальное положение НПА, из модели расчета маршрута считываются координаты поворотных точек маршрута с заданными скоростями, а также время начала движения [4].

При запуске модели НПА начинает движение от своего начального положения к ближайшему отрезку или точке траектории заданного маршрута, при достижении которых НПА движется в порядке обхода последовательности заданных точек [4]. При моделировании движения учитывается расход энергии батарей согласно расходуемой энергии на движение с учетом КПД и других зависимостей. При движении учитывается снос аппарата (например, течением) и производится постоянная коррекция курса и мощности на валу двигателя для обеспечения заданных параметров движения по маршруту. Имитация реалистичного движения достигается, в том числе, за счет ввода в модель и последующего розыгрыша нескольких групп ошибок [1]. Вероятностным методом разыгрываются ошибки установки инерциальной системы аппарата, навигации по курсу, дальности и глубине. Поворот в опорных точках траектории осуществляется с учетом заданных радиусов циркуляции аппарата в вертикальной и горизонтальной плоскостях [5]. Многие характеристики движения аппарата задаются нелинейными параметрическими зависимостями (таблицами), такими как зависимость ускорения от текущей скорости и мощности на валу, зависимость КПД энергетической части от мощности, зависимость коэффициента уменьшения путевой скорости от радиусов циркуляции и другими (рис. 2) [4].

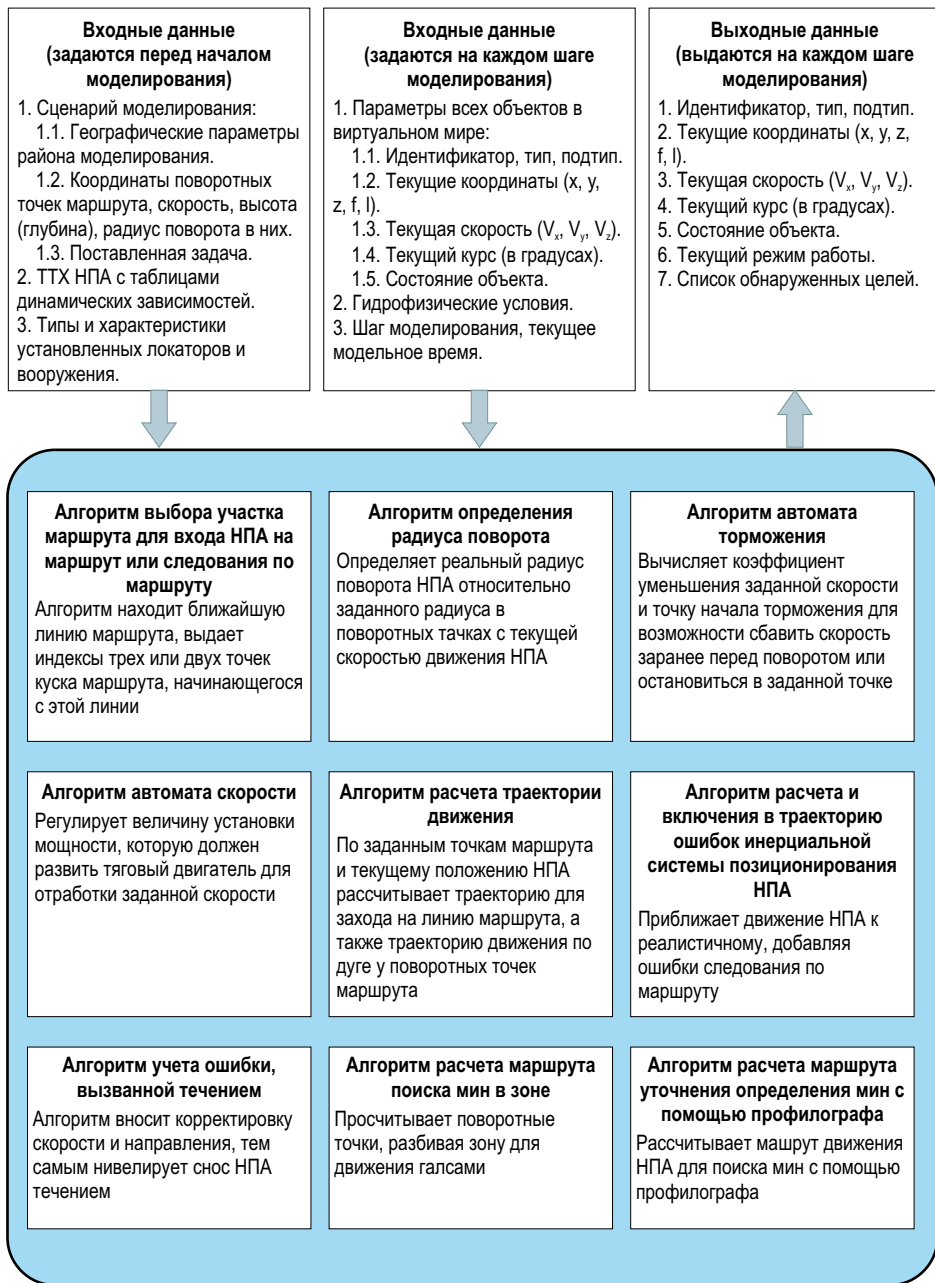


Рис. 2. Структурная схема модели движения НПА

Модель обнаружения

Модель предназначена для имитации работы активных и пассивных средств гидроакустического обнаружения подводных мобильных и стационарных объектов.

Алгоритмы модели разделены по принципу работы соответствующих сенсоров аппарата, это: гидролокатор предупреждения препятствий, ГБО, профилограф, электромагнитный минный идентификатор [6].

Противоминная задача решается в три этапа: поиск, классификация и уничтожение мин.

Модель обнаружения используется при поиске и классификации миноподобных объектов. При поиске задействуются алгоритмы обнаружения ГБО, а при классификации – профилографа и электромагнитного минного идентификатора [5].

Модель применения оружия

Модель применения оружия предназначена для имитации процессов подрыва цели [6].

Модель рассчитывает алгоритм действий НПА для закладки заряда возле заранее обнаруженной мины для ее подрыва.

Модели внешней обстановки

Предназначены для имитации действий сил и средств, не входящих в состав комплекса (как собственных, так и противника). К моделям внешней обстановки относятся: надводные корабли (НК), летательные аппараты и минное оружие.

В моделях внешней обстановки применены упрощенные алгоритмы по сравнению с алгоритмами НПА и, в большинстве случаев, не разыгрываются ошибки в процессе имитации.

При запуске сценариев в режиме «демонстрации» предполагается использование вычислительных возможностей каждой электронно-вычислительной машины (ЭВМ) для независимого отображения динамики развития событий в процессе моделирования противолодочного и противоминного сценариев. Схема размещения программного обеспечения представлена на рисунке 3.

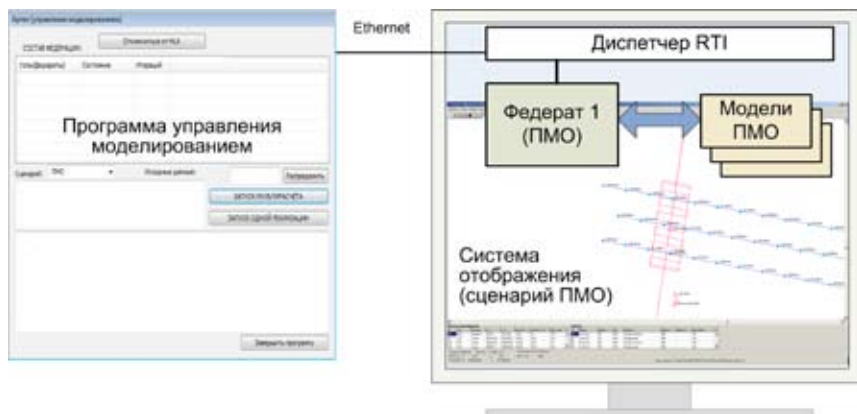


Рис. 3. Схема размещения программного обеспечения для запуска сценариев в режиме демонстрации

При запуске стенда в режиме распределенного моделирования сценариев для получения многопрогнонной статистики элементы противоминной обороны (ПМО) организуются следующим образом (рис. 4).

На одной из машин запускается диспетчер RTI, который будет обеспечивать проведение статистической информации от каждого вычислительного узла в процессе моделирования.

Далее запускаются федераты распределенного моделирования, как правило, из расчета: один федерат на одну ЭВМ.

После запуска программы управления моделированием осуществляется ее подключение к информационному полю федерации, при этом в таблице отражается ее состав. Программа осуществляет выбор сценария, количество реализаций его проведения и распределение этих реализаций на вычислительные узлы, представленные соответствующими федератами.

Получив задание на моделирование, федерат согласно расписанию распределения реализаций запускает требуемое число локальных вычислительных процессов (ЛВП) и передает им сценарий.

Каждый ЛВП в соответствии со сценарием загружает требуемые библиотеки моделей и осуществляет независимое от других ЛВП пошаговое моделирование сценария в режиме максимально ускоренного времени. Статистика от каждого ЛВП анализируется федератом и преобразуется в форму готового отчета о моделировании, после чего

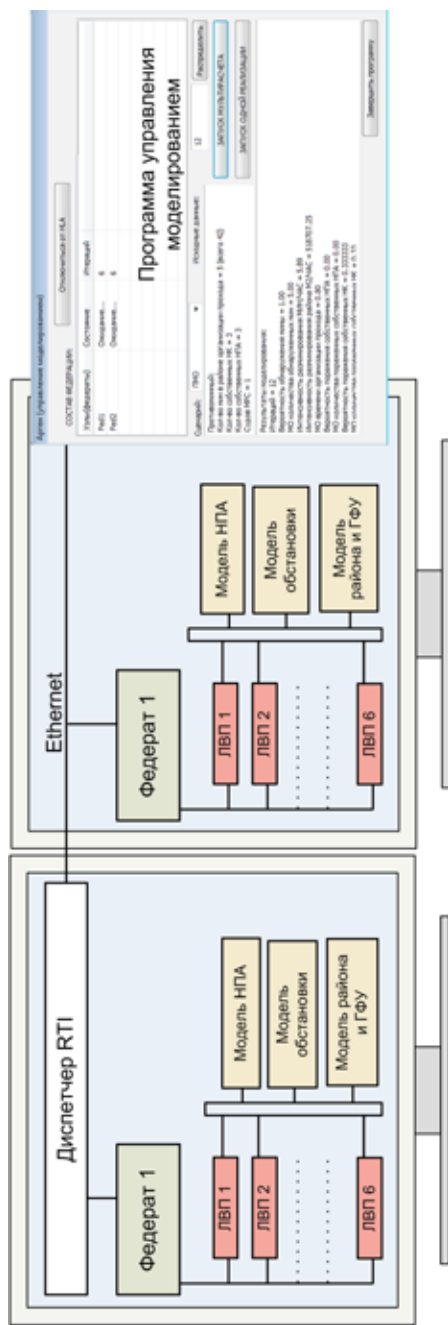


Рис. 4. Схема размещения программного обеспечения при запуске многопрогнонного режима моделирования

переправляется в программу управления моделированием, где обобщается уже от каждого федерата.

Особенностью задачи оценки эффективности НПА в противоминном сценарии является отсутствие единого критерия оценки эффективности, что приводит к постановке многокритериальных задач. В качестве показателей эффективности могут быть рассмотрены:

Показатели, характеризующие нанесенный противнику ущерб

1. Вероятность обнаружения / не обнаружения мины.
2. Математические ожидания (МО) количества обнаруженных / не обнаруженных мин.
3. Интенсивность разминирования (количество мин за единицу времени, площадь за единицу времени).
4. МО времени выполнения задачи организации прохода через минное заграждение.

Показатели, характеризующие собственные потери

1. Вероятность поражения НПА.
2. МО пораженных НПА.
3. Вероятность поражения своего НК (ПЛ) при проходе через минное заграждение.
4. МО количества пораженных собственных НК.

Заключение

Тестовый расчет (контрольная задача, рис. 5) показывает возможность прогнозирования ожидаемого результата и разработки боевых наставлений в части использования НПА. В качестве примера приведены исследования зависимости вероятности успешных действий НПА при разминировании от параметров обнаружения.

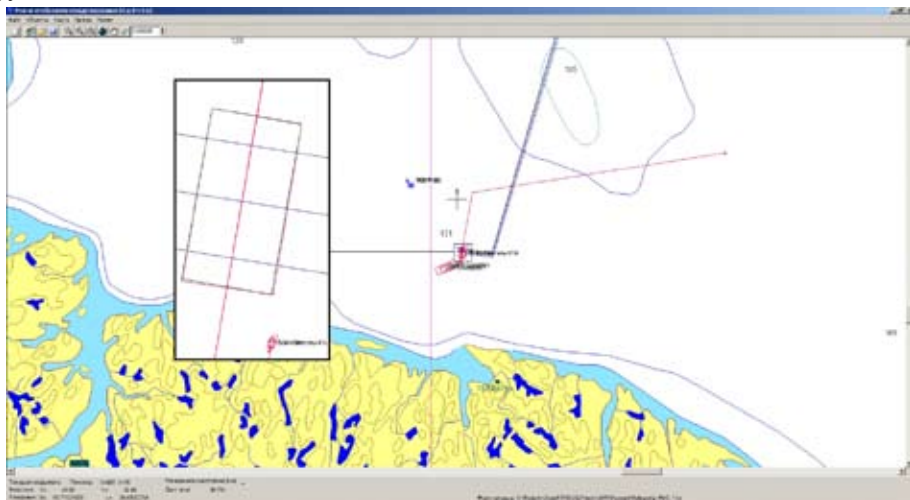


Рис. 5. Экранная форма отображения тестовой задачи

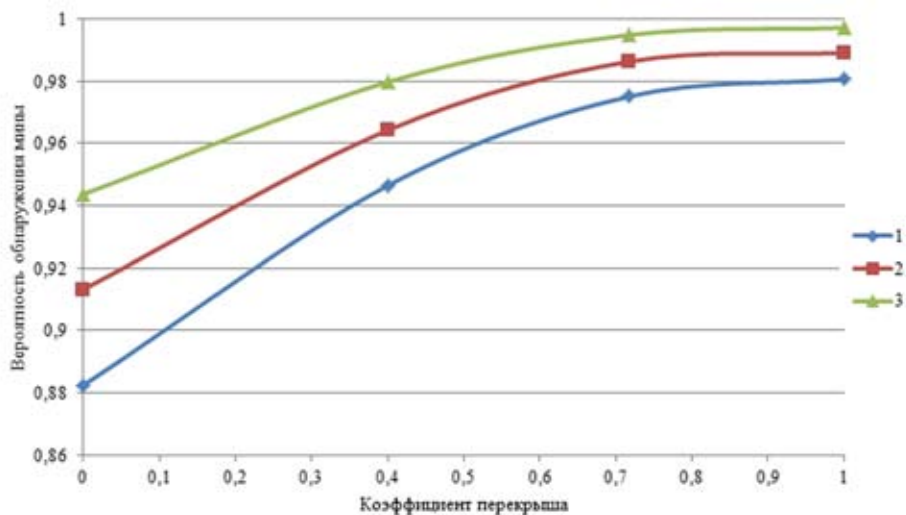


Рис. 6. График зависимости вероятности обнаружения мины от коэффициента перекрыша секторов поиска ГБО

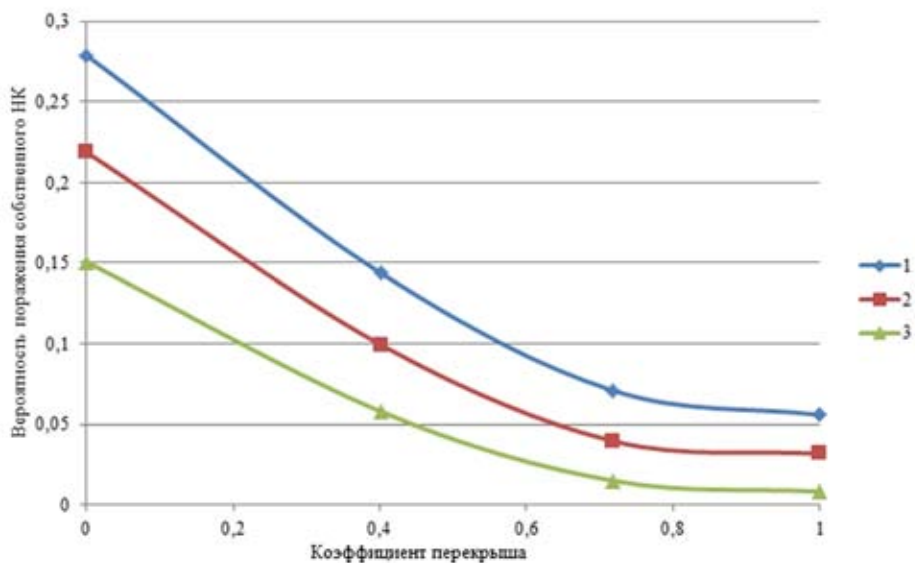


Рис. 7. График зависимости вероятности поражения собственного НК от коэффициента перекрыша секторов поиска ГБО

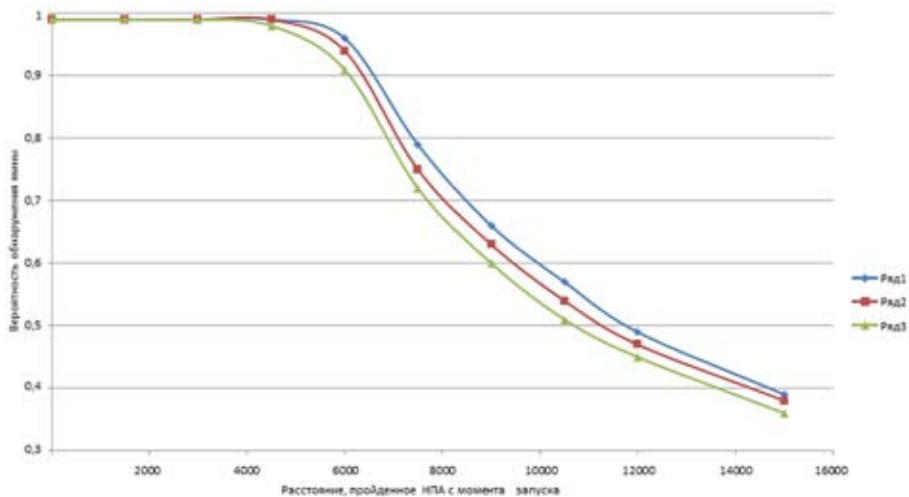


Рис. 8. График зависимости вероятности обнаружения мины от расстояния, пройденного НПА с момента запуска

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наумов Л.А., Матвиенко Ю.В. Состояние и перспективы развития работ ИПМТ ДВО РАН по созданию подводных робототехнических средств, 2008.
2. Бурдинский И.Н. Принципы функционирования и источники ошибок гидроакустических систем позиционирования, 2009.
3. Илларионов Г.Ю., Сидоренко В.В., Смирнов С.В. Автономные необитаемые подводные аппараты для поиска и уничтожения мин // Подводные исследования и робототехника. – 2006. – № 1.
4. Пэниш Р., Тэйлор М. Достижение высокой точности навигации с использованием бортовых инерциальных навигационных систем в автономных подводных аппаратах, 2010.
5. Пояснительная записка. Научно-технический отчет ОАО «ЦНИИ «Курс» по СЧ НИР «Арген». ЕАИБ.425510.004, 2013.
6. Гончар А.И., Шлычек Л.И., Голод О.С. Гидролокаторы бокового обзора, 2004.