

В.К. Абросимов, В.И. Гончаренко

(Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет); e-mail: avk787@yandex.ru)

АГЕНТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МОНИТОРИНГА РАЙОНОВ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Показана применимость агентных технологий для управления группой летательных аппаратов, осуществляющих мониторинг районов чрезвычайных ситуаций. Особенностью этих технологий является выработка коллективной стратегии функционирования летательных аппаратов.

Ключевые слова: летательный аппарат, чрезвычайная ситуация, управление.

V.K. Abrosimov, V.I. Goncharenko

AGENTS TECHNOLOGIES FOR MONITORING OF REGIONS OF EMERGENCY SITUATIONS

Applicability an agents technologies for the organization of off-line control by group of the aerial vehicles for monitoring of regions of emergency situations is shown. A feature of this technology is to develop a collective strategy for the functioning of aerial vehicles.

Key words: aerial vehicle, emergency situation, control.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 27 апреля 2015 г.

Чрезвычайные ситуации (ЧС), вызванные опасными событиями и явлениями природного и техногенного характера, становятся всё более ощутимыми [1]. Своевременное обнаружение, прогнозирование и устранение последствий пожаров, наводнений, радиоактивного заражения местности и других опасных событий и явлений, порождающих ЧС, остаётся актуальной задачей.

Распространенным методом решения таких задач является мониторинг зоны опасных событий, явлений, ЧС с привлечением космических, авиационных и наземных средств. Определяющим здесь является понятие "**ситуационной осведомлённости**". В ней выделяют три образующих элемента: информация о том, что происходит вокруг, понимание собственных действий и действий других участников, представление сценария развития опасного события, явления, ЧС. Эффективность формирования и использования ситуационной осведомленности приравнивается ведущими специалистами мира к изобретению огнестрельного оружия [2].

Вместе с тем, современные системы мониторинга строятся, главным образом, по принципу "око в небе". Каждой из компонент системы, обеспечивающей получение информации о возникающей чрезвычайной ситуации, назначается определенный класс задач. В качестве критериев эффективности мониторинга предлагаются понятия обследуемой в единицу времени площади,

оперативности обнаружения очагов чрезвычайной ситуации и др. Но целостное представление о размерах и характере чрезвычайной ситуации получить в этих условиях не всегда возможно. Так, например, в такой предметной области как охрана лесов отмечается, что "в силу технических особенностей космический мониторинг всегда останется лишь дополнительным инструментом в авиационной охране лесов, применение беспилотных летательных аппаратов для патрулирования лесного фонда является одной самых сложных задач с технической точки зрения, применение малой авиации с относительно низкой стоимостью лётного часа ограничено малым количеством таких средств с массой 1-2,5 т" [3].

Указанное выдвигает необходимость создания систем мониторинга таких значимых для техносферной безопасности событий и явлений, на новых, прежде всего информационных, принципах.

Подход к формализации понятия "ситуационная осведомленность".

Очевидно, что все используемые для мониторинга средства должны рассматриваться как элементы единой информационной системы. Действительно, анализ показывает, что главной проблемой современных систем мониторинга является отсутствие информационно-коммуникационной сети, реализующей принцип "ситуационной осведомленности". В чем данный принцип может проявляться практически? Технические средства, осуществляющие мониторинг (автомобили, авиация и др.), в каждый момент времени находятся в некоторой точке пространства. Они проводят оценку ситуации в соответствии со своими ограниченными возможностями и, таким образом, способны действовать лишь в своей узкой сфере ответственности. Разделим теперь все пространство движения и мониторинга на элементарные подпространства, своего рода "ячейки". Опишем их параметрами положения центра ячеек в пространстве и размерами. В результате мы получим пространственную "ячеистую" сеть. Условно разместим в узлах такой сети разнообразную информацию: о том, какой аппарат находится или собирается через определенное время находиться в ячейке, какие события происходят в этой ячейке пространства, как ситуация в ячейке будет развиваться и др. Если допустить к информации такой информационно-пространственной сети все средства мониторинга, то они будут обладать всей полнотой информации.

Для задач мониторинга опасных событий, явлений и ЧС предлагается реализовывать принцип ситуационной осведомленности с использованием так называемой ***виртуальной "электронной доски объявлений"*** (Bulletin Board System – ***BBS***). Для этого в интернет-пространстве выделяется ресурс с заданной структурой контента, к которому в режиме on-line могут обращаться все средства мониторинга как для получения, так и для размещения информации.

На BBS предлагается выкладывать коллективную информацию трёх типов в трёх различных по содержанию разделах:

1. Раздел "Ситуация". В нём в режиме on-line аккумулируется текущая информация о реальной ситуации по маршруту обследования объектов, полученная от средств мониторинга.

2. Раздел "Пространство". В нём описываются в режиме on-line "ячейки" пространства: их положение, текущие условия, степень опасности нахождения в данной точке и др.

3. Раздел "Объект управления" содержит on-line информацию о состоянии всех объектов управления, осуществляющих мониторинг (маршрут, время вылета, ожидаемое время появления в точках, выполняет задачу, неисправен, имеет остатки ресурсов и др.).

В ряде работ по многоагентным системам значительное внимание обращается на проблемы передачи информации между агентами. В частности предполагается, что агенты могут получать информацию дискретно, причем с различными временными интервалами. С нашей точки зрения, современные информационные технологии существенно снижают требования к таким условиям связи. Будем предполагать, что доступ средств мониторинга к BBS осуществляется в режиме on-line.

Тогда на BBS можно хранить описание каждой ячейки, которую нужно обследовать, например, в виде кортежа с составляющими: координаты центра ячейки в пространстве; параметры размеров ячейки; условное значение интенсивности опасного события, явления, ЧС в ячейке; индикатор того, что ячейка обследована; условный номер средства мониторинга, назначенного для обследования данной ячейки; момент времени, когда ячейка обследована; количество фактов обследования ячейки и др. Такая информационная сеть формирует совершенно новые функции мониторинга. Можно говорить, о том, что при использовании принципа ситуационной осведомленности мониторинг становится не просто обеспечивающим, а определяющим процессом. В рамках системы мониторинга такого типа получаемую on-line информацию можно использовать непосредственно для принятия коллективных решений. В зависимости от ситуации имеются исходные данные для корректировки первоначальных сценариев мониторинга как с изменением маршрутов, так и с назначением для обследования объектов мониторинга технических средств с необходимыми возможностями по наблюдению и ликвидации последствий опасных событий, явлений и ЧС.

Подход к формализации средств мониторинга как агентов. Очевидно, что при формировании группировки средств для осуществления мониторинга необходимо включать в группу *летательные аппараты (ЛА)* с различными возможностями по наблюдению и распознаванию опасных событий, явлений и ЧС [4].

При выполнении задач группировкой ЛА перспективным является придание каждому ЛА высокой степени самостоятельности в решении общей коллективной задачи. Таким образом, каждый ЛА функционирует автономно, с самоконтролем своих действий и внутреннего состояния, принимает решения в зависимости от условий среды, учитывая цели и намерения других ЛА, выполняющих эти же или смежные задачи. Препятствия он преодолевает либо самостоятельно, либо используя информацию от других ЛА, полученную в ходе обмена сообщениями. Вместе с тем, каждый ЛА одновременно действует в рамках коллективного поведения.

В процессе коллективного поведения ЛА может выполнять такие действия, как извещение других ЛА о возможности и/или невозможности выполнения им поставленной задачи; участие в переговорах ЛА; "порождение" новых ЛА (запрос помощи); объявление о готовности жертвовать собой или просьба пожертвовать собой другим ЛА; просьба активировать функции других ЛА, сценарии деятельности; запоминания текущего состояния других агентов; объявление своих полномочий, передача своих обязательств по выполнению задач другим агентам и др. Все эти данные могут также отображаться на BBS в разделе описания состояния ЛА.

В такой постановке ЛА можно рассматривать как интеллектуального агента и использовать при моделировании его функционирования многоагентный подход [4, 5]. Типовая задача для отдельного ЛА в этих условиях может рассматриваться следующим образом: двигаясь в группе себе подобных ЛА, по заданной начальной позиции, при использовании собственной базы знаний об окружающей среде, в условиях потенциальных пространственно-временных ограничений (невозможность пролета в определенных пространственных зонах и др.), при активном обмене информацией друг с другом относительно изменений окружающей среды, своего целеполагания, с учетом поведения других ЛА, выполняющих аналогичные задачи, исходя из своих летных возможностей, построить оптимальную пространственно-временную траекторию облета некоторого количества объектов (целей) заданного пространства, выполняя необходимые действия по их обследованию.

Агентный подход к моделированию образования и распространения ЧС. Известно много методов моделирования распространения ЧС [6]. В основу моделирования ЧС положена гипотеза о том, что всё пространство наблюдения можно разделить на элементарные зоны (ячейки), которых интерпретировать как "агенты пространства". Тогда процесс образования и распространения ЧС можно описать с использованием характеристик агентов и правил их взаимодействия. Такая программа реализует эстафетный алгоритм разнонаправленной передачи параметров ЧС от источника ЧС (агента-донора) к соседним участкам (агенты-акцепторы). При этом граф состояний имеет только прямые переходы с заданной интенсивностью между агентами.

Неопределенность описания ситуации, объективно вызываемая негативными факторами, затрудняющими наблюдение (дым, облака, дождь и др.), моделируется введением нечеткости в характеристики ЧС и задержками взаимодействия между агентами как по времени, так и по скорости изменений параметров агентов. Указанные характеристики реализуются через стейчарты (в терминах AnyLogic) параметрами описываемых ими закономерностей и значениями данных [5].

Программный комплекс мониторинга зоны ЧС группировкой летательных аппаратов-агентов. В качестве общего подхода к построению программного комплекса предлагается использовать методы имитационного моделирования, поскольку при имеющейся постановке задачи любые методы аналитического моделирования являются неоправданно громоздкими и трудоёмкими. На основании анализа доступных средств имитационного моделирования в качестве программной среды для построения программы мониторинга выбрана среда AnyLogic [5].

Программный комплекс "Агентный мониторинг" (ПК) построен в среде моделирования AnyLogic и позволяет моделировать процессы возникновения и распространения ЧС и решения задачи мониторинга ЧС группировкой ЛА при их коллективной стратегии поведения.

На рис. 1 представлена главная видеоформа ПК.

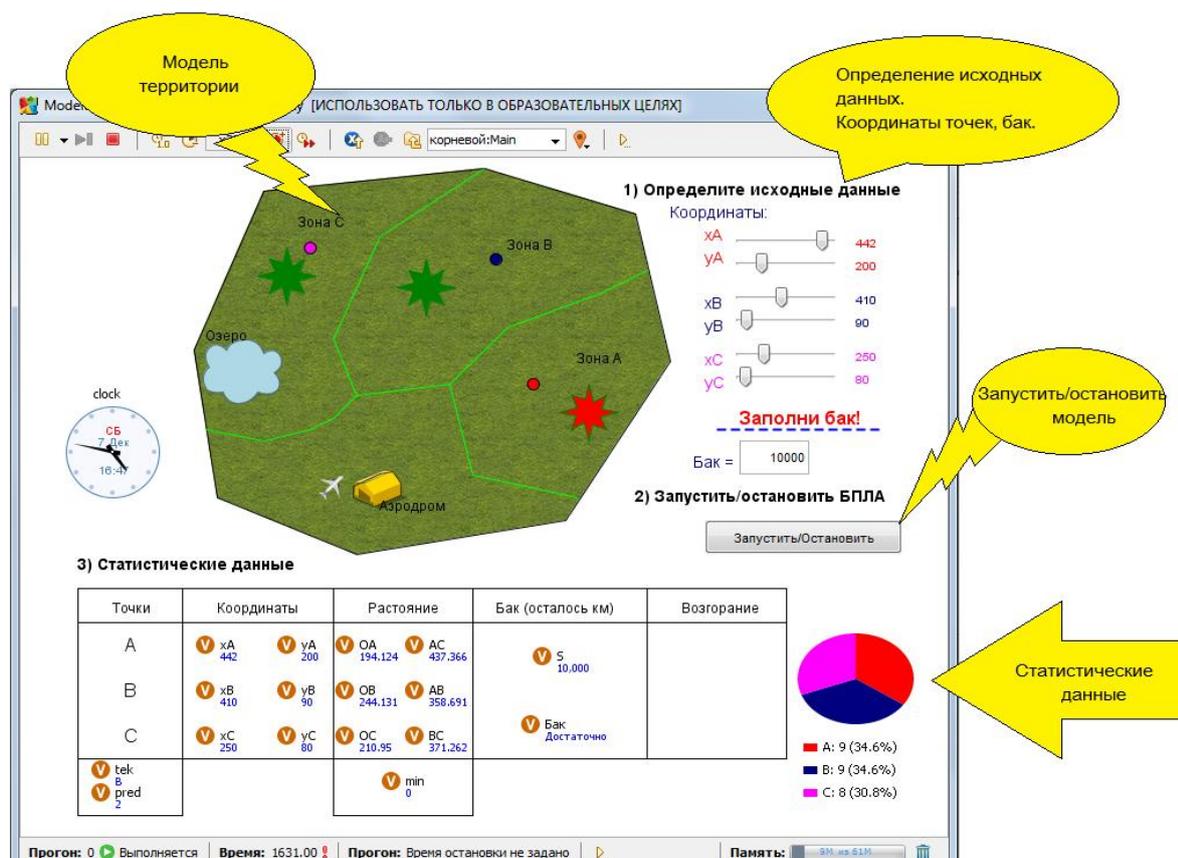


Рис. 1. Главная видеоформа ПК "Агентный мониторинг"

В ПК реализуются следующие основные функции.

1. Моделирование образования и распространения чрезвычайной ситуации на основе зависимостей направления и скорости распространения параметров ЧС от внешних факторов.

2. Формирование маршрута летательного аппарата в зависимости от текущей ситуации и задач мониторинга в режимах стандартного облета, тревожной и опасной ситуаций.

3. Моделирование движения летательного аппарата по маршруту.

4. Моделирование виртуальных "переговоров" летательных аппаратов в случае возникновения непредвиденных ситуаций и выработка решений по корректировке маршрутов при необходимости.

Для выполнения таких функций в ПК вводятся два типа агентов: "агенты-территории", описывающие элементарные зоны ("ячейки") в пространстве ЧС, и "агенты-объекты", осуществляющие мониторинг.

При моделировании образования и распространения ЧС двумерное пространство мониторинга представляется в виде прямоугольного массива "ячеек", полностью или частично занятых агентами "территории". Поддержка такого типа представления в AnyLogic включает в себя возможности по распределению агентов по ячейкам, их перемещению в соседние или любые другие ячейки, определению того, какие агенты являются соседями (согласно выбранной модели соседства), нахождению свободных ячеек и т.д. Поведение "агентов-территории" – пассивное; агенты не имеют собственных событий и реагируют только на реакцию соседей. В частности, реализована модель соседства Мура (рис. 2), согласно которой каждый участок пространства с вероятностями, определяемыми характеристиками этого пространства и окружающей среды, способен вызывать определенные реакции соседних участков.

При формировании маршрута летательного аппарата в зависимости от текущей ситуации и задач мониторинга в режимах стандартного облета, тревожной и опасной ситуаций "агенту-объекту" ставится в соответствие номер и условные возможности по существованию (запас топлива) и проведению мониторинга. Маршрутизация осуществляется с использованием "муравьиного алгоритма" [7]. При этом в зависимости от ситуации, информацию о которой агент получает через BBS, может меняться как порядок движения, так и формат маршрута (включение и исключение объектов для обследования). Поведение "агентов-объектов" – активное; динамика агента определяется происходящими событиями и диаграммой его состояний. ЛА действуют автономно, но с учётом общих целей. ЛА воспринимают среду с использованием датчиков/сенсоров либо получают информацию о среде от внешних источников. ЛА обмениваются информацией друг с другом и с внешней средой (условно – Центром мониторинга) с использованием специальных протоколов коммуникации.

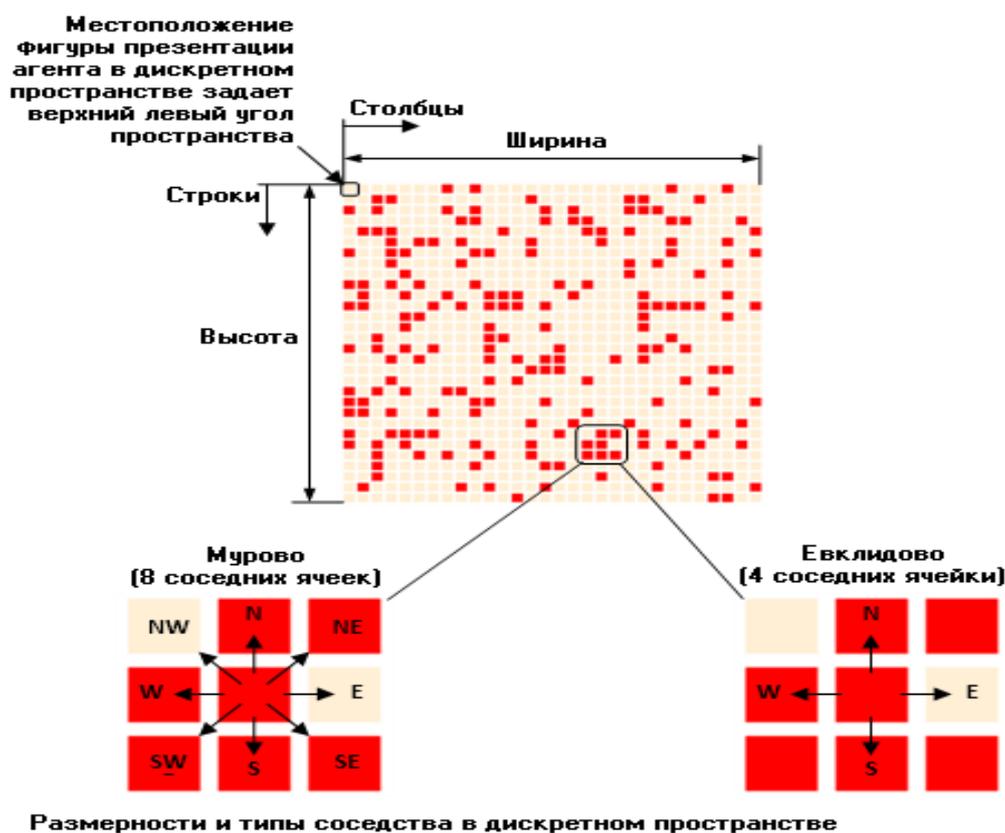


Рис. 2. Представление участка мониторинга в виде двумерного дискретного пространства с распространением ЧС по модели Мура

Моделирование движения летательного аппарата по маршруту в разработанном программном комплексе реализовано упрощенным способом при том понимании, что алгоритмы такого движения можно сколь угодно усложнить, если добавить в рассмотрение тип летательного аппарата, его особенности и характеристики, параметры среды и др.

ЛА имеют обязательства перед другими ЛА группировки. Это задачи, которые берет на себя ЛА по просьбе и/или поручению других ЛА, если последние встречают некоторые трудности и информируют об этом. В процессе выполнения общей задачи ЛА проводят *"переговоры"* с использованием виртуальной *"доски объявлений"*, на которой каждый ЛА размещает информацию о результатах мониторинга и своих возможностях по выполнению задач. Разработаны алгоритмы проведения переговоров, позволяющие перераспределять задачи между ЛА при невыполнении отдельными ЛА своих функций [8].

На рис. 3 представлена видеоформа для случая внезапной неисправности одного из ЛА-агентов.

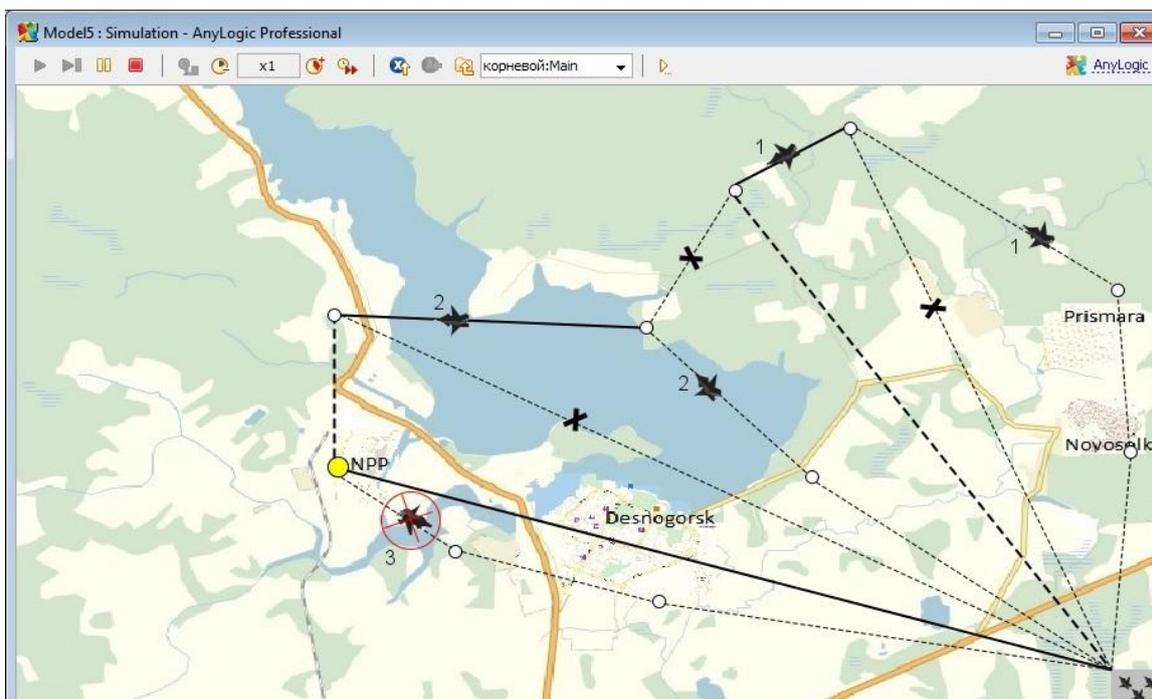


Рис. 3. Иллюстрация изменения маршрутов мониторинга зоны ЧС по результатам переговоров агентов №№ 1 и 2 при внезапной неисправности агента № 3, следующего к важному объекту мониторинга

Тонкими пунктирными линиями показаны исходные маршруты каждого из трех агентов. В процессе движения фиксируется неисправность агента № 3, маршрут которого проходит через атомную станцию (на рисунке обозначена как NPP). Агент №3 посредством BBS объявляет о том, что объект – "атомная станция" – более не обслуживается. Остальные агенты (№№ 1 и 2) проводят переговоры по указанному выше алгоритму, перераспределяют объекты мониторинга между собой и следуют по новым маршрутам (показаны сплошными линиями). Толстые пунктирные линии при этом отражают участки маршрутов, по которым должен был следовать один агент, но в результате перераспределения пролетел другой. Тонкие пунктирные линии с крестиком показывают участки маршрутов, которые в процессе переговоров были исключены из рассмотрения.

Представленная в статье имитационная модель мониторинга районов чрезвычайных ситуаций разрабатывается как часть прикладного программного обеспечения разрабатываемого МАИ комплексного моделирующего тренажерного стенда "Тренаж-БПЛА" в интересах обучения операторов ЛА для решения как военно-технических задач, так и задач применения ЛА в интересах МЧС России.

Заключение. Многолетняя практика проведения мониторинга лесов показывает, что только в 65-70 % случаев полеты сочетаются с транспортной задачей. Третья часть полетов проводится с одной целью – "око в небе". Вместе с тем, уже в ближайшее время возможно создание систем мониторинга на новой информационной основе, с реализацией принципа "ситуационной осведомленности".

Внедрение такого принципа предложено организовать за счет создания "виртуальной доски объявлений", предназначенной для систематизации, хранения и обновления информации трёх видов: о ситуации мониторинга, о пространстве, в котором осуществляется движение, и о состоянии и намерениях средств мониторинга.

Для создания эффективной системы мониторинга предложено пространство мониторинга и сами средства мониторинга представлять в виде агентов. Это позволяет разработать два типа эффективных моделей: возникновения и распространения чрезвычайной ситуации и виртуальных переговоров летательных аппаратов-агентов для корректировки маршрутов, в случае возникновения непредвиденных ситуаций.

Представлены основные элементы программного комплекса мониторинга зоны ЧС группировкой летательных аппаратов-агентов. Четыре реализованных в нем функции полностью охватывают процессы мониторинга районов чрезвычайных ситуаций для разнообразных возможных условий.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-08-00721-а.

Литература

1. **Отчёт** о предварительных результатах проведенного комплексного учения с органами управления и силами РСЧС 23-26 апреля 2013 года, подготовленный научно-исследовательскими группами филиалов ВНИИ ГОЧС МЧС России. М.: ВНИИ ГОЧС МЧС России, 2013. 459 с.
2. **Endsley M.R., Bolte B., Jones D.G.** Designing for situation awareness: An approach to user-centered design. Taylor & Francis, London, 2003.
3. **Разработка** научно-методических подходов и технологии использования беспилотных летательных аппаратов в лесном хозяйстве // Отчёт о научно-исследовательской работе. Центральная база авиационной охраны лесов "Авиалесоохрана". Пушкино, 2010. 105 с. http://www.aviales.ru/files/documents/2011/08/ot_niokr.pdf.
4. **Абросимов В.К.** Групповое движение интеллектуальных летательных аппаратов в антагонистических средах. М.: изд. дом "Наука", 2013. 168 с.
5. **Карнов Ю.** Имитационное моделирование систем. СПб.: БВХ-Петербург, 2005. 400 с.
6. **Полосинов С.А.** Моделирование распространения лесного пожара и его локализации с применением авиационных средств // Технологии техносферной безопасности. Вып. 4 (50). 2013. 8 с. <http://ipb.mos.ru/ttb>.
7. **Abrosimov V., Ivanov V., Krechin M.** Recurrent Vehicle Routing Problem for Fleet of Vehicles // International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, 2015.
8. **Abrosimov V.K., Ivanov V., Krechin M.** A Group Strategy of Territory Monitoring by Intelligent Vehicles-agents in an Unfriendly Environment // Int. J.Intelligence Systems, Technology & Applications, 2015, in reviewing process.