|  |
| --- |
| ГБОУ Гимназия №1505«Московская городская педагогическая гимназия-лаборатория»**Дипломная работа****Принципы общения животных и использование этих принципов в автоматических устройствах будущего**Автор: ученица 10 класса «Б» Котова ДарьяРуководитель*:* Ветюков Д.А*.*2016 |

Оглавление

[Введение 2](#_Toc449303826)

[Исследование предметной области 4](#_Toc449303827)

[Заимствование техники у природы 4](#_Toc449303828)

[Муравьи – как источник заимствования 5](#_Toc449303829)

[Способы коммуникации актуальные для заимствования 6](#_Toc449303830)

[Анализ реализованных заимствований 7](#_Toc449303831)

[Что уже придумано и создано 10](#_Toc449303832)

[Предложение по инновации 12](#_Toc449303833)

[Перспективные технологии 12](#_Toc449303834)

[Возможные области применения 18](#_Toc449303835)

[Заключение 22](#_Toc449303836)

[Источники информации 23](#_Toc449303837)

# Введение

Технический прогресс сейчас настолько привычен, а высокие технологии стали настолько обыденным явлением, что людей все сложнее удивить его достижениями. А ведь когда-то каждая новинка научного мира становилась сенсацией, была у всех на языках, а ее создатель возносился на пьедестал и становился частью истории. Но если разобраться во всех этих великих достижениях техники, то можно заметить, что большинство из них очень схоже с тем, что существовало в природе за несметное количество времени еще до рождения самого этого изобретателя. Природа уже давно все придумала и просчитала, ее творения оттачивались миллионы лет и продолжают совершенствоваться до сих пор. Человек поднялся в воздух вслед за птицами, пустился в круизы по пути рыб, обошел землю по следам зверей. Столь многое человечество заимствует у природы, столь многие идеи были подсмотрены у нее, столь многие изобретения были на них основаны.

Сейчас в мире науки центром внимания становится разработка и развитие «групповой робототехники». Причем термин «групповая робототехника» означает не то, что в каком-либо производственном процессе используется несколько параллельных или последовательных роботизированных линий (как например конвейер на автозаводе), а то, что группа роботов взаимодействует между собой, образуя подобие трудового коллектива управляемого искусственным интеллектом. Ученые, работающие в этом перспективном направлении, пытаются создать роботов, способных выполнять многокомпонентные задачи, взаимодействуя между собой в больших группах.

Главная особенность роботов, работающих в группе – способность общаться между собой. Задумываясь над этой проблематикой, конструкторы могут искать идеи у природы, точно так же как ранее они подсматривали у нее решения при разработке механических узлов для роботов. Способы общения можно выгодно позаимствовать в окружающем мире, богатом на такие изобретения.

В первой части своего исследования я пыталась изучить принципы, которые используют живые существа для общения между собой. Во второй части я представила собственные идеи, как эти принципы можно использовать в робототехнике.

Актуальность моего исследования велика, так как на данный момент групповая робототехника выходит на новый уровень, активно развивается. Все больше внимания уделяется разработке систем с роевым интеллектом, которые требуют минимального вмешательства человека в свою работу.

Цель моей дипломной работы: анализ способов общения между насекомыми (в частности – муравьями) и выявление возможности их применения в робототехнике.

Для достижения поставленной цели мне потребуется выполнить несколько задач: Во-первых, необходимо найти и систематизировать информацию о способах общения групп животных. Во-вторых, провести анализ изученных материалов с целью выделения способов взаимодействия, наиболее перспективных с точки зрения реализации. В-третьих, предоставить свои идеи о том, в каких областях и каким способом можно применить выявленные способы обмена информацией, то есть представить несколько ситуаций, в которых было бы уместно использование альтернативных способов передачи информации.

# Исследование предметной области

## Заимствование техники у природы

Начав работу над своим дипломом, я выяснила: в научно-исследовательской деятельности, связанной с изучением возможности заимствования конструктивных решений у природы, есть выделенное направление – Бионика.

Поисковая машина Google на запрос «определение бионики» сообщила следующее: «Био́ника (от др.-греч. βίον — живущее) — прикладная наука о применении в технических устройствах и системах принципов организации, свойств, функций и структур живой природы, то есть формы живого в природе и их промышленные аналоги. Проще говоря, бионика — это соединение биологии и техники». Благодаря этой науке ученые заимствуют у природы различные идеи и воплощают их в технике. Излюбленным объектом подобных заимствований стали насекомые. С их конечностей были списаны такие системы как шарниры и пневматические приводы.

Кстати, телеканал «24-ТЕХНО» имеет в сетке вещания целый цикл научно-популярных передач о «Бионике», которые достаточно подробно раскрывают проблематику этой науки. Используя полученную в них информацию, я смогла составить представление о достижениях бионики на текущий момент. Базируясь на строении тела и крыльев стрекозы, ученым-бионикам удалось воссоздать ее масштабированную роботизированную копию, способную подниматься в воздух под управлением нескольких операторов. Над загадкой того, как создать синтетическую копию материала, из которого плетут свою паутину пауки, бьются химики области наук о материалах. Да и само строение паутины, способы ее размещения и закрепления нашли многочисленные отражения в архитектуре. Так же архитекторам помогли идеи пчел, строящих свое жилище из мириад шестиугольников. Шестиугольник – самая компактная и прочная фигура, постройки такого типа создаются с минимальными затратами материалов и максимальной прочностью. Эта форма успешно заимствована современными строителями. Благодаря изучению строения зрительного аппарата мухи была создана сверхточная фотоаппаратура, применяемая для детального изучения предметов искусства, что помогает в определении автора и периода создания шедевра.

Благодаря поиску материалов по моей теме в сети Интернет, мне также удалось выяснить, что некоторые медицинские приборы были списаны с животных. Например, зажим, без которого не обойтись ни одному хирургу, был создан по образцу клюва птицы веретенника, который приобрел соответствующую форму в процессе приспособления к среде обитания и особенностям рациона.

Однако еще не все уникальные приспособления к аспектам жизни насекомых успели перенять конструкторы. Для этого необходимо дальнейшее более глубокое изучение насекомых, и более тесное сотрудничество с коллегами учеными - энтомологами.

## Муравьи – как источник заимствования

Энтомология – раздел зоологии, изучающий насекомых. В частности, для целей робототехники ученые все пристальней обращают свои взоры на муравьев. В частности предметом исследований являются их альтернативные способы общения. Пути передачи информации, используемые этими представителями насекомых, кардинально отличаются от тех, что являются привычными для людей и прочих животных. В силу особенностей строения и жизненных условий муравьи разработали способы коммуникации отличные от традиционных способов общения.

Муравьи не могут говорить между собой, как это делают люди. Их слуховой аппарат неразвит, что исключает возможность общаться путем каких-либо звуковых сигналов, речевой аппарат отсутствует. Зрение также не самая сильная сторона муравьев. Они, как и подавляющее большинство насекомых, видят исключительно в инфракрасном спектре. Это позволяет им различать движения и крупные объекты, однако не является основным способом получения информации. Зато обоняние и осязание у муравьев в десятки тысяч раз более развито, чем у человека. Именно органы осязания, обоняния и выделения являются ключевыми в процессе обмена информацией между муравьем и окружающей средой.

## Способы коммуникации актуальные для заимствования

Составить представление о способах общения у муравьев я смогла при изучении материалов энциклопедии Игоря Акимушкина «Мир животных. Насекомые. Пауки. Домашние животные».

Язык прикосновений

Во-первых, муравьи довели до совершенства собственный способ обмена информацией путем простого прикосновений. Органом осязания у муравьев являются антенны. У среднестатистического лесного муравья на них расположено 211 обонятельных бугорков. Соприкасаясь этими антеннами с антеннами сородича, муравей способен передать огромное количество информации за доли секунды.

Язык запахов

Во-вторых, благодаря обонятельным волоскам, расположенных на тех же антеннах в среднем количестве 1720, муравьи способны распознавать тончайшие запахи. Язык феромонов является основным в общении между муравьями. Это позволяет буквально передавать информацию сквозь время и пространство. Оставляя пометки на земле, муравьи обозначают территорию своего муравейника, пути к добыче или другим колониям, ставят указатели, которые на долгое время остаются на земле. Также разные запахи могут передавать мгновенные предупреждения об опасности, о найденной добыче, проявлении симпатии к особям противоположного пола.

Ученые долго бились над разгадкой обоих способов, однако так и не пришли к единому объяснению скорости передачи информации тактильным путем и уникальности заметок, оставленных каплями феромонов. Энтомологи и сейчас бьются над тем, как не путаются муравьи в огромном количестве дорожек из запахов, оставленными ими и их товарищами в разное время и с разными целями.

 Язык жестов

В-третьих, у муравьев есть и относительно простой способ общения – самый настоящий язык жестов. Он предназначен для передачи информации на расстоянии, когда нет возможности прикоснуться к сородичу и необходимости закрепить информацию на длительное время путем химической метки.

Активное изучение всех трех путей передачи информации – так называемых языков жестов, запахов и прикосновений – открывает новые возможности для специалистов, занимающихся бионикой.

## Анализ реализованных заимствований

Анализируя изученный материал, я составила таблицу с перечнем технологий, которые уже заимствованы или могут рассматриваться для заимствования у природы. Так же я попыталась представить возможные области их применения.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Технология | Описание | Область применения |
| Защита данных | Использование способов передачи данных альтернативных традиционным  | Разведка |
| Системы распознавания «свой-чужой» | Определение принадлежности участника группе противостоящих сторон | Вооруженные силы |
| Ферамоны | Использование запаха как средства привлечения потребителей к заданным категориям товаров | Маркетинг |
| Коммуникация | Взаимодействие участников групп вне зоны действия управляющего центра (в трудно-доступных участках и «невидимых» зонах) | МЧС, Космонавтика, Добывающая пром-ть |
| Поиск цели по химическим маркерам | Использование рецепторов и анализаторов среды в медицинских нано-роботах для поиска и уничтожения злокачественных образований | Медицина |
| Поиск цели по химическим маркерам | Использование рецепторов и анализаторов среды в местах техногенных аварий для распознавания очага заражения и его обезвреживания | МЧС, Хим.пром, Ядерная пром-ть |
| Защита объектов | Использование химических маркеров для отпугивания нежелательного проникновения (животных) на объекты инфраструктуры, которые могут привести к авариям и сбоям работы | Охрана объектов(Аэропорты, жилища человека, дороги, спец.объекты) |
| Групповая работа | Создание самоорганизующихся «трудовых коллективов» из разноцелевых роботов для выполнения поставленной конечной задачи | МЧС, Вооруженные силы,Сервисные компании |
| Групповая работа | Создание универсальных и быстровозводимых конструкций из типовых (одинаковых) объектов для сокращения сроков логистики специализированных машины и конструкций | МЧС, Вооруженные силы,Строительная пром-ть. |
| Групповая работа | Создание компонентных машин из типовых (одинаковых) объектов там, где затруднительно использовать специальные машины | МЧС, Строительная пром-ть. |
| Роевой интеллект | Использование колоний нано-роботов для доставки лекарств в заданную точку живого организма (человека) | Медицина |

 Глядя на получившийся и зафиксированный в таблице результат напрашивается очевидный вывод: наиболее перспективным является использование технологий «групповой работы». Придя к такому умозаключению, я вновь углубилась в исследование и вновь обнаружила, что это направление так же уже активно изучается и получило собственное наименование – Групповая робототехника.

**Групповая робототехника** представляет собой новый подход к координации систем многих роботов, которые состоят из большого числа в основном простых физических роботов. Предполагается, что желаемое коллективное поведение возникает из взаимодействия роботов между собой и их взаимодействия с окружающей средой. Такой подход относится к научному направлению по искусственному роевому интеллекту, возникшему при проведении биологических исследований насекомых, в частности, муравьёв, пчёл, а также при исследовании в других областях природы, где имеет место роевое поведение.[10]

## Что уже придумано и создано

Так называемый роевой интеллект уже сейчас активно изучается для применения в робототехнике. Его принцип основывается на примерах поведения роевых живых существ, (например муравьев). Как и в рое муравьев, в группе есть распределение по функциям и обязанностям. Группа состоит из большого количества роботов, наделенных примитивными возможностями (типа передвижения, захвата, транспортировки). Из-за простоты строения, им недоступно представление об их местоположении или подробностях окружающей среды. Для этого выделен определенный тип роботов, так называемые управляющие. Они имеют представление обо всем происходящем: как выглядит окружающее пространство, какова конечная цель, каков прогресс в ее достижении, каковы цели каждого из своих подчиненных. Они передают команды остальным членам группы. Это упрощает работу, т.к. позволяет распределять обязанности без вмешательства человека. От оператора требуется лишь постановка задачи, а далее коллективный разум выстраивает алгоритм и приводит приказ в исполнение. Это актуально в работе с группой, состоящей из большого количества роботов, когда невозможно управлять каждым в отдельности, например, когда речь идет о нано-роботах.

В статье В.Э. Карпова «Коллективное поведение роботов. Желаемое и действительное» освещены некоторые реальные проекты, которые являются пионерами, но в перспективе откроют новые возможности в использовании роботов в будущем. Изложу краткое описание некоторых из них.

**Проект Swarmanoid.** Брюссельский свободный университет (Universite Libre de Bruxelles). Основная задача проекта – исследование поведения неоднородных коллективов роботов. Авторы проекта считают, что объединение нескольких различных роботов в группы позволит расширить возможности их использования. В частности, была реализована задача, в которой коллектив из колесных роботов, летающего робота-разведчика и манипуляционного робота совместными усилиями находили объект (книгу) и манипулировали с ним. Видео с демонстрацией возможностей таких роботов получило в 2011 г. приз на конференции Conference on Artificial Intelligence AAAI-11 в Сан-Франциско.

**Проект SwarmBot.** Американская компания iRobot (хорошо известная широкому кругу как производитель автоматизированных пылесосов), занята разработкой небольших роботов, способных сообща выполнять определенные действия. Ожидается, что роботы SwarmBot смогут объединяться в группы численностью до десяти тысяч и выполнять такие задачи, как, например, поиск мин, исследование неизвестных территорий (в том числе на других планетах), обнаружение вредных веществ и пр. Робот SwarmBot имеет форму куба с длиной ребра около 12,5 см. и построен на базе 32-разрядного микропроцессора. Для навигации в пространстве и взаимодействия с другими роботами применяются инфракрасные датчики. Коллективная работа всей "стаи" роботов определяется в соответствии с неким набором правил группового поведения.

**Открытый проект SwarmRobot.** Проект (его ресурс – swarmrobot.org) посвящен созданию минироботов (с линейным размерами до 3 см), которые могут организовывать масштабируемые коллективы из десятков и сотен роботов (рис.1, а). Предполагается, что создаваемая элементная база позволит реализовать различного рода эффекты самоорганизации в больших коллективах.

Обратите внимание – во всех названиях приведенных выше проектов фигурирует слово *swarm* – рой, стая. И это неспроста. Многие исследования черпают свое вдохновение из мира насекомых, многие из них постоянно проводят аналогии с колониями муравьев, пчел и прочих стайных животных.

# Предложение по инновации

## Перспективные технологии

На мой взгляд, наиболее перспективной является использование групповой робототехники. При этом группы должны состоять из простых по конструкции, но способных выполнять различные по возможности исполнения функций задачи. Коммуникация внутри группы роботов должна производиться автономно, т.е. без участия прямого управляющего оператора.

Рассмотрим, как это может быть реализовано и почему требуется такое распределение ролей. В качестве области применения можно взять простой и понятный пример - уборка территории выставочного комплекса (этот пример выбран как иллюстрация помещения, внутренняя конфигурация которого является постоянно изменяющейся).

Группе роботов-уборщиков ставится задача: «произвести вывоз мусора и очистку напольного покрытия в выставочном павильоне, заданной площади, но без конкретного плана размещения стендов в период, когда выставка закрыта».

Исходя из формулировки задачи от роботов потребуется:

- составить общий план помещения и размещения в нем стендов;

- определить «закрытые зоны», куда не должны проникать уборщики;

- определить места расположения мусорных контейнеров;

- разделить площадь на зоны, чтобы одновременно использовать несколько уборщиков.

Для эффективности решения задачи роботы, действующие в группе, должны быть не универсальными, а иметь разделение по ролям, выполнять специализированные задачи. Среди ролей можно выделить:

 Разведчик – определяет план местности;

Координатор – организует работу пылесборщиков и мусоросборщиков;

Пылесборщик – производит сухую и/или влажную уборку напольного покрытия;

Мусоросборщик – выводит содержимое мусорных баков.

Почему же требуется такое разделение? Для обеспечения маневренности каждый робот должен иметь автономный источник питания (например, аккумуляторную батарею). Учитывая то, что батарея имеет лимит заряда, краеугольной становится проблема сбалансированности энергоресурса. И если использовать универсального робота, который может вести и «разведку» и «уборку», то время разведки будет сильно увеличено за счет того, что ему вхолостую придется таскать за собой громоздкий пылесос, тратя энергию на его транспортировку.

Итак, с распределением ролей определились, теперь рассмотрим, как же будет организован собственно сам процесс.

ЭТАП ПОДГОТОВКИ: Разведку могут проводить летающие или быстро перемещающиеся наземные дроны . «Разведчики» запускаются на территорию роем. Их цель – за максимально короткое время составить подробный план периметра. Для выполнения задачи они должны быть оборудованы:

-датчиками удаленности от окружающих их объектов («видеть» вокруг себя),

- датчиками, определяющими сигнальные маячки (обозначающими закрытые зоны и точки расположения мусорных баков);

- а так же датчиком гео-позиционирования (чтобы «понимать», где они в данный момент находятся).

При выполнении разведки используется роевой алгоритм, когда на задание выпускаются несколько дронов, которые совместными усилиями зондируют весь периметр, т.е. составляют единую карту по данным полученным разными дронами. Схематично это выглядит следующим образом.

Первый дрон определяет зону видимости от входа:



Следующие дроны двигаясь «врассыпную» начинают разведку «невидимых» зон. При этом они обмениваются между собой информацией для пополнения общей базы данных. На те участки ткрритории, которые уже не имеют «невидимых» зон (т.е. там, где датчики окружающих объектов «увидели» соединенные стены) дроны уже не направляются, а выдвигаются на помощь «коллегам» где остались неизведанные участки.



Результатом этапа будет составленная карта территории разбитая на «зоны работ», с «проложенными дорогами» и местами расположения контейнеров с мусором.



ЭТАП ОПТИМИЗАЦИИ: Зонирование территории с учетом оптимального использования имеющегося количества дронов пылесборщиков и мусорщиков. Результатом этапа является план уборки и распределение на территории роботов-координаторов .

ЭТАП ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАЧИ: Выезд на территорию «уборщиков» (пылесборщиков  и мусоросборщиков ). Перемещение каждого из этих роботов на место уборки координируется «контролерами». Результатом этапа является полное выполнение поставленной задачи.

У роботов нет централизованной системы управления, но есть понимание возложенного на каждый тип роботов функциональных задач. План работы всей группы, построен на кооперации совместных усилий, в конечном счете, приводящих к выполнению поставленной задачи.

## Возможные области применения

Предложенная на бытовом примере технология может получить применение в любой отрасли, где роботы выполняют работу в труднодоступных для человека участках и так называемых «мертвых» зонах. Например, разминировании (где высока опасность для жизни человека), или в космонавтике (например, при исследовании обратной стороны луны).

Моя идея заключается в использовании таких систем не просто для упрощения жизни человека, но и для ее защиты. Не обязательно перекладывать на роботов исключительно монотонные домашние дела. Куда актуальнее применение, например, в военной индустрии.

Уже сейчас создаются прототипы военных беспилотников, способных анализировать ситуацию и давать отпор врагу без участия оператора. В этом содержится основное преимущество роевого интеллекта. Даже в сложно-доступных местах или при полном отсутствии канала связи с оператором роботы способны передавать друг другу информацию. Альтернативные пути передачи информации не только могут, но и должны присутствовать в группе. Они служат поддержкой, запасной системой.

Вот несколько ситуаций, в которых может понадобиться подобная технология.

Первая: разминирование территории (одно из применений технологий в военной промышленности) Так как передача информации при помощи беспроводных каналов связи (таких как радиоволны, wi-fi и Bluetooth) легко отслеживаются и могут быть взломаны, актуально альтернативное общение между роботами. Квадрокоптеры, которые в настоящее время сосредоточили на себе внимание всего научного мира, могут быть успешно использованы для поиска снарядов, бомб и мин. С подобным заданием группа роботов справится быстрее, эффективнее, а главное – без человеческих жертв, которые могут появиться при выполнении данной работы людьми. Схема работы состоит в том, что роботы-разведчики отправляются на изучение территории, изначально заданной оператором. При обнаружении опасного объекта они сообщают остальному рою о своей находке. Это может быть осуществлено при помощи аналога языка жестов у насекомых. Камера легко распознает свет лампочки, поэтому разведчики могут оповещать остальных о своем местоположении изменением цвета светодиода, прикрепленного к ним.

Вторая ситуация: поиск и уничтожение токсичных веществ. Ситуация во многом схожая с предыдущей. Ищущие токсины роботы ориентируются по концентрации вредных веществ в окружающей среде. Затем передают сигнал остальным, которые концентрируются вокруг управляющего, подающего сигнал робота. По завершении работ снова посылаются сигналы, на этот раз от рабочих к управляющему, который, в свою очередь, докладывает оператору о завершении миссии или продолжает поиск опасных веществ.

Третья: космос (полное отсутствие человека). В этой ситуации роботам необходимо полностью самостоятельно принимать решения и общаться между собой. Как известно, человечество уже долгое время стремится к освоению космоса. Заселение Луны, Марса или другой планеты, пригодной для жизни человека, стала одной из передовых целей ученых. Однако мгновенно заселить внеземные просторы астронавтами представляет немалую сложность. Поэтому было бы разумно начать с малого, отправив на заселение группу роботов, оборудованных роевым интеллектом. За счет этой группы можно быстро и оперативно построить жилища, провести исследование заселяемой местности. В связи с отсутствием живых существ во время проведения работ, роботы могут использовать звуковые пути передачи информации. В присутствии человека это может быть опасно для его здоровья. Однако стоит учитывать факт отсутствия атмосферы на некоторых планетах (или ее сильное отличие от Земной). Это приведет к искажению или полной невозможности передачи звука. В связи с этим могут возникнуть неполадки, но это препятствие лишь вновь открывает двери для применения альтернативных способов общения.

Четвертая: наличие элементарной информации, необходимой быть переданной во время занятости основного канала связи. Нередко мы сталкиваемся с проблемой, когда канал связи забит. Это случается и доставляет неудобства даже в повседневной жизни, когда мобильная сеть перегружена и не проходит звонок или интернет-канал слишком занят, из-за чего резко понижается общая скорость загрузки. Когда работает целый рой роботов, общающийся друг с другом, передавая огромное количество информации через беспроводные каналы, такие перегрузки - частое дело, и нередко они блокируют возможность передать даже элементарную информацию. Тогда на помощь приходят альтернативные способы общения. Например, инфракрасные излучения, высокочастотные звуки, химические вещества. Сигналы, производимые такими путями, воспринимаются без подключения к интернету, путем простого анализа.

Пятая: медицинские нано-роботы в организме человека. Речь идет об огромных количествах максимально примитивизированных роботов под управлением одного или нескольких заглавных. Такие роботы не могут иметь представление о своем местоположении, общей задаче и собственной цели. Всю эту информацию предоставляет им управляющих робот. Так как мы говорим о нано-размерных роботах, мы можем ввести их в организм с разными целями. Например, доставка лекарства непосредственно в конкретный орган, поиск вирусов, раковых клеток, очистка сосудов и многое другое может быть выполнено при помощи подобных систем. Здесь возможно применить аналогию химического языка насекомых. Снабдив управляющих аналогами желез, а рабочих – аналогами рецепторов, можно научить роботов, распознавая определенные химические вещества, направляться к их источнику. Подобная система уместна в ситуации с поиском токсинов. Единственное отличие в том, что в организме нано-роботы-рабочие «идут на запах» управляющих, а не самого объекта, к которому их направляют. Для этой области применения необходимо провести исследование по обнаружению нетоксичного для живого организма химиката, который можно было бы использовать в качестве альтернативного канала связи без вреда носителю группы.

# Заключение

Сейчас робототехника в плане устройства машин развита достаточно сильно. Но если раньше ученые заимствовали у объектов природы (и в частности у насекомых) в основном идеи механического устройства, то сегодня, в эпоху погони за созданием искусственного интеллекта, ученые и конструкторы все активнее начинают перенимать более сложные технологии – поведенческие и интеллектуальные. Настало время внедрять идеи природы, которые смогут перевести уже имеющиеся достижения робототехники на совершенно новый уровень – когда человек будет лишь ставить конечную задачу, а «коллективы» роботов самостоятельно определять, как ее выполнить более эффективно и наименьшими энерго-затратами.

Задачи, поставленные в начале исследования, были успешно выполнены. Я изучила теоретический материал по теме исследования и, базируясь на полученных знаниях, предоставила свою версию направления развития групповой робототехники.

# Источники информации

1. Универсальная научно-популярная онлайн-энциклопедия «Кругосвет», статья «Коммуникация животных»: <http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/biologiya/KOMMUNIKATSIYA_ZHIVOTNIH.html>
2. Электронный справочник химика, статья «Химические основы жизни»: <http://www.chem21.info/article/697265/>
3. Электронная версия журнала «Русский переплет», статья «Феромоны насекомых»:

<http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/564.html>

1. Электронный словарь-справочник энтомолога, статья «Рецепция и поведение насекомых»:

<http://www.entomologa.ru/book/22.htm>

1. Электронная библиотека NNRE.ru, статья «Другие средства общения»: <http://www.nnre.ru/biologija/problemy_yetologii/p9.php>
2. Гийо Агнес, Мейе Жан-Аркади, «Бионика. Когда наука имитирует природу», Москва: Техносфера, 2013. – 280 с. + 8 с. цв.вкл.
3. Росс Г. и др., «Энтомология»: Пер. с англ./Росс Г., Росс Ч., Росс Д.,-М.: Мир, 1985. – 576 с., ил.
4. Е.Г. Мозолевская, А.В. Селиховкин, С.С. Ижевский и др.; под ред. Е.Г. Мозолевской, «Лесная энтомология»: учебник для студ. образоват. учреждений высш. проф. образования. – 2-е изд., испр. – М. : Издательский центр «Академия», 2011. – 416 с., + 16 с. цв. вкл.
5. Кипятков В. Е., «Мир общественных насекомых». – Л.: Издательство Ленинградского университета. 1991. – 408 с.
6. Определение групповой робототехники:

<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D1%83%D0%BF%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0>

1. Карпов В.Э. «Коллективное поведение роботов. Желаемое и действительное». 2011г.
2. Иллюстрации – Котова Дарья Дмитриевна, Котов Дмитрий Владимирович