

И. С. Алексеев
А. Д. Смирнова
Д. Н. Овсяницкий

**От занятий в Летней
научной школе ЛНМО
к созданию инженерных
проектов и исследований
в области математики
и биологии**

Сборник методических статей



ФОНД
ПРЕЗИДЕНТСКИХ
ГРАНТОВ



ЛНМО

Илья Сергеевич Алексеев

Лаборант-исследователь
Лаборатории им. П.Л.Чебышева СПбГУ
Преподаватель математического направления
Летней научной школы ЛНМО
Научный руководитель
Системы научных семинаров
и спецкурсов ЛНМО

**Научные исследования школьников в области
математики и компьютерных наук. Опыт интеграции
программ Летней научной школы и Системы научных
семинаров и спецкурсов ЛНМО**

Настоящая статья посвящена организации научно-исследовательской деятельности в области математики и программирования ребят, обучавшихся в Летней научной школе Лаборатории непрерывного математического образования и в Системе научных семинаров и спецкурсов ЛНМО и достигших значительных успехов в научной деятельности.

Создание школьником научного исследования можно разделить на несколько этапов, которые подразумевают подготовку теоретической базы, подбор и постановку исследовательской задачи, проведение исследовательского процесса, написание научной статьи и распространение полученных результатов путем публикации работы, и в итоге – выступления на научных конференциях и семинарах.

Этап теоретической подготовки, являясь одним из наиболее трудоемких, определяет тематику будущего исследования и предшествует началу исследовательского процесса. Предполагается, что необходимую теорию школьник осваивает на соответствующем спецкурсе. Например, ЛНМО проводит математическую смену Летней научной школы (ЛМШ), в рамках которой школьники 7-11 классов в течение трёх недель слушают курсы по математике и компьютерным наукам с последующей сдачей экзаменов. К чтению лекций приглашаются специалисты из соответствующих областей. Как правило, каждый ребенок прослушивает четыре курса, читающихся ежедневно. Для того, чтобы сделать процесс обучения в ЛМШ наиболее продуктивным, тематика курсов выбирается таким образом, чтобы установить фундамент в математическом образовании школьника. К примеру, будущие девятиклассники ЛНМО в

ЛМШ помимо стандартного курса алгебры и анализа прослушивают курсы по основам линейной алгебры и теоретико-множественной топологии. Доступность продвинутых математических курсов для школьников обусловлена тем, что ученики ЛНМО уже в 7 и 8 классах осваивают математические основы, такие как теорию множеств и теорию групп. Тематика курсов для старшеклассников в ЛМШ имеет более специфический характер, поскольку предполагается, что старшеклассники имеют представление о предлагаемых научными руководителями темах будущего научного исследования. Последнее делает целесообразным организацию курсов, приносящих специализированные знания. Подразумевается, что подобные курсы имеют достаточно общий характер, являются полезными и интересными для школьников. В 2019 году в ЛМШ были прочитаны следующие курсы: «Теоретическая информатика», «Введение в алгебру и анализ», «Алгоритмы и структуры данных», «Введение в математику» (авторский курс), «Топология», «Теория вычислимости», «Введение в линейную алгебру», «Введение в неравенства», «Теория функций многих переменных», «Введение в теорию групп», «Теория Галуа», «Введение в геометрическую топологию», «Современная теория чисел», «Теория категорий», «Многопоточное программирование». Последние пять из них можно отнести к списку тех, которые были включены в учебный план ЛМШ с расчётом на будущее использование в научных работах школьников.

Основной источник новых знаний для школьника в рамках Системы научных семинаров ЛНМО – это теоретические семинары (спецкурсы). Например, в 2019-2020 учебном году в ЛНМО были организованы следующие курсы: «Линейная алгебра», «Разработка интерфейсов», «Гомологическая алгебра», «Дифференциальные уравнения», «Введение в теорию групп», «Функциональный анализ», «Машинное обучение». Знания, которые предлагаются на теоретическом семинаре, необходимы для успешного участия школьников в исследовательских семинарах. Например, все дети (пять человек) после прохождения курса «Функциональный анализ» продолжили научную работу на одноимённом исследовательском семинаре и на семинаре «Геометрическая теория групп» с последующим выступлением на Балтийском научно-инженерном конкурсе.

Исследовательские семинары ЛНМО – это научные семинары, на которых школьники обсуждают исследовательские задачи по математике и компьютерным наукам, выступают с докладами по соответствующей тематике, объединяются для решения задач, изучают передовые результаты

ученых. Именно на этих семинарах под надзором научного руководителя проводятся исследовательские процессы. Например, в 2019-2020 учебном году в ЛНМО были организованы следующие исследовательские семинары: «Вычислительная геометрия», «Семинар по решению задач Турнира юных математиков», «Топологическая теория графов», «Теория гомологий», «Введение в топологию», «Бесконечные группы», «Топология и геометрия поверхностей», «Алгебраическая теория полугрупп», «Алгебраическая топология», «Комбинаторика систем корней», «Геометрическая теория групп», «Функциональный анализ».

В статье будут описаны основные аспекты и стратегии ведения научного исследования, принятые на научных семинарах ЛНМО.

Взаимодействие ученика и научного руководителя

Формат работы научного руководителя и ребенка во многом зависит от уровня подготовки последнего. В том случае, если ребёнок является начинающим, зависимым от своего руководителя исследователем в соответствующей области науки, научный руководитель должен давать тому четкие указания о том, что делать, когда и как. В таком формате руководителем назначаются конкретные цели и простые методы их достижения, а подход к предмету предполагается максимально строгим и организованным. В случае, если ребенок уже вовлечен в исследование, заинтересован в получении знаний и готов решать конкретные задачи, руководитель должен готовить ребенка к самостоятельности и помогать ему развивать свои навыки. В таком формате руководитель объясняет и обосновывает каждое задание, убеждает ребенка в его ценности, учитывает мнение ребенка. В отличие от предыдущего формата, в данном случае связь между ребёнком и научным руководителем является двусторонней. Предполагается, что каждый ребёнок проходит два этапа обучения, описанных выше. Взаимодействие ребенка и научного руководителя подразумевает регулярные встречи, обсуждение продвижений ребёнка в решении поставленных задач и установку конкретных временных сроков выполнения последних. Итого, основная задача научного руководителя — корректировать действия ребенка, обеспечивать его необходимыми знаниями, консультировать и направлять.

В рамках исследовательского семинара «Геометрическая теория групп» под руководством Руслана Тимуровича Магдиева проводились еженедельные занятия, на которых коллективы старшеклассников решали

исследовательские задачи, относящиеся к одной и той же области математики. Среди ребят были как те, кто находился на первом этапе обучения и для кого научная работа была впервой, так и те, кто уже хорошо ориентировался в теории и был заинтересован в проведении собственного исследования. Стоит отметить, что последние помогали первым в освоении дисциплины, и такое взаимодействие способствовало повышению командного духа. Тем не менее, немаловажную роль играл авторитет Руслана Тимуровича, его навыки объяснения и донесения мысли, способность координирования работы ребят и корректирования направления их мыслей при решении исследовательских задач.

Допускается проведение дистанционных занятий. Например, специально для исследовательского семинара «Теория гомологий» руководителем были записаны видеолекции [4], которые позволили школьникам пройти экспресс-курс по теории векторных пространств, который является пререквизитом к теории гомологий. Материалы экспресс-курса обсуждались на дополнительных занятиях.

Подготовка теоретической базы для создания школьником научного исследования

Как правило, научное исследование подразумевает специализацию, требующую дополнительных знаний из соответствующей области науки. Необходимая теоретическая база подготавливается руководителем и преподносится ребенку, например, в формате курса лекций или практических занятий. Последний формат подразумевает, что ключевые идеи и результаты школьником переоткрываются. Исследовательская задача может быть поставлена как до освоения основ дисциплины, так и после. Теоретический материал подбирается таким образом, чтобы, с одной стороны, освоить использование специальных методов и техник для решения задачи, а с другой стороны, чтобы для ребёнка открылась ясная картина того, как устроены основания соответствующей области науки, в чем состоят мотивировки исследования и его дальнейшие перспективы. Вынося в будущем результаты по проведенным исследованиям на защиту, школьник подтверждает, что он ознакомлен с сопутствующей теорией на должном уровне строгости. Задача руководителя, в частности, состоит в том, чтобы ознакомить ребёнка с современным состоянием исследуемого вопроса.

Так весной 2019 года Руслан Тимурович Магдиев предложил Артёму Семидетнову совместную работу, являющуюся продолжением его собственной школьной научной работы под названием «Геометрия геодезических в дискретной группе Гейзенберга», которая относится к теории групп и римановой геометрии. Участие в подобном исследовании предполагает серьезные теоретические пререквизиты, и даже для понимания постановки задачи от ребёнка требуется знание основ теории групп. Необходимую теоретическую базу Артем получил в Летней математической школе, прослушав курсы «Введение в теорию групп» и «Введение в геометрическую топологию». Знания, обретенные Артёмом на первом из них, позволили ему ознакомиться с результатами, полученными в прошлом Русланом Тимуровичем, и приступить к изучению более широкого класса объектов. Навыки работы с римановыми многообразиями, обретенные на занятиях по геометрической топологии, в будущем позволили Артёму обнаружить новый подход к описанию рассматриваемых объектов. Перечислим несколько понятий, которые были использованы в научном исследовании Артёма и были отработаны на семинаре «Геометрическая теория групп»: задание групп образующими и соотношениями, нильпотентные и разрешимые группы, дискретные изопериметрические задачи, римановы многообразия, однородные и изотропные геометрии, группы Ли.

Стоит выделить исследование десятиклассника Петра Барина «Структура сингулярных обобщенных функций с точечными носителями», выполненное под руководством Петра Алексеевича Куликова:

“Математическая физика изучает решение дифференциальных уравнений высших порядков. В частности, если рассмотреть линейный дифференциальный оператор, то подобрав нужные коэффициенты он может стать, например, оператором Лапласа. Мы изучили поведение решения линейного дифференциального уравнения на прямой при условии, что у решения есть не более чем степенная особенность в нуле. А именно, мы нашли другое решение для этого дифференциального оператора, которое не имеет особенностей, и нашли его связь с первым решением”.

Необходимая теоретическая база осваивалась в течение всего 2019 года на следующих семинарах ЛНМО: «Теория меры и категорий», «Дифференциальные уравнения», «Функциональный анализ». Перечислим некоторые понятия, использованные в итоговой научной статье:

дифференциальные уравнения, ряды Фурье, обобщенные функции и их регуляризация, меры Лебега и Стильеса.

Подбор исследовательских задач

Исследовательские задачи, которые предлагаются детям, должны быть таковы, что задача

- частично решена научным руководителем, при этом содержит части без какого-либо известного решения;

- доступна для ребёнка, то есть должна быть уверенность в том, что некоторая элементарная исследовательская работа может быть сделана.

- зачастую задача предполагает изучение новой теории.

Например, на семинаре «вычислительная геометрия» под руководством Бориса Алексеевича Золотова было проведено исследование, основанное на одной из задач олимпиады «Математика НОН-СТОП»:

“Существует много различных характеристик фигур на плоскости, таких как диаметр и площадь, но можно заметить, что среди них нет ни одной простой и хорошо изученной характеристики, которая могла бы отличить широкие и длинные фигуры от фигур, которые такими не являются. Поэтому я изучила новую характеристику фигур на плоскости, которая называется миаметр”.

Автор итогового решения (Дойникова Екатерина, ученица 8 класса) на Балтийском научно-инженерном конкурсе получила Диплом II степени и Специальную премию с работой «Миаметры». Другому ученику Бориса Алексеевича (Пакульневичу Константину, 9 класс) на основе знаний, полученных по результату прохождения курса «топология» ЛМШ, для некоторого специального класса объектов удалось улучшить передовой геометрический алгоритм, который обсуждался на семинаре «Вычислительная геометрия»:

“Работа основана на теореме Александра и алгоритме Чена-Хана. Теорема Александра дает достаточные и необходимые условия существования выпуклого многогранника (причем единственного) для заданной развертки. Из квадратов можно составить бесконечно много развёрток, удовлетворяющих условиям теоремы Александра. Однако некоторые из этих развёрток оказываются изоморфны — а именно, что им соответствует один и тот же многогранник, с точностью до гомотетии. Более того, с использованием формулы Гаусса—Бонне несложно показать, что у каждого многогранника, получаемого при склейке квадратов, будет не

более восьми вершин. В результате работы построен алгоритм проверки изоморфности склеек из квадратов. Алгоритм расширен для других правильных многоугольников”.

Работа «Проверка изоморфности склеек из правильных многоугольников» была отмечена на Балтийском научно-инженерном конкурсе Дипломом лауреата премии учительского жюри. Перечислим несколько понятий, которые были использованы в исследовании и были отработаны на семинаре: Link-cut Trees, диаграммы Вороного, формула Гаусса-Бонне.

Ключевую роль при подборе задач играет работа с литературой. Новизна проблематики подразумевает, что научному сообществу неизвестно её полное решение. Под полнотой решения может, например, иметься в виду решение некоторой сверхзадачи, которая выбирается в качестве ориентира либо до начала исследования, либо в процессе исследования. Вопрос считается изученным научным сообществом, если либо имеется публикация (заметки, статьи, монографии, книги и т.п), используя результаты которой, можно напрямую получить решение этой задачи, либо решение следует из результатов некоторой общей теории и хорошо известно специалистам. Имеется исключение из этого правила, связанное с тем, что ученые не всегда публикуют открытия, которые были получены ими в процессе исследования. Поэтому проверить на практике, была ли некоторая задача кем-либо решена, непросто, и для доказательства новизны проблематики необходимо как публиковать на всеобщее обозрение результаты работы, так и привлекать к ней внимание научного сообщества. Это приводит как к необходимости раннего обнародования условий задачи, так и к последующей публикации решения ребёнка.

К примеру, источником некоторых научных работ, выполненных на исследовательском семинаре «Геометрическая теория групп», послужила недавно опубликованная книга [2] и сборник открытых задач [3], авторство которых принадлежит специалистам в соответствующих областях.

На семинаре «Теория гомологий» под руководством к.ф.-м.н. Сергея Олеговича Иванова было проведено исследование, результатом которого является обнаружение нового подхода к диагностике колоректального рака:

“Работа посвящена изучению гистологических изображений (WSI — Whole-Slide Imaging) при помощи методов топологического анализа данных. В частности, изображений рака толстой кишки. Основной характеристикой изображения для нас является персистентная энтропия,

которая извлекается из нулевых симплициальных персистентных гомологий изображения. Наша цель — показать, что персистентная энтропия может быть полезна для компьютерной диагностики различных видов рака, в том числе колоректального. В этой работе нами реализован алгоритм вычисления персистентной энтропии, проведен анализ набора патчей WSI-изображений здоровой ткани и колоректального рака. В энтропии изображений здоровой ткани и рака были найдены существенные различия. Данные наблюдения могут стать основой нового метода диагностики рака”.

Авторы решения (Каданцев Георгий и Сеницын Александр, ученики 11 класса) с работой «Персистентные гомологии и анализ гистологических данных» на Балтийском научно-инженерном конкурсе получили награды «Диплом I степени и Главная премия <<Совершенство как надежда>>» и «Главная премия (поездка на Regeneron ISEF)». Результаты общения со специалистами из комитета жюри подтвердили новизну решаемой задачи.

Существует несколько исследовательских направлений, актуальность которых постулируется научным сообществом. Среди них: установление связей между разными разделами науки, заполнение пробелов в научных публикациях и нахождение истины, поиск научных аномалий и другие. Стоит отметить, что исследовательская задача не обязана быть актуальной, однако, она должна вызывать интерес у ученых.

К примеру, ценность научной работы Артёма Семидетнова, которая называется «Геометрия свободных нильпотентных групп», состоит в том, что класс рассматриваемых в ней объектов включает в себя, с одной стороны, дискретную группу Гейзенберга, необходимость изучения которой была обозначена математическим сообществом в соответствующих научных статьях, а с другой стороны, нильпотентные группы, которые также подходят под исходные мотивировки научного сообщества. Поскольку на момент начала исследования Артёма в литературе не было зафиксировано существенных продвижений в данном направлении, было решено сконцентрироваться на данной исследовательской задаче. Приведем аннотацию работы Артёма:

“Нильпотентные группы являются очень фундаментальными и важными алгебраическими объектами, которые имеют множественные применения в геометрии. В данной работе мы изучаем свободные нильпотентные группы с точки зрения геометрической теории групп. А именно, мы даём геометрическую интерпретацию нормальной формы для

этих групп. Мы описываем и используем новые модели для графов Кэли свободных нильпотентных групп и опираемся на связи между моделями разных ступеней нильпотентности. Кроме того, мы обобщаем на более общий случай и используем понятие рокировки, впервые данное для групп ступеней один и два”.

Постановка исследовательской задачи

Исходная постановка исследовательской задачи не обязана полностью соответствовать основному результату, полученному в итоге ребёнком. На практике оказывается, что она определяет лишь направление исследования, ограничивает область науки и общий контекст, а в процессе работы цели и задачи меняются пропорционально успехам и неудачам ребенка. Перед началом решения рекомендуется составить план, в котором следует описать исходную постановку задачи, состоящую из нескольких исследовательских вопросов, и отразить ожидаемые итоги. Результат, сформулированный в научной статье ребёнка или выносимый им на защиту, например, на научной конференции, должен соответствовать итоговой постановке задачи. Тем самым, приветствуются любые изменения исходной постановки задачи в сторону улучшения общего впечатления от работы.

Например, на исследовательском семинаре «топология и геометрия поверхностей» коллективом авторов (Муратов Сергей и Шишмарёв Виктор, 8 класс) в работе «Гомологические классы простых замкнутых кривых» было получено новое доказательство уже известной классификационной теоремы:

“Узлы, которые можно без самопересечений нарисовать на стандартном незаузленном торе, вложенном в евклидово пространство, называются торическими. Хорошо известно, что для любого узла существует замкнутая ориентируемая стандартно вложенная в евклидово пространство поверхность, на которую можно поместить этот узел без самопересечений. В данном проекте изучается вопрос о том, какие именно гомологические классы в первой группе гомологий поверхности получают таким образом”.

Изначально участники исследовательского семинара не знали о том, что ответ на искомый ими вопрос является известным, и, используя аналогии из смежной теории, освоенной на курсе ЛМШ «Введение в математику», пытались решить классификационную задачу (“описать гомологические классы простых замкнутых кривых на фиксированной

ориентируемой поверхности”) с нуля. В ходе исследовательского процесса с помощью обращения к литературе было обнаружено, что полученные ими на тот момент результаты открывают новый подход к решению исходной задачи классификации. Более того, стало ясно, что соответствующая техника, в отличие от уже известной, может быть применена в более общих задачах. По итогу обсуждений было принято решение переформулировать исходную постановку исследовательской задачи следующим образом: “найти новый способ решения задачи классификации простых замкнутых кривых на ориентированной поверхности, который можно было бы обобщить для решения аналогичной задачи в многомерных пространствах”. Отметим также, что без необходимой теоретической подготовки данное исследование бы не состоялось. Перечислим несколько понятий, которые были в нем использованы: группы гомологий, гомотопия, компактность, скручивания Дена, числа Бетти. На Балтийском научно-инженерном конкурсе работа была отмечена Дипломом лауреата премии учительского жюри, Дипломом лауреата премии молодежного жюри и Дипломом Санкт-Петербургского отделения Математического института им. В.А. Стеклова РАН.

По словам Руслана Тимуровича Магдиева, исходной постановкой задачи Артёма Семидетнова являлось нахождение явного описания геодезических в свободной нильпотентной группе ранга три, которое бы обобщало имеющееся описание для свободной нильпотентной группы ранга два, тесно связанное с решениями некоторой изопериметрической задачи. Оказалось, что поиск аналога изопериметрической задачи для свободных нильпотентных групп представляет самостоятельный интерес, и результатом исследования Артёма стала формализация понятия «площади» и его неизвестная ранее математическому сообществу геометрическая интерпретация. Кроме того, именно увлечение Артёма геометрией, начатое с прохождения курса ЛМШ, определило итоговую судьбу его исследования.

Исследовательский процесс

В основном, исследовательский процесс неразрывно связан с процессом изучения литературы, соответствующей теме задачи. Необходимо тщательно изучать сборники задач, записки лекций, книги, монографии и научные статьи, большинство из которых можно найти в сети Интернет. Из-за трудоемкости этого процесса в первую очередь подбирать литературу для изучения должен научный руководитель ребёнка.

В качестве модели работы над исследованием можно принять следующий трехфазный цикл: формирование гипотезы; эксперимент; подтверждение или опровержение гипотезы. Первая фаза подразумевает высказывание предположения или догадки, основанной на имеющихся данных, которая в той или иной мере отвечает на поставленный вопрос. Вторая фаза представляет собой процесс, в результате которого ребёнок приходит либо к тому, что изначальная гипотеза, скорее всего, верна, либо к тому, что она, вероятно, неверна. Этот процесс может заключаться в проведении физического, компьютерного, мысленного или другого эксперимента, переборе примеров. Третья фаза предполагает нахождение строгого обоснования вывода, полученного на второй фазе. Исходную гипотезу следует либо подтвердить, либо опровергнуть, приведя соответствующие контрпримеры. Подтвержденные школьником гипотезы развивают и углубляют задачу, а опровергнутые позволяют скорректировать план исследования и сформулировать новые вопросы. Последние можно использовать в процессе изучения литературы путем включения новых ключевых слов во время поиска.

Так, по словам Руслана Тимуровича Магдиева, специально для исследования Артёма была создана серия папок в облачном хранилище, которые время от времени пополнялись найденными научными статьями, поднимающими вопросы, близкие к теме исследования. После каждого успешного прохождения трехфазного цикла все материалы из папок повторно бегло прочитывались, а избранные — вдумчиво изучались.

Решение исследовательской задачи учеником Летней научной школы и участником Системы научных семинаров и спецкурсов

Опыт показывает, что описанная выше модель организации исследовательского процесса приводит к тому, что, во-первых, исходная постановка задачи уточняется и становится содержательнее, а во-вторых, полученные наработки делают решение более глубоким. Как правило, оно состоит из цепочек рассуждений, длины которых напрямую соответствуют качеству содержания итогового результата. Стоит отметить, что одна из важнейших задач научного руководителя — это вычленение из рассуждений ребенка тех идей, которые можно было бы соединить в единую цепочку. Помимо этого, руководитель должен предоставлять школьнику

пищу для размышлений, подсказывая ему возможные направления развития исследования.

Одним из самых важных аспектов решения задачи является анализ полученных результатов. После каждого расширения цепочки рассуждений необходимо пытаться находить обобщения и подчеркивать приводящие к решению ключевые моменты. Подобный анализ, проведенный ребенком, развивает его интуицию, необходимую для получения более серьезных результатов.

По итогу исследовательского процесса получается решение исследовательской задачи, которое, как уже было отмечено, определяет постановку этой задачи. Примечательно, что для новизны полученного решения не необходима новизна промежуточных результатов, составляющих итоговую цепочку. Такое бывает, например, в том случае, когда результат является элементарным, но неожиданным и представляет собой продукт нового понимания и свежего взгляда на известные ранее явления и объекты.

К примеру, ключевой результат работы Артёма Семидетнова можно описать цепочкой, промежуточными результатами которой являются: описание геометрической модели свободных нильпотентных групп; введение «непрерывных» аналогов свободных нильпотентных групп; решение задачи для «непрерывных» аналогов; перенос результатов с «непрерывных» аналогов на исходные. Первые два промежуточных шага известны специалистам, а последние два являются новыми, однако в контексте дискретной группы Гейзенберга, которую в прошлом изучал Руслан Тимурович, их реализация совершенно естественна.

Написание научной статьи учеником Летней научной школы ЛНМО и Системы научных семинаров

В классическом варианте научная статья состоит из введения, в котором приводится постановка исследовательской задачи, формулировок основных результатов исследования и основной части. Например, основная часть научной статьи по математике состоит из доказательств утверждений, указанных в основных результатах.

Следует различать содержание научной статьи и научного доклада. Научная статья должна включать в себя только решение исследовательской задачи, сопровождаемое необходимыми ссылками на используемые и

релевантные результаты. В отличие от научной статьи, научный доклад (на научном семинаре, конференции и т.п.) может включать в себя более развернутую предысторию задачи и мотивирующие примеры, иллюстрации.

Приступать к написанию научной статьи следует после того, как зафиксирован основной результат исследования. Ребенок начинает записывать решение задачи, когда формулировка основного результата согласована с научным руководителем. Последний регулярно перечитывает получающийся текст и сообщает ребенку о необходимости внесения правок.

Так, Артём Семидетнов регулярно обновлял текст своей работы, пополнял его новыми результатами, перестраивал структуру изложения материала. Итоговый вариант статьи, состоящий из 11 страниц формата А4, был зафиксирован в дни последнего срока подачи заявки на участие в Балтийском научно-инженерном конкурсе. Другой ученик Руслана Тимуровича Магдиева (Бухаров Марк, ученик 10 класса) смог изложить свое решение задачи всего на двух страницах формата А4. Приведем аннотацию исследования Марка:

“Мы замощаем евклидову плоскость треугольниками Серпинского и изучаем группы симметрий, связанные с этим замощением. Основным результатом работы является описание “генетического кода” таких групп”.

На Балтийском научно-инженерном конкурсе члены жюри оценили его работу «Симметрии фрактала Серпинского» Дипломом III степени и Специальной премией, а также Дипломом лауреата премии молодежного жюри.

Защита решения

Как уже отмечалось выше, актуальность и новизна исследовательской задачи требует доказательства. Они должны быть подтверждены авторитетными лицами, то есть специалистами из соответствующей области науки, которых можно найти на научных семинарах или в жюри научных конференций. Именно поэтому выступление ребёнка с докладом и апробация работы — это один из самых важных этапов исследования.

Подготовка устного выступления занимает немало времени. На хорошем научном семинаре или конференции к докладчику предъявляются высокие требования, включающие в себя ознакомленность о предыстории соответствующей задачи, владение необходимым теоретическим аппаратом и заинтересованность в выступлении на публике. В первую очередь

выступление должно быть полезно для ребёнка, и уже во вторую очередь оно должно быть полезно для слушателей. Тем не менее, важно рассказывать о проведённых исследованиях и их популяризировать.

Например, помимо выступления Артёма Семидетнова на Балтийском научно-инженерном конкурсе, результаты его работы докладывались на алгебраическом семинаре по теории полугрупп РГПУ им. А.И. Герцена, а также на Петербургском семинаре по теории представлений и динамическим системам ПОМИ РАН. На Балтийском научно-инженерном конкурсе соответствующая работа была отмечена наградами «Диплом I степени и Главная премия <<Совершенство как надежда>>», «Главная премия (поездка на Regeneron ISEF)» и «Диплом Санкт-Петербургского отделения Математического института им. В.А. Стеклова РАН».

Отклик и публикация работы

Заинтересованность экспертов в решении ребёнка — это один из признаков успешного исследования. Как видно, ключевых факторов успеха немало: постановка актуальной задачи, получение солидного результата, выступления перед специалистами и другие. В случае, если постановку задачи (и, в частности, итоговые результаты) в процессе исследования не удалось довести до приемлемого вида, полезно всё равно делиться ею с научным сообществом. Дело в том, что существует немало замечательных неожиданных научных результатов, от формулировки до получения которых всего один шаг. Поэтому поиск удачной постановки исследовательской задачи представляет отдельный интерес.

Результаты исследований следует направлять в рецензируемые научные журналы. Рецензирование научной статьи ребёнка — это важная процедура, которая позволяет убедиться в точности и достоверности результатов и их доказательств. Публикация в научном журнале — это последняя инстанция.

Так, результаты работы Артёма Семидетнова и перспективы их дальнейшего обобщения обсуждались со специалистами по геометрической теории групп: А. В. Малютиным, П. Пансу, А. М. Вершиком. Итогом обсуждения являлись предложения о продолжении исследования в соответствующем направлении. Текущие результаты было решено загрузить в виде заметки на платформу arXiv. Большинство представленных выше исследований, выполненных на научных семинарах ЛНМО, предполагается направить для участия в Московской математической

конференции школьников (<https://www.mccme.ru/mmks/>), работы на которой проходят предварительное рецензирование специалистами.

Список литературы

1. Смоленский А.В., Чистякова М.В., Шперх А.А., Алампиева Е.В., Смоленский И.В. Организационная модель Системы научных семинаров Лаборатории непрерывного математического образования: Обобщение опыта, 2019.
2. Clay M., Margalit D. Office Hours with a Geometric Group Theorist // Princeton University Press, 2017.
3. Kirby R. Problems in low-dimensional topology // Geometric topology, ed. Kirby R., AMS: IP Stud. Adv. Math., vol. 2, Athens, 1997.
4. Иванов С. О. Абстрактная теория векторных пространств // видеолекции. URL: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLoimxvgpOG5K6bfejCpgnpz8--xSDm3n> (дата обращения: 03.10.2020).

Анастасия Денисовна Смирнова

магистрант
Биологического факультета СПбГУ
Преподаватель биологического направления
Летней научной школы ЛНМО
Руководитель семинаров
Системы научных семинаров
и спецкурсов ЛНМО

**О принципах построения индивидуального маршрута
ученика биологического направления ЛНМО: от занятий в
Летней научной школе ЛНМО к созданию научного
исследования или проекта**

Предисловие редакторов перевода всемирно известного учебника по биологии («Биология: в 3-х томах», Тейлор Д., Грин Н., Стаут У., 1990) начинается с таких слов: *«Ни для кого не секрет (кроме Академии педагогических наук), что преподавание биологии в наших школах ведется из рук вон плохо. Одна из причин этого – растянутый на ряд лет курс, начинающийся с предельно адаптированной для младших школьников ботаники и кончающийся общей биологией, которую учащиеся "проходят" (удивительно уместный термин!), основательно забыв все остальное.»* К сожалению, даже спустя тридцать лет, спорить с этими словами довольно трудно. Учитывая, что биология – это не столько школьный предмет, сколько «система мира», недопустимо и даже преступно игнорировать повсеместную биологическую неграмотность населения.

Опасны ли ГМО (генетически модифицированные организмы) для человека? Есть ли у лягушки или змеи позвоночник? Могут ли растения двигаться? Большинство людей, не связанных с биологией в своей профессиональной деятельности, не могут дать верные ответы на такие, казалось бы, простые вопросы. И пока речь идет о чём-либо, не касающемся жизнедеятельности человека, биологическая неграмотность может быть удивительна, но не так опасна, как в случаях самолечения серьёзных заболеваний, порой абсурдными, средневековыми, антинаучными методами.

Именно поэтому Лаборатория Непрерывного Математического Образования (ЛНМО) в Летней Математической Школе (ЛМШ) не только не игнорирует исключительную значимость качественного биологического

образования для своих учеников, но и, напротив, совершенствуется его с каждым годом.

К счастью, к настоящему моменту в Санкт-Петербурге отлично развито биологически-ориентированное дополнительное образование школьников. Нельзя не отметить особый вклад в развитие данного направления Евгения Александровича Нинбурга – создателя и первого руководителя старейшего в России юношеского научно-образовательного объединения (Лаборатории экологии морского бентоса), а также основателя биологических классов в школе №225, где сейчас находятся классы «БиоТоп» ЛНМО. С 1956 года и по настоящее время в Санкт-Петербурге работает эколого-биологический центр «Крестовский остров», во многих районах города есть естественно-научные кружки. Тем не менее, ребята из регионов нередко «остаются за бортом». А в ЛМШ приезжают не только ученики Лаборатории, но и дети из других городов, и даже из других стран.

В рамках ЛМШ ребята знакомятся с полевой деятельностью биологов, осваивают основные методы сбора материала и знакомятся на практике с ключевыми этапами проведения собственного исследования. Разумеется, за две недели невозможно выполнить достойную научную работу, а вот освоить все необходимые навыки для будущих свершений, как показывает практика, вполне возможно. Данная статья посвящена работе школьников 5-9 классов в ЛМШ на территории санатория «Ветразь» (Беларусь, Витебская область, Поставский район).

В летней школе уклон сделан именно на полевые методы исследования. Ребята, окончившие 5-й класс, проходят полноценный курс ботаники, который не дублирует классическую школьную программу. Поскольку в ЛМШ приезжают не только ученики ЛНМО, но и дети из других школ, в том числе общеобразовательных, в курсе есть краткое повторение основ. Однако ребята получают материал небольшими блоками и преимущественно только ту теорию, которую сразу же используют на практике. Такой подход позволяет усваивать материал без рутинного заучивания, что значительно облегчает восприятие информации для детей и подогревает их интерес к учёбе в целом и к биологии в частности. Это касается и курса «Зоология беспозвоночных», традиционно обязательный для учеников, окончивших 7-й класс. Таким образом, программа летней школы учитывает возрастные особенности детей и помогает закрепить (или же освоить заново) материал, который предусмотрен в базовом курсе биологии в общеобразовательной школе, не повторяя его.

В предыдущие годы биологические предметы стояли отдельными парами в сетке расписания среди других дисциплин, которые преподаются во время летней школы. С прошлого года полевые биологические курсы идут ёмкими блоками в 5-7 учебных дней, поскольку это позволяет размеренно и постепенно освоить все этапы полевых исследований: от выхода за материалом до размещения собранных объектов в учебной лаборатории. Можно рассказывать во всех подробностях о личинке стрекозы, о её линьке, о жабрах, о масках... Но это ни в коей мере не сравнится с тем, как дети запомнят личинку стрекозы, когда увидят её живую, собственноручно выловив в протекающей неподалёку речке.

Помимо обучения детей полевым методам и базовой теории, в ЛМШ осуществляется и исследовательская деятельность. Необходимо понимать различие между учебно-исследовательской (УИР) и научно-исследовательской работой (НИР) школьников. Данное разделение важно для осмысленной и конструктивной постановки педагогических задач. В любой школе учатся разные дети: с разной подготовкой и мотивированностью, с разными учебными способностями и интересами. Наш опыт показывает, что для учащихся с высокой степенью обучаемости, склонных к теоретическому осмыслению, обладающих творческим мышлением и повышенной заинтересованностью в научном познании мира, наиболее адекватной формой исследовательской работы будет НИР. Предположительно, это будущие учёные, деятели науки и образования. Таких учеников имеет смысл привлекать к более серьёзной работе действующих научных школ: помочь найти ведущих специалистов и наладить контакты с людьми в интересующих ребёнка областях науки, подобрать научно-исследовательскую лабораторию. Но большинство школьников ярко выраженной склонностью к научной работе не обладают (Черепанов, 2010). Означает ли это, что УИР для школьников вообще бесполезна: одни сразу идут в науку, а другим и вовсе незачем это?

На самом деле, разумеется, нет. Во-первых, если точные науки для некоторых детей могут оказаться непосильными, то детей, неспособных к биологии, нет. С одной стороны, потому что биология вокруг нас, каждый так или иначе сталкивается с миром вокруг себя. С другой стороны, потому что биология, как наука, включает крайне разнообразные типы деятельности: от физически активного полевого труда до скрупулёзной работы в области современной молекулярной биологии или биоинформатики, захватывающей пытливые математические умы анализом

данных. Во-вторых, даже самый одарённый ребенок, который хочет заниматься настоящей наукой, должен освоить общие подходы к проведению научного исследования. Поэтому главная особенность исследования в школьном образовании заключается в том, что оно является учебным. Это означает, что его основной целью является развитие личности учащегося, а не получение объективно нового результата, как в «большой» науке.

В науке целью является производство новых знаний, а в образовании цель исследовательской деятельности – приобретение учащимися функционального навыка исследования как универсального способа освоения действительности; в развитии способности к исследовательскому типу мышления, в активизации личностной позиции в образовательном процессе на основе приобретения субъективно новых знаний, т.е. самостоятельно получаемых, являющихся новыми и личностно значимыми для конкретного ребёнка (Черепанов, 2010; Проказова, 2010).

Как уже было сказано, проведение полноценной научно-исследовательской работы в ЛМШ, то есть в такие короткие сроки и без современного оборудования (электронная микроскопия, ПЦР-амплификаторы и т.д.) невозможно, а вот УИР в рамках курса «Зоология беспозвоночных» ребята самостоятельно или в парах делают каждый год. При этом ребёнок осваивает классическую структуру описания любого исследования, будь это итоговая работа в ЛМШ или выпускная квалификационная работа в университете: общая логика повествования и разделы – универсальны. Именно это и является первоочередной задачей биологического направления Летней школы: выполнение и оформление ребёнком самостоятельной исследовательской работы.

Многие ученики ЛНМО впервые пробуют разобраться, чем отличается глава «Материалы и методы» от главы «Обзор литературы» или «Результаты» от главы «Обсуждение», а также написать свою первую исследовательскую работу, оформить постер для конференции и представить полученные результаты перед сверстниками и преподавателями, что позволяет не только подготовиться к реальным серьёзным конференциям, которые ожидают детей в будущем, но и понять общепринятую структуру подобной деятельности, почувствовать, над чем ещё стоит поработать.

Учебно-исследовательские работы, выполненные в ЛМШ, не претендуют на полноценную научную значимость, но могут быть

развёрнуты в дальнейшем до полноценной работы с фундаментальной академической или практической значимостью. Кроме того, даже сменив тему, ребёнок легче ориентируется в этапах проведения исследования и успешнее справляется с выполнением научной работы после прохождения ЛМШ.

УИР по зоологии, как правило, посвящены конкретному вопросу, который заинтересовал ребёнка при прохождении практики. Например, кто-то изучает развитие и заботу о потомстве улитковой пиявки, а кто-то сравнивает личинку стрекозы с имаго, обращая внимание на адаптации к среде обитания разных стадий (водная и наземно-воздушная среды). Именно здесь ребёнок может усвоить сразу многие неочевидные при взгляде со стороны тонкости проведения исследования: как собрать материал, как разместить животных в лаборатории, что необходимо для содержания живых организмов, зачем нужна контрольная группа, как учесть все факторы, что такое «дизайн эксперимента» и т.д.

Некоторые аспекты проведения исследования ученики ЛНМО разбирают на занятиях в течение учебного года, в рамках курса «Теория и практика научного исследования» (далее «ТПНИ»). Нельзя сказать, что работа в летней школе начинается с нуля, поскольку ребята осваивают теоретический материал ещё до приезда в ЛМШ (рис. 1). Что касается учеников из общеобразовательных школ (без углубленного изучения биологии), то нередко в ЛМШ они начинают активно тянуться к новым знаниям, а ученики лаборатории всегда охотно делятся теоретическими материалами, полученными в учебном году. Темы учебно-исследовательских работ ребята выбирают в первые дни полевого курса, при необходимости они объединяются в пары, и в дальнейшем, на протяжении всего полевого курса, на каждом выходе в лес или на водоём собирают отдельно материал, необходимый для их собственного исследования.

Таким образом, имеют место следующие элементы биологического образования, реализованные в нашей Летней школе:

1) Набор обязательных курсов, разработанных с учётом школьной программы по биологии и возраста обучающихся:

- 6 класс (закончили 5) – Полевая ботаника;
- 7 класс (закончили 6) – Цитология + трехдневные курсы с полевыми методами (например, курс «Адаптации к водной среде» или «Удивительные паразиты»);

- 8 класс (закончили 7) – Полевая зоология;
- 9 класс (закончили 8) – Молекулярная биология клетки.

2) Обязательные теоретические блоки в каждом конкретном курсе, направленные на подготовку детей к научно-исследовательской деятельности. В данной статье мы подробнее рассмотрим зоологические курсы и приведем конкретные примеры преемственности между Летней школой и спец-курсами в биологических классах ЛНМО, а также описание деятельности наших детей, перешедших от УИР к НИР и уже занимающихся своим исследованием.

3) Научно-популярные курсы для повышения интереса, а также «сквозные» курсы для понимания целостности биологического знания, например, курс «Коммуникации живых организмов».

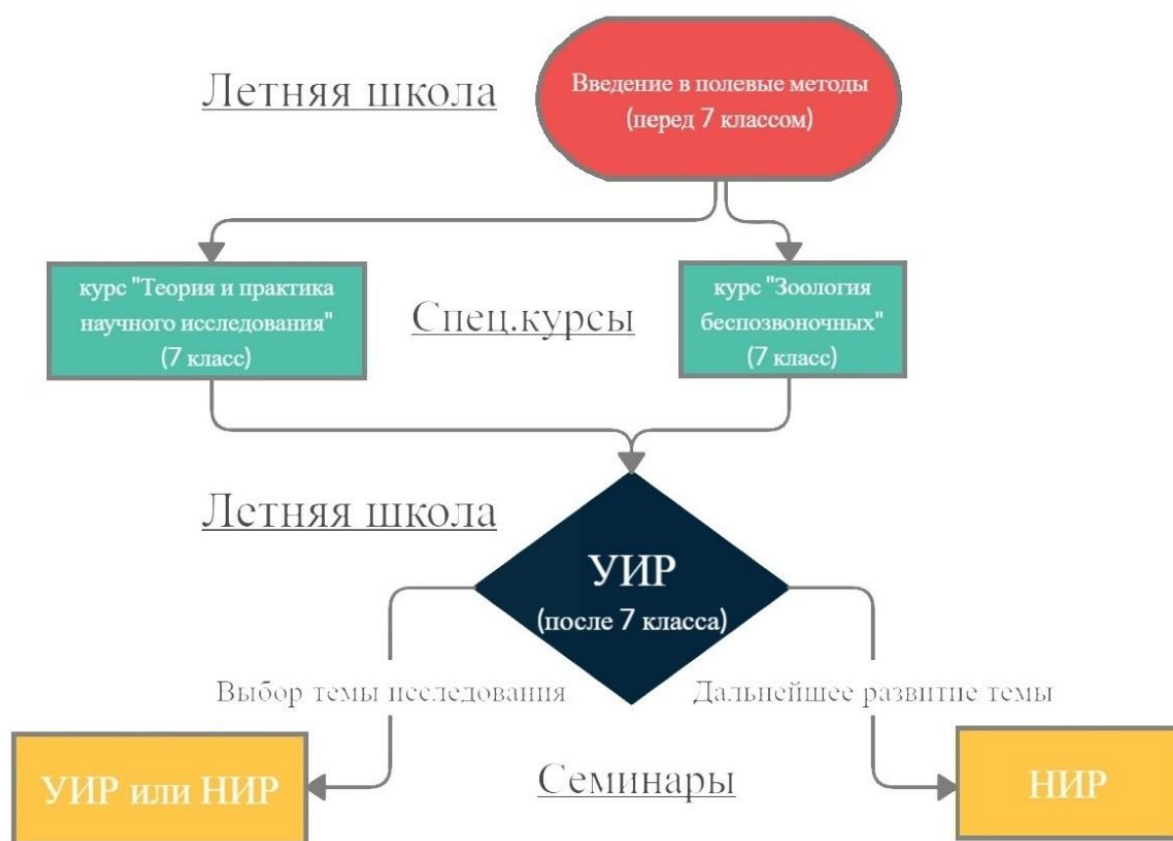


Рисунок 1. Блок-схема этапов подготовки учащихся средней школы (7-9 класс) к написанию научно-исследовательской работы.

В последний полевой сезон (лето 2019 года) в программе 6-го класса помимо традиционного курса «Полевая ботаника» был проведен краткий трехдневный курс «Адаптации животных к водному образу жизни». В этом

курсе на примере изучения адаптаций обитателей водоемов разбирают методы сбора водных беспозвоночных и основные подходы к проведению исследования. В отличие от учеников 7-9 класса, для ребят, закончивших 6 класс, написание учебно-исследовательской работы не является обязательным условием для прохождения Летней школы. Но самые сообразительные и шустрые имели возможность попробовать свои силы и выступить на итоговой конференции ЛМШ наравне с остальными обучающимися.

Узнав о такой возможности, некоторые ребята так загорелись идеей собственного исследования, что в итоге не только успешно «попробовали свои силы», но и заняли первое место на итоговой биологической конференции ЛМШ. Некоторые «маленькие победители», а именно, Давыденко Семен, Загураев Арсений и Арзуманян София не остановили на этом. Вернувшись в город и имея опыт проведения исследования, в течение учебного года они принялись за изучение уникальной группы Tardigrada. Под руководством магистра Кафедры гидробиологии СПбГУ – Савельева Павла Дмитриевича, который и читал новый курс об адаптациях к водной среде на летней школе, ребята начали изучать фауну тихоокеанской Ленинградской области. К ним присоединился ещё один одноклассник – Гребенкин Евгений, и наши юные исследователи уже в этом учебном году успешно представили результаты своей работы на двух конференциях: «XVI Балтийский научно-инженерный конкурс» и «Лабиринты науки».

В течение первого учебного полугодия на семинарах Павла Дмитриевича ребята освоили теоретические материалы по строению, биологии и экологии тихоокеанских, с одной стороны, и необходимые практические методы с другой, например, методики изготовления постоянных тотальных микропрепаратов организмов с жёстким экзоскелетом. В то же время, им пригодились и материалы спец-курсов: на занятиях «ТПНИ» ребята научились писать обзор литературы, а на практических занятиях по зоологии беспозвоночных – освоили методы разбора проб и изготовления временных микропрепаратов с использованием световой микроскопии, то есть навыки, без которых выполнение практической части НИР было бы невозможно.

К концу учебного года, казалось бы, большая часть работы была позади: сделано около 50 постоянных препаратов, а значит, результаты получены и текст НИР написан. Тем не менее, значительную роль в научно-исследовательской деятельности школьников играют научно-

исследовательские конференции и семинары. Это позволяет реализовывать научное сотрудничество и поиск путей для взаимовыгодной исследовательской деятельности между учёными и преподавателями с одной стороны, и старшеклассниками с другой, то есть, необходимо презентовать свою работу. Первый раз полученные результаты наши юные специалисты по тихоходкам представили в узком кругу: на Академической субботе БиоТоп, в стенах родной школы. С подготовкой презентации проблем не возникло, поскольку в курсе «ТПНИ» учат не только писать текст НИР, но и составлять презентации и постеры для конференций, а рассказывать о своей работе ребята уже пробовали и раньше – в Летней школе.

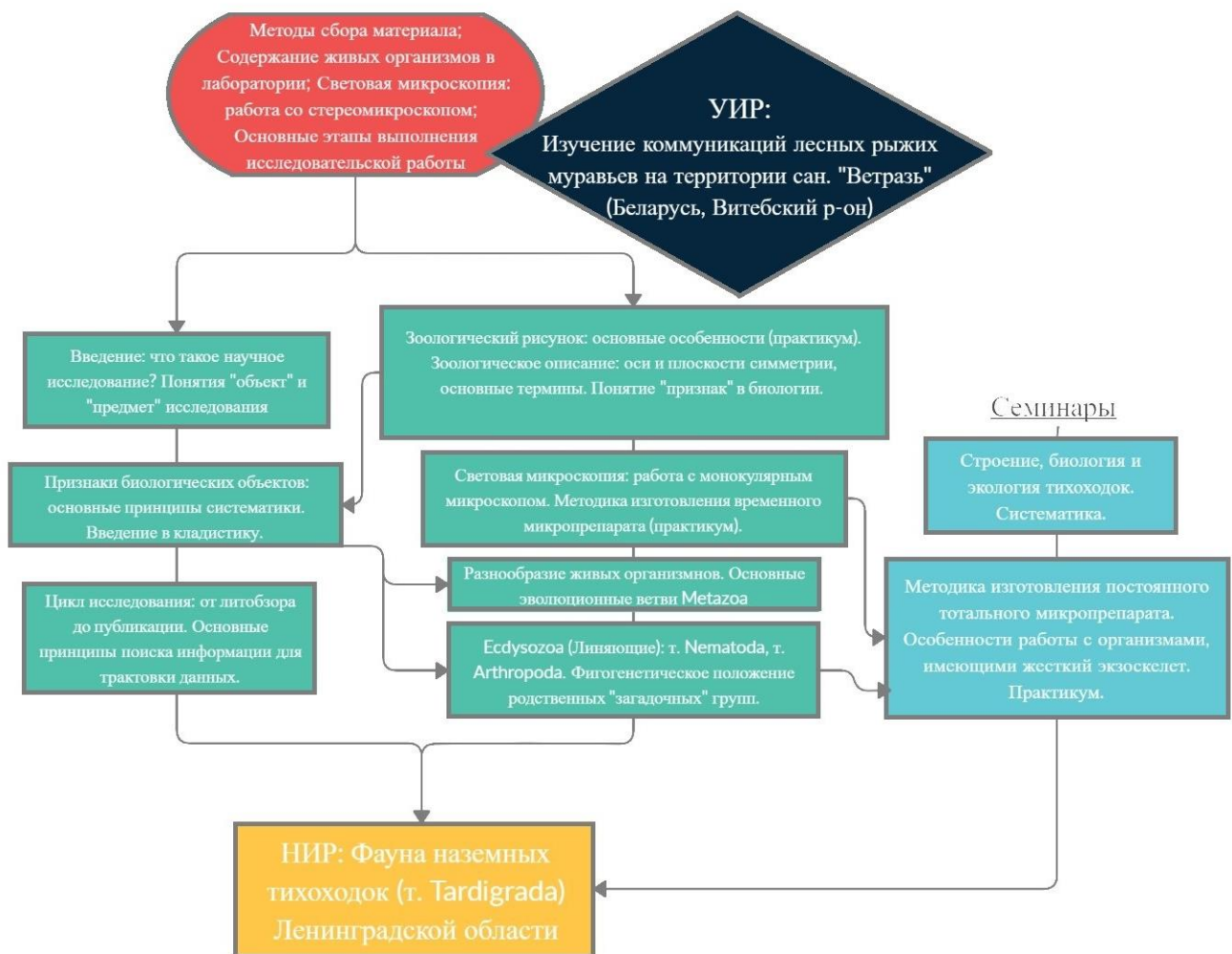


Рисунок 2. Блок-схема этапов подготовки научно-исследовательской работы учеников 7 класса БиоТоп ЛНМО: стрелки отражают взаимосвязи блоков дополнительного образования школьников. Цвета соответствуют этапам, представленным в общей блок-схеме (рис.1).

Оформление постера, навыки подачи информации, умение грамотно отвечать на вопросы, как ожидаемые, так и неожиданные для ребёнка, а также умение обосновать своё мнение не менее важны, чем научная значимость исследования. В качестве подготовки к серьезным конференциям, помимо выполнения учебно-исследовательских работ в ЛМШ, мы предлагаем детям впервые представить свои исследования и обсудить полученные результаты на заключительной конференции. Еще до заключительной постерной конференции, посвященной биологическим вопросам, в лагере проводится шуточная «псевдонаучная конференция», что не только весело, но и позволяет ребенку сориентироваться в классическом формате проведения любых конференций (различного уровня: от школьных до международных).

В заключительной части статьи, хотелось бы отметить, что научный подход к процессу исследования в педагогической практике требует реализации ряда принципов, в частности:

- *принципа естественности* (проблема должна быть не надуманной, а реальной, интерес должен быть не искусственным, а настоящим и т.д.);
- *принципа осознанности* (как проблемы, цели и задач, так и хода исследования и его результатов);
- *принципа самостоятельности* (ребенок может овладеть ходом исследования только через проживание его, то есть через собственный опыт);
- *принципа наглядности* (выдвинутого еще Я.А. Коменским и развитого И.Г. Песталоцци и Ж.-Ж. Руссо – наиболее хорошо он может реализовываться в полевом исследовании, где ребенок изучает мир не только по книгам, а в реальных условиях, какой он есть на самом деле);
- *принципа культуросообразности* (идушего ещё от Ф.В.А. Дистервега и развиваемого в нашей стране К.Д.Ушинским, П.Ф. Каптеревым и многими другими): важно учитывать ту традицию миропонимания, которая существует в данной культуре; ту традицию взаимодействия, которая существует в данной социальной общности.

Кроме того, существует ряд общепринятых принципов исследовательской работы со школьниками, таких как:

- *круглогодичность* (цикличность) и непрерывность, что осуществляется в том числе за счёт функционирования Летней школы;

- *дополнительность* (сочетание общего образования с различными формами дополнительного обучения, что в значительной степени осуществляется за счёт семинаров и спецкурсов в течение учебного года);

- *продолжительность* (продолжение дополнительного обучения и сохранение основных принципов его после школы на младших курсах вуза и далее, вплоть до обучения в аспирантуре) и *преемственность*.

Учителю приходится решать непростую задачу нахождения баланса между соблюдением научной традиции (научение ученика культурной традиции исследования) и новизной, неординарностью и жизненностью постановки вопроса. Решение такой задачи создает не менее, а более сложную, чем для учеников, творческую проблему для самого учителя.

Самое важное для учителя – это не проложить и пройти «работающий» путь в своей педагогической деятельности, после зафиксировав его, а постоянно «расшатывать» и отвергать наработки, иначе начнёт теряться собственный интерес к исследовательской деятельности. Внутренняя мотивация и интерес к проблеме исследования у самого педагога – основа успеха реализации исследовательской деятельности учащихся. В рассмотренном примере подготовки НИР учеников ЛНМО по тихоходкам руководитель – Павел Дмитриевич – ихтиолог, то есть тема исследовательской работы школьников не является темой его научных интересов в традиционном смысле. Но в биологии «всё связано со всем» и эта группа беспозвоночных всегда интересовала самого Павла Дмитриевича, именно поэтому он поддержал интерес детей и смог организовать выполнение НИР: помимо самостоятельного погружения в новую тему, Павел Дмитриевич смог найти специалиста по тихоходкам на кафедре Зоологии беспозвоночных СПбГУ, наладить сотрудничество и при необходимости консультироваться у к.б.н. Д.В. Туманова.

Исследовательская деятельность основывается на принципах проектирования (Г.П. Щедровицкий, Н.Г. Алексеев), где исследовательский проект является движущей формой построения межличностного взаимодействия исследователя и научного руководителя, в ходе которого происходит трансляция культурных ценностей научного сообщества.

Образование, таким образом, становится продуктивным, так как имеется в результате реальный выход в законченной и оформленной исследовательской работе. Продукт в этом случае имеет скорее не материальную, а интеллектуальную и личностную ценность, становясь значимым для самого ученика. Кроме того, исследовательский проект является не только формой, средством и принципом организации культурного взаимодействия, но и мотивом этой деятельности.

Мы говорим о возможности и разумности использования исследовательской деятельности с целью организации особенного межличностного взаимодействия учителя и ученика, в ходе которого происходит передача культурных традиций научного познания. Такое взаимодействие созвучно особенностям подросткового возраста с соответствующей системой ценностей, а потому способствует разрешению ряда задач в развитии личности подростка и вхождению его в пространство культуры. Необходимо остановиться на понимании сущности исследовательской деятельности в школе. Надо сказать, что полноценного научно-теоретического и методологического осмысления и описания феномена исследовательской деятельности учащихся пока не существует. Хотя в этом направлении есть весьма позитивные наработки деятелей образования и учёных, последователей Н.Г. Алексеева, таких как В.И. Слободчиков, А.В. Леонтович, А.И. Савенков и др., активно публикующихся в журнале «Исследовательская деятельность школьников». Для себя мы сформулировали понимание исследовательской деятельности школьников, которое точно ложится в наши представления и образовательные ценности. Под исследовательской деятельностью мы понимаем деятельность, связанную с решением учащимися творческой, исследовательской задачи с заранее неизвестным решением и предполагающую наличие основных этапов, характерных для исследования в научной сфере, нормированную исходя из принятых в науке традиций: постановка проблемы, изучение теории, посвященной данной проблематике, подбор методик исследования и практическое овладение ими, сбор собственного материала, его анализ и обобщение, собственные выводы.

В заключение важно отметить, что мы тоже видим проблему, упомянутую в первом абзаце: непродуктивность изучения общей биологии без базовых знаний по остальным биологическим дисциплинам. Именно поэтому и Летняя школа, и спецкурсы на площадке «БиоТоп» ЛНМО

направлены на создание целостной картины мира и понимание общебиологических взаимосвязей. Почему в Летней школе перед 7-м классом проходят курс цитологии? Потому что программа курса «Зоология беспозвоночных» начинается с Простейших, и чтобы понять, как живёт одноклеточный организм, как «решает все проблемы», являясь, по сути, маленьким полужидким мембранным мешочком, – необходимо знать строение и функционирование клетки, которые обычно в школьной программе полноценно изучаются только в старших классах, в курсе общей биологии. Почему спецкурс по зоологии позвоночных идет в 8-м классе? Потому что в это же время дети проходят анатомию и физиологию человека, а все позвоночные, включая нас с вами, – представители одного биологического типа, то есть устроены по одному «плану строения». Почему в 7-м классе ученики БиоТопа проходят курс «ТПНИ»? Потому что обязательное условие успешного прохождения курса полевой зоологии в Летней школе – написание собственной УИР. Зачем в летней школе УИР и постерные конференции? Потому что наших ребят в дальнейшем ждёт написание НИР и представление их результатов на конференциях для школьников!

Список литературы

1. Аронов А.М., Баженова К.А. Очерки об исследовательской деятельности // Учебно-методические материалы для курсов повышения квалификации «Нормы и требования к процессу и результату учебно-исследовательской деятельности школьников», Красноярск, 2007.
2. Аронов А. М., Ермаков С. В. Знаменская О. В. Учебно-образовательное пространство в педагогике развития // Монография, Красноярск, 2001.
3. Гафурова Н.В., Феськова Е.В. Интеллектуально-личностное развитие учащихся в исследовательской деятельности, Красноярск, 2004.
4. Гребенюк О.С. Научно-методическое обеспечение курса общей педагогики, Калининград, 1997.
5. Громыко Н.В., Громыко Ю.В. Исследование и проектирование в образовании: различие типов мыследеятельности и их содержания // Исследовательская деятельность учащихся: теория, методика, практика организации: Научно-методических сборник в двух томах. Под общей редакцией А. С. Обухова. Т. 1: Теория и методика организации исследовательской деятельности учащихся, М.: 2008.
6. Леонтович А.В., Саввичев А.С. Учащиеся как исследователи (как эффективно руководить самостоятельной исследовательской работой школьников?) // Методическое пособие для преподавателей (тренеров) системы РКЦ-ММЦ проекта ИСО, М.: 2007.

7. Макаренко А.С. О воспитании. 2-ое изд. перераб. и доп., М.: 1990.
8. Маленкова Л.И. В чем смысл педагогического взаимодействия школы и семьи // Домашнее восп. 1999. № 4.
9. Носков Н.Н., Финогенов А.В., Финогенова О.Н., Яббаров Ю.А. Исследовательские и творческие лаборатории школьников // Учебно-методическое пособие, Красноярск, 2001.
10. Проказова О.Г. Организация исследовательской деятельности учащихся в системе работы школы // Известия ВГПУ. 2010. №1.
11. Степанова М.В. Учебно-исследовательская деятельность школьников в профильном обучении // учебно-методическое пособие для учителей, СПб.: 2005.
12. Тяглова Е.В. Дидактические условия становления мировоззренческой деятельности // дис. канд. пед. наук., Волгоград, 2003.
13. Черепанов М.С. Ценности и принципы исследовательской деятельности учащихся. Опыт осмысления с точки зрения компетентностного подхода // Пермский педагогический журнал. 2010. №1.
14. Юдина Ю.Г. Педагогическое обеспечение становления индивидуальных образовательных траекторий учащихся 5–7 классов // дис. канд. пед. наук., Красноярск, 2007.
15. Юлпатова Е.И. Формирование исследовательских умений старшеклассников в системе профильного обучения // дис. канд. пед. наук., Волгоград, 2007.

Дмитрий Николаевич Овсяницкий

Руководитель инженерного направления
Летней научной школы ЛНМО
Научный руководитель
инженерного семинара ЛНМО
студия «Ожившая механика», Челябинск

Основные принципы организации инженерного направления Летней научной школы Лаборатории непрерывного математического направления

Летом 2019 года была проведена инженерная (комплексная) смена Летней научной школы ЛНМО. Цель школы - дать детям возможность самостоятельно поработать над реализацией прикладного проекта. Участники смены должны были решить поставленную прикладную задачу, создать продукт и пройти весь путь от постановки цели, до готового результата. Вся деятельность осуществлялась под контролем и руководством преподавателей.

Весь процесс проходил очень интересно. В зависимости от возраста детям были даны различные задания (см. Приложение 1). Основой каждого задания было создать некую вещь (продукт), но никаких инструкций по сборке, внешнему виду или то, как должен выглядеть конечный результат, сообщено не было. Было обрисовано в общих чертах, что хотелось бы увидеть, а вот весь остальной процесс был отдан на откуп детям.

На первоначальном этапе были созданы команды из трёх-пяти человек. Команда сама выбрала себе руководителя, который отвечал перед преподавателем за сделанную работу. Кроме того, на одного из членов команды было возложено дополнительное задание. Он должен был вести хронику, делать фотографии процесса работы. Другие члены команды должны были в дальнейшем подготовить доклад, создать презентацию и доказать, что их решение поставленной задачи самое лучшее в сравнении с

другими командами. А если решения были подобны, то найти и выделить те тонкости или технические решения, которые могут отличать их проект от проектов других команд. И конечно же, они должны были обо всём этом рассказать и показать всем результаты своей работы.

После того, как детям было выдано задание, и все команды сформировали основную цель, были выделены основные задачи. К данным задачам в первую очередь относились следующие:

- провести поиск аналогичных устройств и сделать их анализ с различных точек зрения;
- принять решение о том, какие материалы и инструменты необходимы для достижения цели и где их взять в условиях летнего лагеря, где проводилась инженерная школа;
- кто, где и как будет готовить техническую документацию по проекту;
- определить порядок сборки устройства и его этапы;
- составить временные интервалы для каждого этапа.

Преподаватели на этапе постановки задач объясняли детям структуру проекта, уделяя особое внимание на то, что у проекта есть структура и последовательность действий. Потеря какого-то этапа или нарушение последовательности может привести к тому, что достичь результат будет невозможно.

Особую важность представляло собой то, что детям было необходимо объяснять наличие межпредметных и метапредметных связей в проекте. Эти связи в дальнейшем дети должны были проследить на практике, и, собственно, они были прослежены. Кроме того, детям разъяснялось применение различных методов и методологий.

Приоритетной задачей педагогов была популяризация различных знаний и умений, которые дети могут и должны получать в школе. Необходимо было показать, где и как возможно приложение теоретических знаний на практике, обосновать необходимость и важность их получения и

по возможности заинтересовать детей в изучении различных предметов или наук.

Важно было выявить у детей потенциал технического творчества, возможности детей к анализу информации, формированию выводов, не стандартному подходу к использованию или применению имеющихся деталей, механизмов, электронных компонентов.

Выше уже говорилось, что инструкций по сборке конечного продукта выдано не было. Каждая команда должна было самостоятельно её создать в меру своих сил и возможностей. Конечно же, под контролем и с помощью советов педагогов.

Множество проблем было выявлено уже на этапе постановки задач. При решении задачи по подборке материалов и оборудования выяснилось, что дети просто не знают, что им нужно. То есть выявился очень узкий кругозор, как в плане используемых материалов, так и в плане инструментария для работы с ним. Считаю необходимым выделить основную проблему, которая здесь определилась – дети привыкли работать с узкоспециализированными материалами и инструментами. К примеру, если дана готовая коробка, то внесение в неё каких-то своих изменений, дополнений, отверстий вызывает у детей недопонимание того, что эта коробка тоже деталь, которую можно и нужно менять под условия своей задачи. Она воспринимается как готовый продукт, который можно использовать только так, как она предназначена и выглядит. Пришлось долго убеждать детей, что важно сделать наше изделие и не бояться исправлять другое потому, что у нас нет цели сохранять целостность данной коробки, а даже наоборот, только модифицировав какое-то готовое изделие, мы сможем сделать своё. А внесенная модификация может считаться новизной.

В ходе технической реализации дети учились работать с различными материалами и инструментом. Помимо этого, им также давались

представления о нормах охраны труда, технике безопасности, особенности работы с ручным и электроинструментом. Детей учили отличать, например, эскиз от чертежа, объяснялась, что такое проектная и техническая документация, разъяснялись технические термины и их применение. К примеру, в повседневной речи нам проще указывать размеры в сантиметрах, тогда как на чертеже необходимо указывать размеры деталей в миллиметрах, и соответственно, при разговоре во время работы необходимо использовать именно инженерных и технических термины, чтобы специалисты могли точно и четко понимать друг друга.

На этом этапе преподавателями отмечалось, что многие дети не умеют пользоваться инструментом, но это не стало главной проблемой, так как врожденное любопытство и заинтересованность детей очень быстро решало эту проблему. Основной проблемой стало то, что дети имеют сложности с размерностью деталей больше листа формата А4. То есть если нужно нарисовать деталь на поверхности листа фанеры размером, скажем, 500 на 750 мм, то это вызывает огромные затруднения. Такие же затруднения вызывает разметка не ровных поверхностей.

Также следует отметить, что работа с 3D моделями после 2х-3х занятий переставала для детей быть чем-то сложным. Это говорит о том, что у детей присутствует и хорошо развито 3х-мерное видение. Однако им проще нарисовать и распечатать свою деталь, чем модифицировать уже готовую.

Таким образом, в ходе работы на инженерной смене детям под общим руководством преподавателей были даны первичные знания о работе над прикладными проектами. Была дана схема, которая тут же на месте и реализовывалась на практике.

Были даны первичные, простейшие пока знания по созданию собственных проектов, навыки работы с материалами и инструментами. У детей развивали кругозор, сообразительность и техническое мышление.

Очевидно, что в детях очень многое заложено, но выявить и развить их умения и навыки – это важная работа педагога. И не только в инженерной школе, а и в повседневной жизни. То есть это работа должна продолжаться в тесной связке педагога, ребенка и родителей.

Итогом проделанной работы стали доклады, презентация и, конечно же, показ готовых продуктов, сделанных детьми. Они презентовались всей детской аудитории, а также коллективу преподавателей, администрации оздоровительного лагеря и, конечно же, коллегам и руководителям ЛНМО. Дети выступали весьма достойно.

Конечно, не все команды справились на 100%, но все получили практический и теоретический набор знаний, не справившиеся команды забрали проекты домой на доделку и смогут их закончить в более комфортных условиях.

Полученные детьми знания и навыки пригодились им как в работе над новыми проектами и в обыденной жизни, так и при работе в Системе научных семинаров и спецкурсов ЛНМО 2019-2020 года:

Так в Системе научных семинаров и спецкурсов ЛНМО по результатам инженерной смены работали следующие семинары, во многих своих аспектах продолжающие работу в Летней школе:

— Альтернативная энергетика, руководитель проектов и исследований в рамках семинара - Карягин Алексей Дмитриевич

— САПР и технологии современного производства, руководитель проектов и исследований в рамках семинара - Родичкин Артем Андреевич

— Конструирование БПЛА и САПР современного производства, , руководитель проектов и исследований в рамках семинара - Родичкин Артем Андреевич

— Практическая физика, руководитель проектов и исследований в рамках семинара - Пшеничнов Владимир Евгеньевич

— Гуманитарные проблемы технического знания, руководитель проектов и исследований в рамках семинара - Шперх Анатолий Альбертович

— Практическая электроника, руководитель проектов и исследований в рамках семинара - Черкасов Тимофей Михайлович

— Прикладная электроника, руководитель проектов и исследований в рамках семинара - Овсяницкий Дмитрий Николаевич

— Создание аппаратуры для спецэффектов, руководитель проектов и исследований в рамках семинара - Шперх Анатолий Альбертович

— Экология города, руководитель проектов и исследований в рамках семинара - Гаврикова Ксения Васильевна

— Гидропонные системы, руководитель проектов и исследований в рамках семинара - Фокин Иван Андреевич.

Руководитель Системы научных семинаров и спецкурсов ЛНМО, организуя систему научных семинаров, ориентируется в своей работе при распределении учащихся по семинарам, постановке задач и отслеживании критериев оценивания в том числе на те навыки и знания, которые ребята получили в Летней школе.

Так работа Ивана Андреевича Фокина по созданию проекта по гидропонике была продолжением работы в Летней научной школе. Ребята, ставшие участниками семинара, были как учениками Летней школы, так и учениками, подключившимися к работе в течение года. Для гидропонных установок использовалось как оборудование, закупленное для Летней школы, так и дополнительные ресурсы.

Проект «Помощник ночного экскурсовода», выполненный учащимися инженерной смены Летней научной школы Полиной Масловой и Анной Евсеевой, стал продолжением изучения темы «Электроника» в Летней научной школе и проходил под удаленным кураторством специалистов из

Челябинска – Дмитрием Николаевичем Овсянником и Ларисой Юрьевной Овсянниковой.

Создание «Электроцикла» и «Электромобиля» в рамках работы Артема Андреевича Родичкина было прямым продолжением работы над проектом «Создание электрокарта на основе гироскутера», над которым ребята работали в инженерной смене Летней научной школы.

Таким образом, не все инженерные проекты, которые реализовали и представили на промежуточной конференции Летней школы ЛНМО, нашли свое продолжение в работе Системы научных семинаров и спецкурсов и были представлены на городских и всероссийских конкурсах и конференциях. Это связано с тем, что выстраивание логичной цепочки между деятельностью по созданию инженерного проекта или исследования затруднена тем, что интересы детей в области технического творчества могут изменяться. Есть трудности в закупках оборудования, а его отсутствие зачастую приводит к необходимости изменять тематику исследования. Создание проекта требует командной работы, но далеко не всегда ученики Летней школы готовы продолжать работу над проектом в составе той команды, вместе с которой начали свою деятельность.

Именно поэтому так важно, чтобы в рамках Летней школы (и особенно инженерной смены) вырабатывались «сквозные навыки» и вырабатывались первичные знания школьника, которые помогут ему в работе в рамках проекта, выбранного учащимся для работы в течение учебного года и для выступления на научном конкурсе или конференции.

Приложение 1.

Проекты и исследования, созданные учащимися инженерной смены
Летней научной школы ЛНМО в 2019 году

1. Танковый биатлон.

Цель: создать роботизированную систему на базе готовой модели танка.

Задачи: 1. Собрать модель. 2. Установить моторы, систему питания. 3. Придумать, создать и установить систему управления. 4. Запрограммировать получившуюся систему для выполнения поставленных задач. Дополнительная задача – создать поле с препятствиями для соревнования построенных систем.

Усложнения: установка датчиков линии и их программирование для движения по линии.

Количество участников в команде – 1-2 чел. *Количество команд* – 3-5. *Возрастная категория* – любой.

2. Судно на воздушной подушке (СНВП).

Цель: Создать СНВП и провести его испытание. Победить соперника.

Задачи: 1. Изучить виды и типы СНВП. 2. Создать СНВП. 3. Провести испытания СНВП. 4. Оценить скорость, маневренность, управляемость, возможность преодоления препятствий.

Усложнение: создать робота на базе сделанного СНВП.

Наличие опыта – без опыта.

Уровень сложности – 3.

Количество участников в команде – 2-3 чел. *Количество команд* – 2.

3. Дополнительные сигналы поворота для автомобиля и/или велосипеда.

Цель: разработать и создать систему дублирования сигнала поворота для автомобиля любой марки. Разработать и создать электронную систему сигнала поворота для велосипедистов.

Задачи: 1. Найти и изучить имеющиеся аналоги при их наличии. 2. Разработать систему дублирования с учетом необходимой безопасности по эл. току. 3. Установить данную систему и проверить её работоспособность

при возможности. 4. Разработать и смонтировать систему сигналов поворота для велосипедистов.

Усложнение: создать и установить генератор электрического тока на велосипед.

Возрастная категория – любая.

Наличие опыта – желателен опыт работы с электрическими системами.

Количество участников в команде – 2-3 чел.

4. Создание электрокарта на основе гироскутера.

Цель: создать управляемый миниэлектромобиль (электрокарт) для перемещения по лагерю. Создать основу для будущих проектов на базе гироскутеров и мотор-колес.

Задачи: 1. Изучить аналоги 2. Проработать концепцию электрокарта 3. Создать и испытать электрокарт в реальных условиях. 4. Изучить работу гироскутера. 5. Создать независимую систему управления с возможностью дальнейшей её роботизацией. 6. Проработать различные командные или индивидуальные прикладные проекты с использованием данного продукта.

Усложнение: создать полноприводный электрокарт.

Возрастная категория – старшие школьники.

Наличие опыта – опыт работы с проектами, металлом, электромеханикой.

Уровень сложности – 4-5.

Количество участников в команде – 3-5 чел.

Проработка будущих проектов с малым количеством аналогов или без таковых. Новизна, изобретения и рационализаторские предложения.

5. Создать систему полива растений для ЛНМО.

Актуальность: в ЛНМО имеются различные растения, расположенные в разных кабинетах и/или в одном месте типа «ботанический сад». Соответственно их необходимо поливать.

Цель: создать систему полива для растений.

Особые условия – необходимо чтобы полив осуществлялся в автоматическом режиме, ёмкость для воды может заполняться вручную.

Задачи: 1. Изучить аналоги. 2. Выбрать наилучший вариант. 3. Разработать систему управления 4. Смонтировать прототип. 5. Создать и установить готовый продукт.

Усложнение: сделать систему мобильной.

Количество участников в команде – 2-3 чел. Количество команд – не ограничено.

6. Создание системы увлажнения воздуха в помещении с имитацией открытого пламени

Цель: воспроизвести или сделать самим систему увлажнения воздуха в виде имитации пламени с учетом имеющегося патента на данное изобретение.

Задачи: 1. Изучить имеющиеся аналоги. 2. Создать управляемую и/или настраиваемую систему.

Возрастная категория – любой. Количество участников в команде – 2 чел.

Количество участников в команде – 2 чел.

7. Домашний тренажер для бокса

Цель: создать не большой, подвесной тренажер с оценкой силы удара

Задачи: 1. Изучить аналоги. 2. Создать механическое устройство устойчивое к дарам. 3. Создать и установить блок оценки и вывода результатов.

Усложнение: сделать 2-е шкалы для последовательной оценки.

Возрастная категория – любой.

Наличие опыта – без опыта.

Уровень сложности –3. Количество участников в команде – 3 чел.

Видео презентации проекта «Роботизированное устройство для измерения силы удара человека» можно посмотреть по ссылке https://vk.com/video-14871489_456239086