## Кванториум, научно-технический центр и производство снегоходов

*История о том, как три рыбинских школьника усовершенствовали снегоход с помощью  
топологической оптимизации*

**Авторы**

**Пуказов Ярослав Геннадьевич**

Инженер-конструктор АО «Русская механика»

**Святослав Владимирович Соколов**

Директор ООО ЦКТ «Сигма»

**Розинский Сергей Михайлович**

Директор по развитию НТЦ «АПМ»

**Бурау Алексей Вадимович**

Ученик 9А класса, МОУ СОШ №26, г. Рыбинск

**Белохон Артём Михайлович**

Ученик 10 класса, МОУ СОШ №4, г. Рыбинск

**Шадриков Матвей Михайлович**

Ученик 10 класса, МОУ СОШ №4 г. Рыбинск

**Аннотация**

В статье представлены результаты работы школьников из Кванториума в городе Рыбинск в проекте . расчета в программных продуктах НТЦ «АПМ» элементов конструкций автомобильных комплексов флота ГРП разрабатываемых на в программном продукте APM WinMachine.

**Ключевые слова**

Гидроразрыв пласта, флот ГРП, конечно-элементные модели, метод конечных элементов, конечно-элементные сетки, стержневая расчетная модель, пластинчатая расчетная модель, напряженно-деформированное состояние, расчеты на прочность, эквивалентные напряжения, суммарные линейные перемещения.

## История

В начале прошедшего учебного года (2023-2024) специалисты из компании АО «Русская механика» обратились в Кванториум города Рыбинск (ГОАУ ДО ЯО ЦДЮТТ) с целью привлечь школьников в процесс проектирования современной техники. Конкретная идея состояла в том, чтобы заинтересовать молодых ребят процессом инженерного анализа и творчества, а также познакомить с возможностями современных компьютерных систем (CAD, CAE, Git), которые на сегодняшнем этапе развития могут помочь в проектировании оптимальных конструкций. На призыв откликнулись учащиеся IT направления: Алексей Бурау, Артём Белохон и Матвей Шадриков. Куратор с предприятия – инженер-конструктор Ярослав Пуказов – поставил перед ними вполне определенную инженерную задачу: оптимизировать по массе без потери прочности детали подвески снегохода Фронтьер 1000 (рис. 1).

Для выполнения проекта ребята самостоятельно связались с представителями компаний АСКОН и НТЦ «АПМ», которые оперативно откликнулись и оказали необходимое содействие. В частности, школьники получили лицензии на систему трехмерного проектирования КОМПАС-3D, а также на специализированное приложение для анализа прочности и проведения топологической оптимизации – APM FEM. Дальнейшее обучение по применению расчетного ПО провели разработчики – сотрудники НТЦ «АПМ» и их партнеры из ЦКТ «Сигма».

В очень краткие сроки в режиме видеоконференций ребятам рассказали основы сопромата, расчетов деталей машин, материаловедения и оптимального проектирования, а также познакомили с теоретическими основами, исходным кодом, интерфейсом программного обеспечения и методами топологической оптимизации конструкций. Дополнительно, куратор группы, Пуказов Ярослав, поделился со школьниками вариантом организации инженерных расчетов на основе распределенной системы контроля версий Git, а также необходимыми знаниями о работе подвески снегохода, условиях и режимах эксплуатации (расчетные случаи). В качестве исходных геометрических данных были предоставлены CAD-модели деталей подвески в нейтральном формате (рис. 2).

## Постановка задачи

Топологическая оптимизация – это метод, используемый в инженерии и производстве, который позволяет получать форму и структуру объектов с использованием минимального количества материала. Этот метод основан на анализе и изменении распределения материала внутри объекта с целью достижения оптимальных механических свойств при минимальной массе.

В процессе работы над проектом был проведен анализ существующих моделей подвесок снегоходов и исследованы их характеристики с целью определения проблемных зон и улучшения производительности. После этого применялась топологическая оптимизация для определения оптимальной формы деталей подвески с учетом механических нагрузок и требований к прочности и жесткости.

Основной целью проекта являлось создание оптимизированных моделей поворотного кулака, верхнего рычага передней подвески и направляющей гусеницы (склиза) задней подвески снегохода с подтверждением их прочностных характеристик в расчетном программном обеспечении.

Работа в проекте проходила по следующим этапам:

1. **Краткий теоретический курс «молодого бойца».** Несколько лекций о том, какая теория лежит в основе программ по анализу прочности и оптимизации, какие исходные данные необходимо знать (собрать), как правильно вести оценку результатов расчетов и небольшой практикум на модельной задаче.
2. **Исследование требований и условий эксплуатации.** Требования к подвеске могут существенно различаться в зависимости от конкретных условий эксплуатации снегохода. Ребятам необходимо было изучить требования к прочности, жесткости, амортизации и управляемости подвески для различных типов поверхностей, на которых может эксплуатироваться снегоход.
3. **Применение топологической оптимизации.** Учащиеся Рыбинского Кванториума провели необходимые действия по подготовке расчетных моделей и применили расчет топологической оптимизации в APM FEM для определения формы и распределения материала в конструкции подвески. В итоге это позволило снизить массу, сохраняя при этом нужные механические характеристики.
4. **Проектирование оптимизированных моделей элементов передней и задней подвески снегохода**. С использованием программного продукта Компас-3D удалось смоделировать новую геометрию деталей подвески снегохода, учитывающую оптимизированную форму несущего каркаса, полученную на предыдущем этапе.
5. **Моделирование и анализ.** Используя программу КОМПАС-3D, школьники создали и проанализировали несколько вариантов оптимизированных деталей подвески снегохода Фронтьер 1000. Для этого варьировались различные параметры и начальные условия в моделях, что в итоге позволило определить наилучшие результаты.
6. **Тестирование и оценка результатов.** Ребятам удалось протестировать разработанные оптимизированные детали подвески снегохода в различных условиях эксплуатации с помощью инструмента инженерного анализа – системы APM FEM. Также было проведено сравнение результатов с базовыми моделями. Это позволило определить эффективность применения топологической оптимизации в снегоходостроении.

Итоговыми результатами данного проекта стала разработка модернизированной конструкции подвески снегохода с использованием топологической оптимизации, которая позволила сэкономить материал, снизив таким образом неподрессоренную массу в передней и задней подвеске.

## Изучение темы

Для решения полученной задачи, выделяясь высоким уровнем мотивации, ребята смогли самостоятельно связаться с Научно-техническим центром «АПМ» (г. Королев) и представительством компании АСКОН (г. Ярославль) для получения учебных лицензии CAD-системы КОМПАС-3D и встроенной в него CAE-системы APM FEM.

После этого для школьников был проведен цикл занятий в онлайн-формате. Сначала обзорная презентация по расчетным возможностям, которые предоставляют программные продукты линейки APM, а далее началась краткая теория и практика (с домашними заданиями), необходимая для выполнения задач конкретного проекта (рис. 3).

Поскольку в школе не изучают многие технические дисциплины, важные для инженера-конструктора, то несколько первых лекций были посвящены именно этим вопросам.

Ребятам рассказали основы сопромата (понятие напряжения ввели по аналогии с давлением) (рис. 4), теоретической механики (рассмотрели граничные условия и их влияние на результаты топологической оптимизации), расчетов деталей машин (обсудили, какие области необходимо исключить из области проектирования), материаловедения (понятия пределов текучести, прочности (в т.ч. усталостной) и пути их достижения) (рис. 5), конечно-элементного анализа. Далее темы лекций были направлены на изучение вопросов оптимального проектирования, а также теоретических основ топологической оптимизации конструкций. Разработчики из НТЦ «АПМ» даже продемонстрировали некоторые части исходного кода своих программ, чтобы более детально пояснить как решаются математические проблемы для получения качественного инженерного решения оптимизационных задач (рис. 6).

Сложность этого процесса заключалась в том, чтобы «передать понимание», а по сути «объяснить на пальцах» базовые принципы, задачи и подходы к решениям новой для ребят отрасли без ущерба для глубины понимания. В значительной степени это удалось сделать, опираясь на школьные курсы физики, математики, литературы… и здравый смысл (рис. 7).

Дополнительно, куратор группы, Ярослав Пуказов, поделился со школьниками вариантом организации инженерных расчетов на основе распределенной системы контроля версий Git, а также необходимыми знаниями о работе подвески снегохода, условиях и режимах эксплуатации (расчетные случаи). Особое внимание было уделено связи между повторяемостью тех или иных ситуаций в течение срока службы изделия и критериями его прочности.

Вооружившись этими знаниями, ребята смогли постепенно перейти к практической части проекта - оптимизации элементов подвески снегохода.

## Организация рабочего пространства

Для реализации проекта и выполнения топологической оптимизации элементов подвески участникам необходимо было следующее программное обеспечение: КОМПАС-3D, APM FEM для КОМПАС-3D, GIT. С точки зрения характеристик компьютеров оптимально было иметь видеокарту 20хх-30хх с 6 Гб или более видеопамяти, ОЗУ от 16 ГБ и выше и процессор от 4-х ядер и выше. Именно эти параметры влияют на быстродействие при проведении расчета топологической оптимизации, анализе и интерпретации результатов.

**КОМПАС-3D** — система трёхмерного моделирования, ставшая стандартом для тысяч предприятий, благодаря удачному сочетанию простоты освоения и легкости работы с мощными функциональными возможностями твердотельного и поверхностного моделирования. Ключевой особенностью продукта является использование собственного математического ядра и параметрических технологий, разработанных специалистами АСКОН. Данное программное обеспечение распространяется на коммерческой основе. Для получения лицензий, необходимых для работы в проекте, учащиеся Рыбинского Кванториума самостоятельно связались с представителями вендора и безвозмездно получили необходимое ПО.

**APM FEM для КОМПАС-3D** — система прочностного анализа, предназначенная для работы в интерфейсе российской CAD-системы КОМПАС-3D. Основная цель работы системы APM FEM - дать возможность конструктору уже на начальных стадиях проектирования принимать правильные и обоснованные конструктивные решения, используя построенные 3D-модели. Это, несомненно, повышает качество и экономит время, затрачиваемое на разработку изделия, а значит, делает его конкурентоспособным! Представители НТЦ «АПМ» также любезно предоставили все необходимые лицензии для реализации проекта и выполнения расчета топологической оптимизации.

**Git (произносится «Гит»)** — это распределённая система управления версиями. Проект был создан Линусом Торвальдсом для управления разработкой ядра Linux, первая версия выпущена 7 апреля 2005 года. На сегодняшний день его поддерживает Джунио Хамано. Под системой контроля в контексте Git подразумевается программный механизм для работы с контентом. В «работу» также входит хранение, передача данных, отслеживание изменений и прочие аспекты. Обычно Git используют для работы с программным кодом, однако, ситуация стремительно меняется. Уже сейчас Git используют для работы с чертежами, 3D-моделями, переводами больших книг, дизайнерскими работами: рисунками, видео и прочее. Правилам работы в системе контроля версий можно подчинить почти любой продукт, и везде от этого будет только польза. Данный инструмент распространяется совершенно бесплатно и имеет большую аудиторию пользователей.

Попробовать применить данный инструмент в проекте предложил Ярослав, как выпускник легендарного Санкт-Петербургского политехнического университета, где очень сильная IT-школа. Он еще во время учебы в университете увидел принципиально новый подход взаимодействия инженерных команд на основе распределенных систем контроля версий. Именно это позволило членам команды грамотно поставить условия, изучить тему, организовать рабочее пространство и успешно решить поставленную задачу, находясь на расстоянии, взаимодействуя только в формате Online.

Для удобства работы над проектом и хранения всех расчетных данных был создан репозиторий на платформе GitHub (рис. 8).

Для взаимодействия с репозиторием и синхронизации файлов использовалось бесплатное приложение GitHub Desktop. Все промежуточные и финальные результаты работы также сохранялись в этом репозитории, что обеспечило удобство доступа и контроля версий проекта.

## Решение поставленной задачи

После получения всех необходимых лицензий и исходных данных, ребята приступили к процессу моделирования. Сначала провели исследование и топологическую оптимизацию верхнего рычага передней подвески.

Первым шагом здесь является прорисовка так называемой области проектирования – т.е. того пространства, где потенциально может находиться материал детали (рис. 9.). Вторым шагом выделяются интерфейсные области этой детали (цилиндрические участки). Они фактически представляют собой места закрепления резинометаллических шарниров передней подвески. Нижняя область — это сопряжение с шаровой опорой через которую передается нагрузка от лыжи на раму снегохода, либо обратно от снегохода на лыжу. Уточним, что на этой модели нет крепления амортизаторов, и прочих вещей, например, стабилизатора поперечной устойчивости.

Далее можно приступать к основным этапам, связанным с заданием граничных условий и самой оптимизационной задачей. Для этого подключается приложение APM FEM (рис. 10). В нем выбираем команду «Удаленное закрепление» и моделируем закрепление рычага через резинометаллические шарниры, выбрав соответствующую цилиндрическую поверхность. Можно увидеть то, что закрепление «собралось в одну точку», в ней запрещены перемещения и повороты и она передаёт это свойство через жесткие связи всем остальным точкам выбранной поверхности (рис. 11). Запрет поворота выбран для того, чтобы расчетная модель не была «механизмом». Этот подход оправдан также и тем, что усилия, прикладываемые к модели, проходят через ось вращения и не создают дополнительного момента.

Для того чтобы промоделировать некую податливость самой конструкции, на которую крепится наш рычаг во второй аналогичном отверстии, организована плавающая опора (убрана фиксация перемещения по оси Y).

Далее необходимо ввести все расчетные случаи, характерные для работы рычага подвески. В данном примере их восемь, поэтому добавляем восемь «Загружений» и начинаем задавать в каждом из них соответствующую силу. Нагрузки передаются через цилиндрическую поверхность сопряжения с шаровой опорой (рис. 12).

Для расчета модели также необходимы некоторые физические свойства материала, такие как: Модуль Юнга, коэффициент Пуассона, плотность, и т.д. Система APM FEM автоматически считывает нужные ей свойства из параметров материала, который был назначен из справочников, например, ПОЛИНОМ:MDM, но при необходимости пользователь может самостоятельно ввести или скорректировать нужные величины в соответствующем диалоговом окне (рис. 13).

Так как эта расчетная модель состоит из четырёх подобластей (области проектирования и трех интерфейсных зон), то их необходимо объединить. Для этого, например, можно использовать инструмент «Контакты». С его помощью можно автоматически найти нужные совпадающие поверхности и выставить определенный тип контакта – в нашем случае это «склейка» (рис. 14).

Т.к. все вычисления базируются на методе конечных элементов, то необходима генерация конечно-элементной сетки. В APM FEM имеется собственный автоматический генератор сеток. Пользователь может самостоятельно настроить необходимые ему параметры, например, тип конечного элемента, его максимальный размер и т.д. А также выбрать опцию «Для топологической оптимизации», чтобы сетка была равномерная в толще материала. Пример итоговой КЭ-сетки представлен на рис. 15.

Перед началом оптимизации проводим статический расчет. Он нужен для того, чтобы проверить, что все задано правильно, а также убедиться, что область проектирования с запасом выдерживает внешнюю нагрузку. После расчета открываем карты результатов и убеждаемся в наших предположениях (рис. 16).

Одна из самых больших нагрузок помещена в загружение № 6. Если посмотреть соответствующую ему карту напряжений, то видно, что они составляют 20 МПа (рис. 17). Для такой конструкции это очень маленькое напряжение. Как правило в реальных конструкциях могут возникать напряжения 150-200 МПа. Но не стоит забывать, что перед нами «область проектирования» – пространство максимального объема, в котором мы можем распределить материал для нашей конструкции учитывая все зазоры, засечения с остальными частями снегохода.

Сделав вывод, что с точки зрения статического расчета все хорошо, модель далее отправляется на расчет топологической оптимизации.

Наша задача найти конструкцию максимальной жесткости по всем расчетным случаям. В разделе «Топологическая оптимизация» выбираем оптимизационную задачу «Максимизация жесткости». Указываем основную (центральную) часть модели рычага в качестве области проектирования. Задаем ограничение на объем получаемой конструкции - 30 %. Выбираем опцию «Ограничение минимальной толщины» и задаем цифру, равную двойному размеру конечного элемента.

В качестве расчетных случаев указываем каждое из загружений, которые ввели ранее. В настройках параметров расчета, указываем оптимизатор OC и количество итераций – 150. После чего отправляем модель на расчёт топологической оптимизации. По его завершению можно посмотреть и оценить результат на карте «Объемная доля». Мы можем самостоятельно выбрать необходимую «отсечку» для конечных элементов с объёмная доля близкой к нулю или любой другой, какой посчитаем нужным. «Отсечек» можно сделать несколько, чтобы в итоге получить более полноценный вид силового каркаса детали.

Для примера возьмём «отсечку» объемной доли на уровне 0.65 – результат в виде силового каркаса представлен на рис. 18.

Для того, чтобы полученный силовой каркас стал полноценной деталью необходима его интерпретация и графическая обработка. Это можно сделать в КОМПАС-3D, используя средства классического 3D-моделирования, либо специализированное приложение «Свободная форма». Также есть возможность сохранения полученного результата в формат \*.STL, с целью передачи в любой CAD-редактор для конструкторской проработки.

Следующим этапом в проекте стала топологическая оптимизация поворотного кулака передней подвески снегохода Фронтьер 1000.

На представленной трехмерной модели отчетливо виден поворотный кулак – деталь сложной формы, играющая ключевую роль в работе передней подвески (рис. 19). Располагаясь в ее нижней части, поворотный кулак служит связующим звеном между несколькими важными компонентами:

* Рама снегохода. Верхняя часть поворотного кулака прочно закреплена на раме с помощью рычагов подвески, обеспечивая необходимую подвижность всей конструкции.
* Амортизатор и пружина. Несмотря на то, что крепление амортизатора на представленной модели отсутствует, логично предположить его соединение с поворотным кулаком или с непосредственно примыкающим к нему рычагом подвески.
* Шаровая опора. В нижней части поворотного кулака отчетливо просматривается сопряжение с шаровой опорой, через которую происходит передача нагрузок между лыжей и рамой снегохода, обеспечивая контакт лыжи с поверхностью и гашение вибраций.

Таким образом, поворотный кулак представляет собой важнейший элемент передней подвески снегохода, от его прочности, жесткости и массы напрямую зависят ходовые качества и управляемость машины. Именно поэтому данный элемент был выбран в качестве объекта топологической оптимизации. Применение данного метода позволит снизить вес поворотного кулака без ущерба для его функциональных свойств, что положительно скажется на общих характеристиках снегохода.

Основные этапы создания расчетной модели поворотного кулака будут аналогичны первой задаче по оптимизации рычага передней подвески.

Сначала задаются необходимые граничные условия, связанные с фиксацией модели (рис. 20), а далее режимы ее нагружения через механизм «Загружений» и «Комбинаций загружений». При этом учитываем такие варианты как поворот лыжи, сопротивление движению (вперед и назад) передающиеся от лыжи и ряд других. Из отдельных «Загружений» важно задать максимально возможное количество корректных «Комбинаций загружений» (рис. 21), так как это напрямую влияет на результат оптимизации. Чем больше вариантов нагрузок мы учтем, тем эффективнее и надежнее будет итоговый дизайн.

При задании «Комбинаций загружений» учитываются как «стандартные сценарии» эксплуатации детали, так и ситуации с повышенными нагрузками, например, езда по асфальту, где трение значительно возрастает!

Обязательным является и корректное задание свойств материала. Для данной детали это свойства материала Д16Т. После чего модель готова к генерации конечно-элементной сетки, результат которой представлен на рис. 22.

Как и в предыдущем примере, далее проводим контрольный статический расчет, чтобы убедиться в корректности постановки задачи для будущей оптимизации. Его результаты удовлетворительны (рис. 23), а это значит, что можно перейти к этапу топологической оптимизации.

Для проведения расчета топологической оптимизации выбирается постановка «Максимизация жесткости». Настройки расчета аналогичны тем, что были описаны в первом примере с важным дополнением - добавляем отклик «Глобальное напряжение» для всех расчетных случаев. Устанавливаем это ограничение по напряжению с запасом, чтобы визуально контролировать зоны повышенных напряжений.

После завершения процесса оптимизации (рис. 24) можно вывести карту распределения «Объемной доли» с необходимой нам «отсечкой», чтобы наглядно увидеть получившийся силовой каркас новой конструкции поворотного кулака (рис. 25). Далее мы можем передать его в CAD-систему для дальнейшей геометрической интерпретации!

На последнем этапе работы в проекте проводилась топологическая оптимизация направляющей рельсы гусеницы задней подвески снегохода. Направляющая рельса гусеницы - металлическая балка или профильная труба, которая служит для удержания гусеницы транспортного средства в нужном положении и направлении (рис. 26). Она помогает предотвратить соскальзывание гусеницы с колес и обеспечивает ей оптимальное движение по поверхности. Направляющие рельсы гусеницы находятся на ведущих и поддерживающих колесах механизма. Их конструкция может различаться в зависимости от типа и назначения транспортного средства.

С моделью рельсы проходим те же подготовительные этапы, что и с предыдущими моделями. Для начала задаем точки крепления направляющей рельсы. Изучив принцип работы задней подвески снегохода, мы получили шесть соответствующих точек. Снова будем использовать команду «Удаленное закрепление», в которой укажем координаты узлов крепления и необходимые запреты по шести степеням свободы. Это обеспечит правильное фиксирование направляющей рельсы и передачу ей всех необходимых свойств для обеспечения требуемой работы.

Далее на этапе приложения нагрузок были определены наиболее вероятные «расчетные случаи», а также перечень конкретных нагрузок, как точечных, так и распределенных. Для моделирования нагрузок на направляющую рельсу гусеницы использовались команды «Давление» и «Удаленная сила». Для применения последней были определены точки приложения сил и их амплитуда. Каждая нагрузка вводилась в определённом «Загружении», из которых далее создавались «Комбинации загружений» (расчетные случаи). Итоговый вид расчетной модели представлен на рис. 27.

Задав необходимые характеристики материала, отправляем модель на генерацию конечно-элементной сетки (рис. 28).

В качестве необходимой проверки проводим статический расчет и анализируем получившиеся результаты. Для примера на рис. 29 представлена карта перемещений для загружения «СнегРеакцияПеред». Перемещения составляют пару миллиметров. Одна из самых больших загрузок заложена в загружение «ВпередАсфальт+поворот». Смотрим для него карту распределения эквивалентных напряжений (рис. 30). Максимум составляет 143 МПа, что вполне допустимо, исходя из характеристик материала.

Таким образом, мы посмотрели, что с точки зрения статического расчета конструкции все хорошо, и теперь можно отправлять модель на топологическую оптимизацию. Задача - найти конструкцию максимальной жесткости по всем расчетным случаям с ограничением на объем материала в 30%. Для этого в разделе «Топологическая оптимизация» на соответствующей инструментальной панели в APM FEM выбираем постановку оптимизационной задачи «Максимизация жесткости» и задаем область проектирования (тело нашей направляющей рельсы), расчетные случаи, а также другие параметры, необходимые для настройки расчета.

После проведения расчета топологической оптимизации получаем карту распределения объемных долей, представленную на рис. 31.

Синий окрас (у КЭ с наименьшей объемной долей) показывает, где мы имеем «излишки» металла, которые практически не нагружены. Передав получившийся силовой каркас в графическую среду, можно его обработать или вырезать стандартными средствами моделирования в исходную модели соответствующие области. Таким образом, можно получить новую форму направляющей рельсы гусеницы, которая будет иметь меньшую массу при условии сохранения прочностных и жесткостных характеристик (рис. 32).

## Резюме

В процессе работы над проектом школьникам удалось освоить в необходимом количестве теоретический материал, связанный с процессом топологической оптимизации, а также выполнить практическую часть с использованием российского программного обеспечения КОМПАС-3D и приложения для анализа прочности – APM FEM. В результате были показаны резервы для снижения масса верхнего рычага и поворотного кулака передней подвески, а также направляющей рельсы гусеницы снегохода Фронтьер 1000. Ребята защитили свои проекты «Топологическая оптимизация деталей снегохода» перед экспертами из ведущих предприятий города Рыбинск и местного университета РГАТУ им. П.А.Соловьева (рис. 33). По результатам защиты, присутствовавшие эксперты из ПАО «ОДК Сатурн» высоко оценили проделанную работу и предложили ребятам участие уже в своих проектах с возможным последующем трудоустройством.

## Что дальше?

Дальнейшим развитием проделанной работы видится возможное продолжение процесса оптимизации деталей подвески снегохода путем применения дополнительных ограничений, связанных с технологиями их производства (в рамках проекта на это не хватило времени), а также изготовление оптимизированных деталей «в металле», испытания и, возможно, внедрение их в реальное производство.

Со своей стороны представители НТЦ «АПМ» и АО «Русская механика» готовы и дальше оказывать помощь ребятам в т.ч. в подготовке к ЕГЭ, олимпиадам, поступлению в ВУЗы, а также в дальнейшем трудоустройстве. Именно такие молодые и целеустремлённые старшеклассники имеют возможность войти основной состав будущего инженерного «спецназа» инновационной промышленности России!