

DOI: 10.32517/2221-1993-2026-25-1-80-84



С. Д. Лыткин

Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, г. Якутск, Россия

# РАЗВИТИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ У ШКОЛЬНИКОВ В ХОДЕ ПОДГОТОВКИ К СОРЕВНОВАНИЮ AUTONET14+ РОБОТЕХНИЧЕСКОГО ФЕСТИВАЛЯ «РОБОФЕСТ» И УЧАСТИЯ В НЕМ

## Аннотация

В статье представлен анализ двухлетнего опыта подготовки команды Малой компьютерной академии (МКА) из г. Якутска к Всероссийскому робототехническому фестивалю «Робофест» в категории AutoNet14+. Актуальность исследования обусловлена необходимостью выявления эффективных педагогических механизмов формирования инженерного мышления у школьников. На основе анализа регламентов, инженерной документации и ретроспективного анализа принятых решений показано, как в ходе проектирования и программирования автономного робота формируются ключевые компетенции обучающихся: анализ технических требований, разработка альтернативных решений, работа в условиях неполноты информации и временных ограничений. Особое внимание уделено понятию «скорость инженерного мышления», реализованному в способности команды к оперативной доработке конструкции и внесению необходимых изменений в код программы. Результатом сформированных компетенций стала победа на робототехническом фестивале «Робофест». Многолетний опыт участия в робототехнических соревнованиях позволяет выстроить индивидуальную траекторию подготовки к Всероссийской олимпиаде школьников по информатике профиля «Робототехника».

**Ключевые слова:** Всероссийская олимпиада школьников по информатике, инженерные компетенции, образовательная робототехника, AutoNet14+, «Робофест», школьники, leJOS, инженерное мышление, метод проектов.

## Информация об авторе

Лыткин Сергей Дмитриевич, старший преподаватель кафедры «Информационные технологии», Институт математики и информатики, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, г. Якутск, Россия; *e-mail*: slytkin@bk.ru

## 1. Введение

Современное общество предъявляет высокие требования к подготовке инженерных кадров. В условиях цифровой трансформации экономики, закреплённой в качестве национальной цели развития указом Президента РФ от 7 мая 2024 г. № 309 [1], особую ценность

приобретают специалисты, способные не только применять готовые знания, но и самостоятельно решать сложные технические задачи в условиях неопределённости, дефицита времени и ограниченных ресурсов [2, 3]. В связи с необходимостью повышения качества математического и естественно-научного образования в общем образовании [8] возрастает роль внеурочной и про-

S. D. Lytkin

North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov, Yakutsk, Russia

## DEVELOPMENT OF ENGINEERING COMPETENCIES IN SCHOOLCHILDREN DURING PREPARATION FOR THE AUTONET14+ COMPETITION OF THE ROBOFEST ROBOTICS FESTIVAL AND PARTICIPATION IN IT

### Abstract

The article presents an analysis of the two-year experience of preparing the MKA team from Yakutsk for the All-Russian Robofest Robotics Festival in the AutoNet14+ category. The relevance of the research is determined by the need to identify effective pedagogical mechanisms for the formation of engineering thinking among schoolchildren. Based on the analysis of regulations, engineering documentation and a retrospective analysis of the decisions made, it is shown how key competencies of students are formed during the design and programming of an autonomous robot: analysis of technical requirements, development of alternative solutions, work in conditions of incomplete information and time constraints. Special attention is paid to the concept of "speed of engineering thinking", implemented in the team's ability to quickly refine the design and make the necessary changes to the program code. The result of the formed competencies was the victory at the Robofest robotics festival. Many years of experience in participating in robotics competitions allows us to build an individual preparation trajectory for the All-Russian Olympiad of Schoolchildren in Informatics of the Robotics profile.

**Keywords:** All-Russian Olympiad of Schoolchildren in Informatics, engineering competencies, educational robotics, AutoNet14+, Robofest, schoolchildren, leJOS, engineering thinking, project method.

### Information about the author

Sergey D. Lytkin, Senior Lecturer at the Department "Information Technologies", Institute of Mathematics and Informatics, North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov, Yakutsk, Russia; *e-mail*: slytkin@bk.ru

ектной деятельности, дополнительного образования, среди которых особое место занимает соревновательная робототехника [4, 9]. Большую роль здесь играет школьная информатика, а именно необходимость подготовки учащихся к Всероссийской олимпиаде школьников по информатике с 2025 года по четырем профилям: программирование, искусственный интеллект, информационная безопасность и робототехника.

Соревнования по робототехнике моделируют реальные инженерные задачи: разработка конструкции, программирование, отладка, работа в команде, принятие решений в стрессовых условиях.

Одним из наиболее сложных и комплексных направлений соревновательной робототехники в России является трек AutoNet14+ Всероссийского робототехнического фестиваля «Робофест». В данном направлении робототехники имитируются задачи автономного городского транспорта: робот должен ориентироваться на поле с перекрестками, распознавать дорожную разметку и знаки, находить и перевозить грузы за ограниченное время [10].

В данной статье обобщается двухлетний опыт команды «МКА» из г. Якутска по подготовке и участию в соревнованиях AutoNet14+. Результатом работы команды стала абсолютная победа в 2017 году и второе место в номинации «Инженерная книга» в 2018 году на Всероссийском робототехническом фестивале «Робофест».

**Цель представленного в статье исследования** — выявить и описать ключевые инженерные компетенции, сформированные у школьников в ходе указанной деятельности, и показать их связь с конкретными техническими решениями.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ регламента соревнований AutoNet14+ как системы технических требований; выделить комплекс задач, стоящих перед командой.
2. Проследить эволюцию инженерных решений команды на протяжении двух сезонов.
3. Систематизировать развитые компетенции и отнести их с этапами проектной работы.
4. Раскрыть содержание понятия «скорость инженерного мышления» применительно к соревновательной робототехнике.

## 2. Материалы и методы исследования

Исследование проводилось на базе Малой компьютерной академии Северо-Восточного федерального университета имени М. К. Аммосова и ГБНОУ РС(Я) «Республиканский лицей-интернат» (г. Якутск). В состав команды «МКА» входили учащиеся VII и VIII классов лицея. Учащиеся имели базовый опыт программирования на Java и C/C++, а также участия во всероссийских и республиканских робототехнических соревнованиях с использованием контроллеров LEGO MINDSTORMS EV3. Наставником по соревнованию AutoNet14+ выступал преподаватель Малой компьютерной академии.

- В исследовании использовались следующие методы:
- анализ регламентов соревнований AutoNet14+ с 2016 года;
  - изучение проектной документации команды (журнал работы; инженерная книга, содержащая

чертежи, схемы, листинги программ; файлы конфигураций *map.txt*, *maneuver.txt*, *address.txt*);

- непосредственное наблюдение за процессом разработки и отладки робота, включая фиксацию проблемных ситуаций и принятых решений, а также фото- и видеofиксацию;
- ретроспективный анализ ключевых технических проблем и способов их преодоления.

Методологической основой исследования послужили компетентностный подход, теория проектного обучения [6, 7], а также идеи развития инженерного мышления в условиях технического творчества [3, 12].

Аппаратная база робота включала:

- контроллер LEGO MINDSTORMS EV3 под управлением прошивки leJOS 0.9.1-beta;
- три больших мотора;
- один средний мотор;
- три датчика цвета;
- видекамеру Logitech Carl Zeiss Tessar HD 1080p;
- WiFi-модуль TP-LINK.

Конструктив представлял собой гибрид элементов LEGO MINDSTORMS EV3 и металлических деталей Tetrix. Вес робота в соответствии с регламентом составлял около 1,2 кг, габариты — 44×45×32 см.

Программное обеспечение разрабатывалось на языке Java с использованием библиотек leJOS для управления роботом и OpenCV 2.4.11 для задач компьютерного зрения. Для навигации применялись алгоритмы теории графов.

## 3. Результаты исследования

### 3.1. Анализ регламента и выделение технических задач

Регламенты AutoNet14+ предписывали выполнение следующей последовательности действий [10]:

1. Робот в зоне старта получает посредством видекамеры адрес доставки (цвет улицы — красный, желтый, зеленый, синий — и номер дома), начинает движение из зоны старта, выезжая на полосу двусторонней дороги.
2. Необходимо доехать до зоны погрузки, захватить деревянные кубики (груз).
3. Следуя по улицам, пересекая перекрестки, робот должен точно доставить груз к дому с полученным адресом.
4. После остановки у цели на 5 секунд и звуковой сигнализации робот должен проследовать в зону финиша.

В ходе декомпозиции регламента команда выделила следующие основные технические задачи:

- точное движение по линии с учетом перекрестков различного типа;
- распознавание цвета улицы с помощью видекамеры;
- распознавание номера дома (цифры на торце дома);
- построение оптимального маршрута в условиях неизвестного до старта адреса;
- разработка манипулятора для захвата кубиков;
- обеспечение надежности работы в течение 180 секунд (максимальное время попытки).

### 3.2. Аппаратные решения и проблема сенсоров

Первоначально планировалось использовать три датчика цвета для ориентации на поле. Однако в ходе испытаний выявилась существенная проблема: из-за вибрации при движении (в частности, из-за движения на гусеницах) расстояние от датчиков до поля менялось, что приводило к сильным колебаниям показаний яркости отраженного света. Диапазоны значений для разных цветов на дорожной разметке перекрывались, делая стандартный алгоритм следования по линии нестабильным. Вместо длительной калибровки (что потребовало бы много времени на предварительную калибровку и не гарантировало результата в условиях меняющегося в течение дня освещения помещения) команда на основе экспериментов предложила альтернативное решение: использовать разные цветовые каналы датчика (красный, зеленый и синий) для разных целей. Синий канал использовался для движения по линии, красный — для точного определения начала и конца перекрестков, обозначенных зонами серого цвета. Зеленый канал был задействован для обнаружения зоны салатного цвета для грузов. Это позволило существенно повысить надежность навигации без усложнения конструкции и программы.

### 3.3. Программная навигация на основе графов

Ключевым нововведением второго года подготовки команды стало применение теории графов для построения маршрута. Карта поля была формализована в виде взвешенного графа, где вершины соответствовали перекресткам, а ребра — улицам. Матрица смежности хранилась в текстовом файле *map.txt*. Для поиска кратчайшего пути от старта до целевого адреса использовался алгоритм Дейкстры, что позволяло роботу адаптироваться к любому адресу, объявленному на старте.

Для корректного выполнения поворотов на перекрестках был создан файл *maneuver.txt*, в котором для каждой тройки вершин (откуда, через какую вершину, куда) прописывался тип маневра (налево, направо, прямо, разворот). Это позволило отделить логику движения от конкретной конфигурации поля и оперативно вносить изменения при изменении регламента.

### 3.4. Комбинированное распознавание адреса

Первоначально планировалось, что видеочамера будет распознавать и цвет улицы, и номер дома. Однако тестирование показало, что распознавание цифр занимает до 5–8 секунд, что неприемлемо в условиях жесткого лимита времени. Кроме того, распознавание белых цифр на желтом фоне оказалось крайне неустойчивым.

Команда приняла решение, которое можно считать образцом инженерного мышления в условиях ограничений: камера используется только для быстрого определения цвета улицы и номера дома на старте (адрес доставки), а местонахождение дома определяется по показаниям энкодера от известной вершины графа. Для этого был составлен калибровочный файл *address.txt*, содержащий для каждого дома: цвет, начальную вершину, вершину направления, расстояние от вершины до дома и необходимое количество оборотов колес.

Таким образом, сочетание графа и точной одометрии позволило надежно и быстро находить нужный адрес.

### 3.5. Эволюция программной архитектуры

В 2017 году, в первый год участия команды «МКА» в соревнованиях AutoNet14+, программа робота представляла собой один большой конечный автомат с большим количеством состояний. Это приводило к сложностям при отладке и добавлении новых функций.

Во втором сезоне, в 2018 году, ребята переработали архитектуру: вместо одного монолитного автомата была реализована система множества маленьких конечных автоматов (микросостояний), которые вызывались внутри основных функций управления движением. Такой подход позволил быстрее локализовать ошибки, упростил тестирование и повысил общую надежность системы. Схема основного автомата и примеры кода были приведены в инженерной книге, требуемой для участия в соревновании.

### 3.6. Управление рисками: осознанный отказ от некоторых функций

В инженерной книге команды зафиксированы задачи, которые не были решены к моменту соревнований: распознавание режимов работы светофора и дистанционное отключение робота. Команда на этапе подготовки к соревнованию сознательно отказалась от их реализации, сконцентрировав усилия на гарантированном выполнении основной задачи — доставке груза по адресу.

Это решение, принятое в условиях необходимости реализации большого количества сложнейших задач за ограниченное время до соревнования, демонстрирует способность к выбору приоритетов и управлению рисками.

### 3.7. Роль предшествующих проектов

Параллельно с подготовкой к AutoNet14+ команда разрабатывала прототип робота — сборщика ягод в рамках проекта для участия в научно-практических конференциях и выставках [5]. Задача заключалась в поиске объектов заданного цвета (шаров) с помощью видеочамеры и точном нацеливании манипулятора для захвата. В этом проекте были отработаны алгоритмы OpenCV (поиск контуров, создание масок, определение ближайшего объекта), которые впоследствии были применены в соревновании AutoNet14+ для распознавания цвета улицы, номера дома и ориентирования в пространстве.

Таким образом, межпроектный перенос знаний стал важным фактором ускорения разработки.

## 4. Обсуждение результатов

Полученные результаты позволяют содержательно раскрыть понятие «**скорость инженерного мышления**». Под ним мы понимаем способность команды в минимальное время:

- идентифицировать отклонение работы системы от ожидаемого поведения;
- выдвинуть гипотезу о причинах сбоя;
- разработать и реализовать корректирующее решение (изменение кода, доработка конструкции).

В описанном опыте данная способность проявилась в нескольких эпизодах:

## Соотношение этапов проектной деятельности и развитых компетенций

№ п/п	Этап проектной деятельности	Конкретные действия	Сформированные компетенции
1	Анализ регламента	Декомпозиция правил на подзадачи (навигация, распознавание дорожной разметки, дорожных знаков и светофора, загрузка и выгрузка грузов)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Умение анализировать регламент соревнований как систему технических требований.</li> <li>• Умение выделять технические задачи</li> </ul>
2	Выбор сенсоров и калибровка	Выявление нестабильности работы датчиков цвета, замена подхода работы с датчиками (разделение каналов по цветам)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Умение разрабатывать альтернативные решения.</li> <li>• Умение обеспечивать надежность в условиях нагрузки и неопределенностей</li> </ul>
3	Разработка алгоритмов навигации	Формализация карты в граф, реализация алгоритма Дейкстры, создание файлов маневров	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Умение разрабатывать альтернативные решения.</li> <li>• Умение выбирать оптимальное решение из нескольких вариантов</li> </ul>
4	Программирование (распознавание образов, граф маршрутов, конечные автоматы)	Комбинирование видеодетекции адресов домов и одометрии для определения местонахождения необходимого дома	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Умение выбирать оптимальное решение из нескольких вариантов.</li> <li>• Умение работать в условиях неполной информации</li> </ul>
5	Тестирование и отладка	Переход от монолитного автомата к системе микросостояний	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Умение быстро диагностировать неисправности.</li> <li>• Умение проводить оперативную доработку конструкции</li> </ul>
6	Участие в соревнованиях	Отказ от второстепенных функций для упрощения сложности программы и уменьшения временных задержек робота (распознавание режима работы светофора, дистанционное отключение)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Умение принимать решения в условиях ограниченного времени.</li> <li>• Умение работать в условиях повышенной ответственности</li> </ul>

- переход от калибровки датчиков к использованию разных каналов (реакция на нестабильность показаний);
- замена чистого видеораспознавания цвета и цифр для поиска дома на комбинацию «граф + одометрия» (реакция на низкую скорость работы контроллера EV3);
- рефакторинг архитектуры конечных автоматов (реакция на постоянное усложнение логики).

Систематизируем сформированные компетенции, сопоставив их с конкретными этапами работы, в таблице.

Особо следует отметить значение двухлетнего цикла подготовки. В первый год команда получила опыт успешного участия, осознала слабые места робота (громоздкая архитектура, проблемы с датчиками). Во втором сезоне, опираясь на этот опыт, участники смогли кардинально пересмотреть подходы и реализовать более совершенные решения, что опять привело к достаточно высоким результатам.

Также участники соревнования заняли призовые места на олимпиаде «Робофест» по физике, проводимой физическим факультетом Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова.

Испытывая на деле новые решения нескольких задач, участники приобрели дополнительные инженерные компетенции, что дополнительно подтверждается тем, что в следующем, 2019 году под руководством опытного педагога ГБНОУ «Республиканский лицей-интернат» команда «МКА» уверенно стала победителем очередного соревнования «Робокарусель» Всероссийского робототехническо-

го фестиваля «Робофест». Это подтверждает тезис о том, что формирование сложных инженерных компетенций требует не разового участия, а систематической проектной деятельности на протяжении длительного времени [1, 7].

## 5. Заключение

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

- Участие в соревнованиях AutoNet14+ является эффективной моделью для развития у школьников комплекса инженерных компетенций, включая:
  - анализ технических требований;
  - поиск альтернативных решений;
  - работу в условиях неполной информации и временных ограничений;
  - способность к быстрой диагностике и доработке системы.
- Ключевыми факторами успеха команды «МКА» стали:
  - системный анализ регламента;
  - внедрение алгоритмов теории графов для навигации;
  - комбинирование методов распознавания местонахождения домов (граф + одометрия);
  - реорганизация программной архитектуры (от монолитного автомата к микросостояниям);
  - осознанное управление рисками.

Применение языка Java в среде leJOS, компьютерного зрения и алгоритмов теории графов для

навигации напрямую коррелирует с заданиями муниципального и регионального этапов Всероссийской олимпиады школьников по информатике, где требуются навыки структурного программирования и работы с данными.

- Двухлетний цикл подготовки позволил сформировать устойчивые навыки работы в условиях неопределенности, которые мы обозначаем как «скорость инженерного мышления» — способность оперативно идентифицировать проблему и находить эффективное решение.

Представленный опыт может быть использован при подготовке команд к робототехническим соревнованиям высокого уровня (Всероссийской олимпиады школьников по информатике), а также в проектной деятельности школьников для последующего участия в технических конкурсах.

### Список источников

1. Альшуллер Г. С. Алгоритм изобретения. М.: Московский рабочий, 1969. 240 с.
2. Афанасьева И. Г. Формирование универсальных компетенций студентов технического вуза для профессиональной деятельности в условиях цифровой экономики: дис. ... канд. пед. наук: 5.8.7. Томск, 2024. 207 с.
3. Зеер Э. Ф., Сыманюк Э. Э. Методология развития транспрофессионализма субъектов инженерно-технической деятельности // Инженерное мышление: особенности и технологии воспроизводства. Материалы научно-практической конференции (Екатеринбург, 27 ноября 2018 года). Екатеринбург: Деловая книга, 2018. С. 20–31. EDN: FELLSI.
4. Ковалева О. В., Ковалева А. А. Соревновательный метод как инструмент формирования творческих способностей и технического мастерства обучающихся (на примере кружка «Робототехника» объединения «ТехноЛабо» МБОУ СШ № 10 г.о. Чехов, Московская область) // Вестник науки. 2023. Т. 3. № 11 (68). С. 603–611. EDN: ENKDVT.
5. Лыткин С. Д., Лыткин Ф. С. Методика реализации школьниками образовательного проекта «Распознавание ягод в роботизированных системах сбора» // Научное обозрение. Педагогические науки. 2024. № 6. С. 35–39. EDN: AFGWYE. DOI: 10.17513/srps.2556.
6. Мандель Б. Р. Основы проектной деятельности: учебное пособие для обучающихся в системе СПО. М.; Берлин: Директ-Медиа, 2018. 293 с.
7. Полат Е. С., Бухаркина М. Ю., Моисеева М. В., Петров А. Е. Новые педагогические и информационные технологии в системе образования: учебное пособие для студентов педагогических вузов. М.: Академия, 2002. 272 с.
8. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 19 ноября 2024 г. № 3333-р «Об утверждении комплексного плана мероприятий по повышению качества математического и естественно-научного образования на период до 2030 года». <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202411230014>
9. Сеньковски И. В., Гаврилов П. А., Казанцев Г. В., Коренко Н. П., Печуркин А. В., Станкевич С. Ю. Развитие робототехнических соревнований «Кубок РТК — Высшая лига» // Экстремальная робототехника. 2024. № 1 (34). С. 426–429. EDN: PAGXZQ.
10. Туманов А. А., Азиатцева А. В., Сигинова А. А. Робофест: AutoNet 14+. Путь к победе: учебно-методическое пособие. М.: Фонд «Вольное Дело», 2019. 80 с.
11. Указ Президента РФ от 7 мая 2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года». <http://kremlin.ru/events/president/news/73986>
12. Фаритов А. Т. Формирование основ инженерной компетенции в сфере научно-технического творчества обучающихся основного общего образования: дис. ... канд. пед. наук: 5.8.1. Саратов, 2023. 225 с. EDN: PIYZLG.