

# **ПОДГОТОВКА ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ КАДРОВ МЕЖДУНАРОДНОГО УРОВНЯ ДЛЯ РОБОТИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Магид Евгений Аркадьевич**

Профессор Института информационных технологий и интеллектуальных систем

Казанского федерального университета, г. Казань

E-mail автора: magid@it.kfu.ru

**Цой Татьяна Григорьевна**

Ассистент Института информационных технологий и интеллектуальных систем

Казанского федерального университета, г. Казань

E-mail автора: tt@it.kfu.ru

В настоящее время как академические образовательные и научно-исследовательские организации, так и промышленность Российской Федерации испытывают острую нехватку квалифицированных кадров в области робототехники [Tsoy, 2017, с. 267-272]. Технологии стремительно развиваются, чему дополнительно способствуют непредсказуемые последствия чрезвычайных ситуаций, например, вспышка COVID-19 [Zeng, 2020, с. 724-734]. Мировая пандемия показала, что кризис может стимулировать технологические инновации и развитие, а также вызвать бурный рост новых наукоемких и прикладных решений в области робототехники, поскольку использование роботов более безопасно и продуктивно [Yang, 2020].

Согласно отчету The Robot Report [Matthews, 2019], спрос на роботов стремительно растет во всем мире, а уже имеющийся острый спрос на разработчиков роботов еще более существенно возрастет к 2025 году. Такие жизненно важные сферы, как медицина и здравоохранение, сельское хозяйство, производство бытовой техники и товаров широкого потребления, автомобилестроение и автономный транспорт, борьба с последствиями чрезвычайных ситуаций и стихийных бедствий, робототехническая поддержка боевых операций современных вооруженных сил и правоохранительных органов должны быть наиболее технически продвинутыми для обеспечения безопасной общественной жизни [Chebotareva, 2020, с.357-369; Alishev, 2018, с. 169-174; Safin, 2020, с.371-382].

Ключевые сферы применения роботов характеризуются как «3D jobs» – «dirty», «dangerous» и «demanding» [Kaneko, 2019, с. 1431-1438]. С английского «dirty» переводится как «грязные работы», но при этом имеются ввиду практически все работы, где используется низкоквалифицированный труд, не требующий специального образования или навыков. Под «dangerous», «опасные работы», подразумеваются любые опасные для жизни и здоровья человека работы, например, работа на вредных производствах, выполнение задач в зонах химического или радиоактивного загрязнения, операции в зонах боевых действий, работа под землей или под водой [Moskvin, 2019, с. 411-422]. В свою очередь, «demanding», «требовательные», это работы, которые требуют от человека существенного напряжения сил и высокой скорости исполнения операций, сочетающихся с их интеллектуальной простотой и высокой степенью монотонности [Pichkalev, 2019, с. 709-714].

В первую очередь автоматизация и роботизация затрагивают производственные отрасли, где роботам выделяются ниши, охватывающие не только очевидные операции класса «demanding», но также во многих случаях имеющие явные характерные признаки операций класса «dangerous». Переход от устаревших технологий к современным методам и технологиям производства позволяет существенно повысить качество товара, снизить его себестоимость и повысить уровень безопасности труда на предприятии. Формально, ГОСТ определяет промышленного робота как «автоматически управляемый, перепрограммируемый манипулятор, программируемый по трем или более степеням подвижности, который может быть установлен стационарно или на мобильной платформе для применения в целях промышленной автоматизации» [ГОСТ Р 60.0.0.1-2016, 2.9, стр. 5] Сами робототехнические системы (РТС) в промышленности можно разделить на производящие РТС (например, антропоморфные манипуляторы, SCARA роботы, параллельные роботы) и обслуживающие РТС (например, конвейерные линии, роботы-паллетайзеры, роботы-упаковщики, складские роботы). Производящие РТС настраиваются при монтаже и перепрограммируются, по

мере необходимости, при переходе на новую продукцию или новые технологические операции, что не требует глубоких знаний робототехники и высокого уровня интеллектуализации самих роботов, так как в общем случае их рабочая среда статична и предсказуема; более того, чаще всего производящие роботы устанавливаются таким образом, чтобы доступ человека к ним был ограничен в целях повышения безопасности труда. Постепенный переход к коллаборативным производящим роботам [Kragic, 2018, с. 18-25] в рамках концепции Индустрии 4.0 [Dalenogare, 2018, с. 383-394] в данный момент все еще остается больше рекламным «взглядом в будущее», чем реальностью, ввиду их более высокой стоимости и несколько меньшей скорости при том, что они все еще не могут гарантировать полную безопасность для человека при работе в общей рабочей зоне. В то же время, многие типы обслуживающих РТС работают в динамичных условиях, что ярче всего проявляется в работе складских роботов [Khazetdinov, 2020, с. 263-270], и поэтому требуют более высокой степени интеллектуализации. И если разработка механики, электроники, алгоритмов и программного обеспечения как производящих так и обслуживающих РТС имеют сопоставимую сложность, то перепрограммирование последних под новые условия и задачи может быть намного более трудоемкой задачей и требует более глубоких профессиональных знаний.

Согласно статистике McKinsey Global Institute [Manyika, 2017], к 2030 году около 800 миллионов сотрудников по всему миру потеряют работу из-за автоматизации и внедрения робототехнических решений. Многие профессии существенно изменятся и потребуют высшего образования и технических навыков [Gavrilova, 2019, с. 253-260]. С целью сохранить свои рабочие места, сотрудники должны будут постоянно учиться и приобретать новые знания и навыки в области робототехники, чтобы разрабатывать новые и поддерживать существующие робототехнические системы. В такой динамичной среде управление инженерным образованием становится сложной задачей с точки зрения сохранения и обновления знаний, предоставляемых студентам.

Инженерное образование должно соответствующим образом адаптироваться, поддерживая мотивацию студентов для дальнейшего карьерного роста в области робототехники.

Подготовка высококвалифицированных кадров для роботизации промышленности Российской Федерации требует качественного профессионального обучения, затрагивающего все уровни образовательной системы. Но сегодняшняя российская система высшего образования, жестко ограниченная формальными ФГОСами и большим объемом неоднозначной документации, к сожалению, не справляется с этой задачей. В то же время, на сегодня отсутствие достаточного количества полноценных программ бакалавриата и магистратуры по интеллектуальной робототехнике в большинстве российских (и зарубежных) ВУЗов объективно связано с проблемами недостатка профильных специалистов в ВУЗах, отсутствием необходимого для обучения дорогостоящего оборудования и недостатком мотивированных студентов [Tsoy, 2018-2, с. 212-215]. Более того, программы ряда вузов (как российских, так и зарубежных), позиционируемые как программы по робототехнике и даже имеющие высококачественный формальный комплект документации на программу, на самом деле оказываются морально и материально устаревшими, что приводит к последующей невостребованности выпускников таких программ. На фоне этой проблемы и прогнозируемого экспоненциального роста отраслей, требующих знания робототехники, кадровый голод на российском рынке робототехники продолжится не менее 25 лет. С целью восполнить существующий пробел, в Институте информационных технологий и интеллектуальных систем (ИТИС) Казанского федерального университета коллективом лаборатории интеллектуальных робототехнических систем (ЛИРС) была разработана новая учебная программа по интеллектуальной робототехнике.

Изучение ряда международных рассылок объявлений о работе и учебе для робототехников, включая открытые позиции в аспирантуре, позиции постдоков

и младших научных сотрудников, показало, что у работодателей – как у коммерческих компаний, так и у академических институтов - имеется ряд общих четких требований к образованию соискателей, опыту и навыкам. Среди более 20 наименований направлений и специальностей, указанных в магистерских дипломах соискателей, наибольшее предпочтение отдается выпускникам магистратуры информатики (диплом «Master in computer science»). На втором и третьем местах оказались соответственно выпускники магистратуры электротехники (диплом «Master in electrical engineering») и машиностроения (диплом «Master in mechanical engineering»). При этом непосредственно самый наиболее подходящий для данных позиций диплом магистратуры робототехники (диплом «Master in robotics») оказался лишь на четвертом месте, что связано, в первую очередь, именно с недостатком профильных магистерских программ по робототехнике. Ключевыми навыками разработчиков, наиболее высоко востребованными со стороны работодателя, были робототехника и машинное обучение. Ключевыми навыками программирования ожидаемо оказались языки C, C++ и Python, уверенное владение робототехнической операционной системой РОС (Robot Operating System, ROS [13]) и программным обеспечением LabVIEW [Bitter, 2017] и MATLAB [Palm, 2011].

Изучив требования работодателей к выпускникам магистратуры, в рамках проекта «РобИО-Маг» [Tsoy, 2017, с. 267-272] при поддержке Благотворительного фонда Владимира Потанина нами была разработана магистерская учебная программа по робототехнике на основе опыта ведущих зарубежных вузов, включая Технологический институт Технион (Израиль), Цукубский университет (Япония), университет Карнеги Меллон (США) и Бристольский университет (Великобритания), которая готовит специалистов, отвечающих глобальным трендам развития высокотехнологичных рынков. Ключевыми дисциплинами программы стали четыре предмета, которые также лежат в основе практически всех зарубежных аналогов программы: дисциплины «Основы робототехники» [7], «Основы технического зрения»

[Tsoy, 2019, с. 128-131], «Датчики робототехнических систем» и «Основы искусственного интеллекта». Ответом на конкретные запросы работодателей к знанию ROS стала соответствующая дисциплина «Робототехническая операционная система ROS» [Tsoy, 2018-3, с. 186-191]. Дополнительно, студенты изучают специальные робототехнические дисциплины «Методология научных исследований (робототехника)», «Социальная робототехника», «Промышленная робототехника», «Автономные робототехнические системы», «Прикладные технологии в разработке, проектировании и эксплуатации информационных систем (робототехника)» и «Перспективные системы управления робототехнических систем», а также ряд дисциплин из области программной инженерии и проектной деятельности.

Разработанная программа, которая является одним из профилей в рамках специальности «09.04.04. Программная инженерия», стартовала в сентябре 2017-го года в Институте информационных технологий и интеллектуальных систем (ИТИС) Казанского федерального университета. Необходимо отметить, что в нашей программе мы обеспечиваем плавное ознакомление с предметной областью для студентов, не имеющих предыдущего опыта в робототехнике, что связано не только с отсутствием достаточного количества бакалаврских программ по робототехнике, которые позволили бы сформировать «воронку» для отбора наиболее подготовленных и мотивированных абитуриентов исключительно из среды робототехников, но также нашим желанием дать возможность получения одной из самых востребованных специальностей будущего широкому контингенту абитуриентов.

Мы проводили регулярную оценку учебной программы и преподавателей с точки зрения студентов с помощью анонимных опросов. Опросы направлены на сбор данных от студентов о преимуществах и недостатках программы; результаты анализа опросов были представлены нами в серии публикаций, где в числе прочих аспектов мы оценивали мотивацию студентов к построению карьеры в области робототехники [Potts, 2015, с. 441-459; Velez, 2008, с. 76-86],

их удовлетворенность программой [1], качество дисциплин и преподавания, и другие аспекты, связанные с прохождением профильных курсов по робототехнике [Tsoy, 2018-1, с. 220], [Tsoy-3, 2018, 186-191]. Среди достоинств программы студенты особенно подчеркнули ее уникальность, разнообразие оборудования и доступ к роботам, престижность получаемой профессии, интересные практические задания и доступность преподавателей для профессионального общения и взаимодействия вне занятий [Komarraju, 2010, с. 332-342]. Основными недостатками программы студенты посчитали маленькую команду преподавателей (5 преподавателей робототехники) и «недостаточное» с точки зрения студентов количество робототехнических дисциплин (12 из 20) при «избытке» общих дисциплин (8 из 20) [Tsoy, 2020].



Рисунок 1 – студенты Лаборатории интеллектуальных робототехнических систем Института информационных технологий и интеллектуальных систем Казанского федерального университета; на переднем плане – 3 робота Robotis DARwin OP2 и 3 робота Robotis DARwin OP3, используемые на занятиях.

В заключение, необходимо отметить, что путем тщательного изучения опыта ведущих зарубежных вузов и требований потенциальных работодателей, нам удалось разработать и запустить программу подготовки высококвалифицированных кадров для роботизации промышленности

Российской Федерации. За три года осуществления подготовки кадров в рамках профиля «Робототехника» магистратуры «09.04.04. Программная инженерия», программа превратилась из пилотного проекта в полноценный высококачественный продукт международного уровня и продолжает постоянно совершенствоваться при помощи обратной связи с потенциальными работодателями, со студентами и выпускниками программы.

### **Список литературы**

1. Alishev N. et al. Network failure detection and autonomous return algorithms for a crawler mobile robot navigation //2018 11th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE). – IEEE, 2018. – С. 169-174.
2. Bitter R. et al. LabVIEW: Advanced programming techniques. – CRC press, 2017.
3. Chebotareva E. et al. Educational Mobile Robotics Project “ROS-controlled Balancing Robot” Based on Arduino and Raspberry Pi //Proceedings of 12th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE). – IEEE, 2019. – С. 209-214.
4. Chebotareva E. et al. Laser rangefinder and monocular camera data fusion for human-following algorithm by PMB-2 mobile robot in simulated Gazebo environment //Proceedings of 15th International Conference on Electromechanics and Robotics" Zavalishin's Readings". – Springer, Singapore, 2020. – С. 357-369.
5. Dalenogare L. et al. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance //International Journal of Production Economics. – 2018. – Т. 204. – С. 383-394.
6. Gavrilova L. et al. Pilot study of teaching English language for preschool children with a small-size humanoid robot assistant //Proceedings of 12th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE). – IEEE, 2019. – С. 253-260.



7. Kaneko K. et al. Humanoid robot HRP-5P: An electrically actuated humanoid robot with high-power and wide-range joints //IEEE Robotics and Automation Letters. – 2019. – Т. 4(2). – С. 1431-1438.
8. Khazetdinov A. et al. RFID-based Warehouse Management System Prototyping Using a Heterogeneous Team of Robots //Robots in Human Life. – 2020. – С. 263-270.
9. Комарражу М. et al. Role of student-faculty interactions in developing college students' academic self-concept, motivation, and achievement //Journal of college student development. – 2010. – №51(3). – С. 332-342.
10. Kragic D. et al. Interactive, Collaborative Robots: Challenges and Opportunities //International Joint Conferences on Artificial Intelligence Organization (IJCA). – 2018. – С. 18-25.
11. Manyika J., et al (28 November 2017). Jobs lost, jobs gained: What the future of work will mean for jobs, skills, and wages [Электронный ресурс] / J Manyika //McKinsey Global Institute. – 2017. – URL: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/jobs-lost-jobs-gained-what-the-future-of-work-will-mean-for-jobs-skills-and-wages#> (дата обращения: 25.01.2020).
12. Matthews K. 6 industries where demand for robotics developers will grow by 2025 [Электронный ресурс] / К Matthews //The Robot Report. – 2019. – URL: <https://www.therobotreport.com/6-industries-demand-robotics-developers-grow-2025/> (дата обращения: 25.01.2020).
13. Moskvina I. et al. Modelling Tracks and Controller for Servosila Engineer Robot //Smart Innovation, Systems and Technologies. – 2019. –Т. 154. – С. 411-422.
14. Palm W. Introduction to MATLAB for Engineers. – New York: McGraw-Hill, 2011.
15. Pichkalev M. et al. Face drawing by KUKA 6 axis robot manipulator //Proceedings of 12th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE). – IEEE, 2019. – С. 709-714.

16. Potts D. Understanding the early career benefits of learning abroad programs. *Journal of Studies in International Education*. – 2015. – №19(5). – C. 441-459.
17. Safin R. et al. Evaluation of Visual SLAM Methods in USAR Applications Using ROS/Gazebo Simulation // *Smart Innovation, Systems and Technologies*. – 2020. – №187. – C. 371-382.
18. Tsoy T. et al. Towards effective interactive teaching and learning strategies in robotics education // *International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE)*. – IEEE, 2017. – C. 267-272.
19. Tsoy T. et al. Effective robotics education: surveying experiences of master program students in Introduction to Robotics course // *International Conference on Mechanical, System and Control Engineering*. – 2018. – №220(06005).
20. Tsoy T. et al. Establishing Effective Teaching for Robotics: a comparison study of Bachelor students participated in Introduction to Robotics course // *Proceedings of the 2018 International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB 2018)*. – 2018. – C. 212-215.
21. Tsoy T. et al. Master program students experiences in Robot Operating System course // *International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE)*. – IEEE, 2018. – C. 186-191.
22. Tsoy T. et al. Experiences of Robotics students in Machine Vision course being taught in a foreign language: comprehension, self-efficiency, and active learning strategies improvement // *International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB 2019)*. – 2019. – C. 128-131.
23. Tsoy T. et al. Reviewing educational process at the Intelligent Robotics masters program via surveys among graduate students // *Proceedings of 13th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE)*. – IEEE, 2020.
24. Velez, J. et al. The relationship between teacher immediacy and student motivation // *Journal of Agricultural Education*. – 2008. – № 49(3). – C. 76-86.
25. Yang G.-Z. et al. Combating COVID-19 – The role of robotics in managing public health and infectious diseases // *Science Robotics*. – 2020. – T. 5(40).

- 26.Zeng Z. et al. From high-touch to high-tech: COVID-19 drives robotics adoption //Tourism Geographies, 2020. – Т. 22, – С. 724-734.
- 27.ГОСТ Р 60.0.0.1-2016. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. ГОСТ (Государственный общесоюзный стандарт) Р 60.0.0.1-2016 Роботы и робототехнические устройства. Общие положения //Национальный стандарт Российской Федерации. – М.: Стандартинформ, 2016. – С. 1-6.