



Обучение бережливому производству студентов технического университета на основе бизнес-симуляторов

Е.В. Спиридонова¹, Т.Ю. Калошина²

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Российская Федерация.

E-mail: ¹ekaterina-uvarova@yandex.ru; ²kaloshinatu@mail.ru

✉ ekaterina-uvarova@yandex.ru

Аннотация. *Введение.* Рациональное использование всех видов ресурсов – один из важнейших принципов менеджмента в современной экономике, являющийся основой постоянного совершенствования компетенций специалистов. Предметом данного исследования являются подходы к обучению бережливому производству студентов различных технических и экономических направлений подготовки. *Цель работы* – обоснование необходимости использования бизнес-симуляторов «Фабрики процессов» в качестве основного инструмента обучения студентов вузов бережливому производству, позволяющего не только обучить основным принципам и алгоритмам, но и сформировать бережливое мышление и «мягкие» социальные умения. *Методология, методы и методики.* Для оценки сформированности бережливых компетенций при использовании различных форматов обучения применялись качественные и количественные методы педагогического исследования: изучение научных источников по теме исследования, анализ форматов обучения студентов высших учебных заведений, наблюдение, оценка освоения компетенций и анкетирование. *Результаты исследования.* Установлено, что обучение на специализированных бизнес-симуляторах «Фабрики процессов» позволяет сформировать у студентов основы бережливого мышления и научно обоснованные подходы к оптимизации реальных производственных процессов, сокращению непроизводительных потерь на «Фабриках процессов» в кооперации с представителями предприятий. Подтверждено, что в процессе квазипрофессиональной деятельности активно формируются «мягкие» социальные умения и навыки. *Научная новизна.* Впервые объектом исследования является обучение основам бережливого производства студентов технических и экономических направлений подготовки в университетах. *Практическая значимость.* В рамках национального проекта «Производительность труда» особое внимание уделяется подготовке специалистов, умеющих сокращать непроизводительные потери и улучшать бизнес-процессы. В этой связи эффективное обучение бережливому производству в вузах является актуальным и значимым для современной системы образования.

Ключевые слова: бережливое производство, обучение студентов, поколенческие сдвиги, бизнес-симуляторы фабрики процессов, Индустрия 4.0, критическое мышление, Лин-лаборатории, производительность труда

Для цитирования: Спиридонова Е.В., Калошина Т.Ю. Обучение бережливому производству студентов технического университета на основе бизнес-симуляторов. *Образование и наука.* 2025;27(2):34–57. doi:10.17853/1994-5639-2025-2-34-57

Lean production training for technical university students using business simulators

E.V. Spiridonova¹, T.Yu. Kaloshina²

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation.

E-mail: ¹ekaterina-uvarova@yandex.ru; ²kaloshinatu@mail.ru

✉ ekaterina-uvarova@yandex.ru

Abstract. *Introduction.* The rational use of all types of resources is one of the most important principles of management in the modern economy, serving as the foundation for the continuous improvement of specialists' competencies. This study focuses on the unique characteristics and methodologies for teaching lean production to students in various technical and economic fields of study. *Aim.* The present research aims to demonstrate the necessity of utilising business simulators software "Process Factory" as the primary tool for training university students in lean production. This approach not only imparts fundamental principles and algorithms but also cultivates lean thinking and essential soft skills. *Methodology and research methods.* Qualitative and quantitative methods of pedagogical research were employed to evaluate the development of lean competencies through various teaching formats. This included a review of scientific literature on the research topic, an analysis of learning formats utilised by higher education students, observations, assessments of competency mastery, and the administration of questionnaires. *Results.* It has been established that training on specialised business simulators, such as "Process Factory", allows students to develop foundational lean thinking and science-based approaches for optimising real production processes. This training also helps reduce unproductive losses in process factories through collaboration with industry representatives. Furthermore, it has been confirmed that engaging in quasi-professional activities fosters the development of essential soft skills. *Scientific novelty.* For the first time, this research focuses on teaching the fundamentals of lean manufacturing to students in technical and economic fields of study at universities. *Practical significance.* They have an urgent need for specialists who can manage resources, minimise unproductive losses, and enhance business processes while considering the careful and rational use of all types of resources. In this context, effective training in lean production is both relevant and significant for the modern education system.

Keywords: lean manufacturing, student learning, generational shifts, process factory business simulators, Industry 4.0, critical thinking, Lin labs, labour productivity

For citation: Spiridonova E.V., Kaloshina T.Yu. Lean production training for technical university students using business simulators. *Obrazovanie i nauka = The Education and Science Journal*. 2025;27(2):34–57. doi:10.17853/1994-5639-2025-2-34-57

Введение

В современных бизнес-процессах компаний человеческие ресурсы являются важнейшим ресурсом, обуславливающим экономические результаты деятельности. Уровень развития экономики знаний – одно из главных преимуществ развития экономики в целом [1]. В этих условиях И. Б. Адова делает акцент на человеческий капитал [2]. В. Н. Рудаков с соавторами акцентируют внимание на том, что «относительная ценность таких элементов человеческого капитала, как формальные теоретические знания, опыт работы и soft skills, может различаться в зависимости от сектора, отрасли занятости, занимаемой должности и т. д.» [3, с. 31]. Авторами отмечается, что «отрицательное влия-

ние академической успеваемости на заработную плату выпускников может быть связано с тем, что образовательная система требует от студентов инвестировать в получение формальных знаний и другие навыки, которые, к сожалению, на данный момент не являются востребованными для работодателей. При этом студенты, которые в меньшей степени инвестируют в формальные знания, а в большей степени развивают свои социальные навыки (soft skills), получают за приобретение этих навыков большую отдачу» [4].

По результатам исследований НИУ «Высшая школа экономики», «мягкие» социальные умения и навыки становятся определяющими в оценке работников работодателями [3–5], а М. В. Хайруллина отмечает стратегическую важность обучения бережливому производству для развития реального сектора экономики [6]. Н. С. Давыдова подчеркивает важность бережливого производства для организаций всех уровней развития по спиральной динамике [7]. Используемое в современной практике бережливое производство – это управленческая концепция, зародившаяся в XX веке на Toyota и первоначально использовавшаяся производственными организациями для повышения потребительской ценности производимого продукта при одновременном сокращении непроизводительных потерь. Как отмечают R. Khandan и L. Shannon, в XXI веке инструменты и методы бережливого производства доказали свою эффективность во многих отраслях, в том числе в сфере услуг и в государственном секторе [8]. Одним из основных факторов успешного внедрения инструментов бережливого производства в организации является вовлечение всех сотрудников в процесс трансформации бизнес-процессов, повышения их эффективности. В этой связи вопросы обучения студентов инструментам и методам бережливого производства становятся все более актуальными.

Предметом данного исследования являются подходы к обучению бережливому производству студентов различных технических и экономических направлений подготовки. Внедрение цифровых технологий расширяет возможности, делает образование более доступным, позволяет формировать индивидуальные траектории, углубляться в специализацию или, напротив, расширять кругозор. Открытые онлайн-курсы обеспечивают доступ к качественной, концентрированной, актуальной информации. Видеоэкскурсии по предприятиям формируют представление о практической реализации подходов. Но не менее важными для дальнейшей профессиональной деятельности остаются умения взаимодействовать в коллективе, быстро адаптироваться на рабочем месте и включаться в реальные производственные процессы. Как представляется, указанные умения не формируются в достаточной степени в онлайн-среде.

Целью работы является обоснование необходимости использования бизнес-симуляторов «Фабрик процессов» в качестве основного инструмента обучения студентов различных технических и экономических направлений подготовки бережливому производству, позволяющего не только обучить ос-

новным принципам и алгоритмам, но и сформировать бережливое мышление и мягкие социальные умения.

Для достижения данной цели поставлены следующие исследовательские вопросы, по которым отсутствуют практические исследования:

1. Какие формы обучения применяют для преподавания бережливого производства в вузах?
2. Достаточно ли традиционных форматов для формирования общего представления, устойчивых навыков, привычки к рациональному использованию ресурсов, регулярному внедрению позитивных изменений в бытовые и производственные процессы?
3. Заполняют ли специализированные симуляторы «Фабрики процессов» пробелы традиционных подходов?
4. Являются ли они универсальными для различных технических и экономических направлений подготовки?

В качестве гипотезы выдвинуто предположение о том, что бизнес-симулятор «Фабрика процессов», реализованный в лабораторных условиях (не в виртуальном пространстве) при групповом взаимодействии студентов, является наиболее эффективным форматом обучения бережливому производству.

Ограничения исследования. Одним из перспективных форматов обучения является симуляция в виртуальной реальности. Но не представляется возможности оценить его на практике, т. к. в распоряжении Новосибирского государственного технического университета нет «Фабрики процессов» в виртуальном пространстве. По сведениям авторов, подобных «фабрик» нет и в российских университетах-партнерах, и в региональных центрах компетенций, реализующих профессиональную переподготовку производственного персонала по бережливому производству. Основываясь на выводах В. Thiede с коллегами, считаем, что бизнес-симулятор «Фабрика процессов» в виртуальном пространстве может стать дополнением к Лин-лаборатории¹ при формировании бережливых компетенций, но ввиду указанных выше особенностей не может ее заменить полностью [9; 10].

Второе допущение исследования заключается в том, что до начала обучения бережливому производству между студентами различных групп и факультетов нет принципиальных различий по общему образовательному рейтингу и уровню жизненной активности. Абсолютное большинство студентов не изучали бережливое производство ранее и не сталкивались с практическим его применением на предприятиях реального сектора экономики.

Обзор литературы

В научном информационном пространстве в последнее время широко обсуждаются такие аспекты обучения бережливому производству, как форматы взаимодействия со слушателями и подходы к подаче содержательного матери-

¹ Лин-лаборатория (фабрика процессов). Режим доступа: <https://leanvector.ru/blog-eksperta/lin-laboratoriya-ot-tradicionnogo-podhoda-k-cifrovomu/> (дата обращения: 27.09.2024).

ала внутри этих форматов. Современная система образования активно трансформируется, появляются все новые форматы и методы подачи информации, что связано с рядом широко известных факторов: развитием сети Интернет, стремительной цифровизацией различных отраслей народного хозяйства и особенностями восприятия информации поколениями X, Y, Z в том числе. Отметим, что, например, В. А. Виниченко, Е. Goh и ряд других исследователей характеризуют тенденцию «поколенческих сдвигов» на современном рынке труда как «идеальный шторм» [11; 12], поскольку на место сотрудников старших поколений активно выходят сотрудники поколения Z, для которого актуальны новые подходы к процессам обучения.

Все более популярными как в индивидуальном, так и в групповом формате становятся активные формы обучения. Как отмечают С. С. Bonwell и J. A. Eison, изменение подходов к организации тренингов, экспериментов, симуляций позволяет стимулировать учащихся к работе, способствует лучшему запоминанию, более глубокому пониманию и позитивному отношению к предмету [13].

Особенно актуальны процессы активного обучения для инженерного образования, в том числе и в обучении бережливому производству. А. Prashar доказывает, что проблемно ориентированное (PBL), активное, смешанное, перевернутое обучение, а также моделирование и геймификация в преподавании бережливого производства значительно повышают вовлеченность учащихся, их ориентацию на поставленную задачу и содействуют совместной работе [14].

По мнению I. Cil с коллегами, внедрение инструментов бережливого производства на предприятии занимает длительный промежуток времени (это зависит от размера компании, масштабов деятельности) и, безусловно, связано с обучением [15]. В связи с этим наиболее популярный формат обучения бережливому производству во всем мире – специфические бизнес-симуляторы «Фабрики процессов». В основе «Фабрик процессов», как считает О. McDermott, лежит смоделированная производственная среда, точнее некоторая ее часть, отдельный бизнес-процесс. Реализация данного процесса, согласно определенному сценарию, является симуляцией производства в условиях, близких к реальному рабочему месту [16]. Таким образом, участники могут увидеть весь бизнес-процесс, так называемую цепочку создания ценности, технологические и организационные особенности производства. Смоделированными могут быть самые разные процессы из сферы производства, медицинских услуг, обслуживания и многие другие. По мнению M. Callupe и M. Rossi, современным мировым трендом является совмещение в лабораторных условиях принципов бережливого производства и информационных технологий, цифровизации и автоматизации. Они отмечают, что наилучший эффект достигается, когда внедрение методов бережливого производства сочетается с повышением производительности с помощью инструментов Индустрии 4.0 [17]. Н. S. Tan Ivander с коллегами выделяют следующие ключевые преимущества обучения на бизнес-симуляторе «Фабрика процессов»: целостное представление биз-

нес-процесса, ориентация на практику, развитие критического мышления, самоорганизация и самостоятельность в принятии решений, социальное взаимодействие в команде [18].

В классическом варианте бизнес-симуляторы «Фабрики процессов» реализуются в аудиториях, называемых «Лин-лабораториями», на базе которых организуется очная командная работа студентов или сотрудников предприятий. С развитием цифровой индустрии, по наблюдениям S. Bariuad, стали появляться и полностью виртуальные фабрики процессов, которые способны воссоздать бизнес-процессы в виртуальной реальности [19]. Автор отмечает, что симуляции на основе виртуальной реальности предлагают учащимся возможность отработать свои навыки на тренажере, прежде чем использовать их в реальных условиях. Среда виртуальной реальности может быть как в формате локальной версии для индивидуального использования, так и онлайн с возможностью взаимодействовать в реальном времени с другими участниками. При создании подобных виртуальных фабрик мы сталкиваемся прежде всего с ограничением со стороны технологий, а также недостаточной детализацией сценариев. Как подчеркивают P. Hines и H. Torbjørn, разработчик может и не догадываться об отдельных направлениях развития симуляции, дополнительных эффектах [20]. В случае очной работы группы обучающихся в Лин-лаборатории незапланированный сценарием ход действий станет новой задачей для участников и расширит компетенции педагога, тренера или модератора, управляющего процессом симуляции. В виртуальной среде ситуация может развиваться только по заложенному сценарию, что не всегда реалистично. В этой связи T. Netland и P. Hines пришли к выводу, что локальных версий виртуальных бизнес-симуляторов «Фабрик процессов» недостаточно для полноценного изучения предмета. Более жизнеспособной и доступной альтернативой аудиторному обучению является виртуальная реальность в реальном времени в рамках смешанного подхода к обучению [9]. B. Thiede с соавторами предполагают, что эффективным может быть вариант, при котором после очного командного прохождения симуляции в Лин-лаборатории отдельные обучающиеся при необходимости будут иметь возможность отработать наиболее сложные инструменты на «Фабриках процессов» в виртуальном пространстве [10]. Как представляется, бизнес-симуляторы «Фабрики процессов» в виртуальном пространстве наиболее актуальны в тех сферах деятельности, в которых цена ошибки наиболее велика. Это может быть как медицина, в которой ошибка новичка способна нанести вред здоровью пациента, так и те отрасли промышленности, в процессах которых используются дорогостоящие материалы и оборудование.

В рамках «Фабрик процессов» чаще всего используют метод обучения, разработанный в компании Toyota, в которой и зародилось бережливое производство (TWI, или обучение на рабочем месте) [21]. Данный подход включает три блока обучения: профессиональным инструкциям, профессиональным отношениям и методам работы. Основная цель TWI – научить людей мыслить ана-

литически, улучшать свои результаты и результаты компании, брать на себя ответственность и сотрудничать с коллегами. Вместо того чтобы предлагать готовое решение проблемы, данный подход учит, как формировать ситуацию, чтобы найти работающие альтернативы. В частности, D. Dinero убедительно показал, что *критическое мышление и непосредственное знакомство с производственными процессами* в цехе или офисе (в терминах бережливого производства – выход в гемба¹) дают наиболее высокий уровень сформированности бережливых компетенций даже по сравнению с практическими тренингами и работой на «Фабриках процессов» в условиях симуляции реальных процессов [22]. Выход на рабочее место позволяет увидеть весь процесс своими глазами (поскольку именно он сформулирован в качестве принципа «иди и смотри»), разобраться, как процесс работает, до мельчайших подробностей и понять составляющие варианты перехода к целевому состоянию [23; 24].

Н. С. Давыдова, B. Thiede, N. Mindt, M. Mennenga, C. Herrmann, T. Netland, P. Hines и др. сходятся во мнении, что различные подходы следует рассматривать не как альтернативу, а скорее как взаимодополняющие части единой системы. Теоретическое и интерактивное обучение имеют основополагающее значение для получения базовых знаний. Обучение на практике и коучинг важны, поскольку ставят обучающихся перед реальными задачами и проблемами в производственном процессе. Только жизненные ситуации могут продемонстрировать особенности применения полученных знаний [7–10].

Формы и методы обучения определяются также и составом слушателей, их возрастом, опытом, имеющимися знаниями и компетенциями. Чаще всего концепцию бережливого производства внедряют на уже существующих предприятиях. В этой связи возникает необходимость обучения взрослых, зачастую исходя из таксономии Блума [25] и цикла Колба [26], за счет чего учитывается предыдущий опыт слушателей, формируются компетенции и способности применять их на практике. Одновременно исследования Н. С. Давыдовой показали, что обучение в более раннем возрасте позволяет не только получить навык применения инструмента, но и сформировать бережливое мышление [27]. F. Aqlan, E. G. Walters показали, что занятия со студентами не всегда проходят на «Фабриках процессов». Это могут быть упрощенные игры-симуляторы (их также называют мобильными «Фабриками процессов»), реализуемые в мастерских и проектных офисах [28].

Основа любой трансформации – человек, так как без поддержки персонала и взаимопонимания внутри компании не получится реализовать даже самые полезные и необходимые изменения. По данным исследований Harvard Business Review, более 60 % предложений, касающихся организационных из-

¹ Гемба (Gemba) (в переводе с японского языка – «место, где происходит работа») означает подход, характерный для японской управленческой практики кайдзен (см.: «Выход в гемба»: опыт Юнипро. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://up-pro.ru/library/production_management/lean/vyhod-v-gemba-opyt-yunipro/ (дата обращения: 10.12.2024).

менений, не находят поддержки и встречают сопротивление при внедрении¹. В такой ситуации для обеспечения устойчивого внедрения изменений в бизнес-процессы компании прибегают к использованию модели Джона Коттера [29]. Разработанная в 1996 году Дж. Коттером восьмиступенчатая модель изменений позволяет повысить адаптацию сотрудников к изменениям. По мнению ученого, важно создать подходящий климат для изменений (шаги с 1 по 3), осуществить вовлечение всех сотрудников в создание изменений (шаги с 4 по 6) и обеспечить внедрение и консолидацию изменений (шаги 7 и 8). Не утрачивает своей актуальности предложенная в первой половине XX века модель Курта Левина [30]. Модель предполагает наличие трех этапов внедрения изменений в бизнес-процессы компании. Так первый этап – «размораживание», т. е. внедрение новых практик, второй – «движение» – производство новых идей и стратегий, третий этап – «замораживание», на котором происходит удержание достигнутого состояния. Еще одна модель, о которой хотелось бы сказать, – модель ADKAR – позволяет разработать план действий для внедрения изменений. Ее ядром является работа с людьми, участвующими в трансформации бизнес-процессов. Практика применения модели позволяет донести до каждого сотрудника компании важность изменений, справиться с сопротивлением, сформировать и поддержать мотивацию [31]. Рассмотренные модели, безусловно, пересекаются с концепцией бережливого производства, в основе которого прежде всего ориентация на конечного потребителя, внедрение изменений, связанных с устранением из бизнес-процесса всех видов потерь и сосредоточенность на создании ценности (пересечение с моделью Джона Коттера). В практике бережливого производства важно вовлечение всех сотрудников к применению бережливых инструментов и в процессах постоянного совершенствования и выявления новых форм партнерства для решения проблем в этой области [32], что, бесспорно, перекликается с концепциями моделей Курта Левина и ADKAR.

Несмотря на многообразие подходов и методов, описанных в литературе, традиционными для российских вузов и колледжей остаются стандартные лекции и практические (семинарские) занятия, а практическое обучение на «Фабрике процессов» встречается нечасто. С 2016 по 2024 год компанией LEAN VECTOR GROUР реализовано всего 35 проектов по организации Лин-лабораторий на базе образовательных учреждений (вузов и колледжей) на территории России². Данная компания является крупнейшим поставщиком оборудования и методологом симуляций на базе «Фабрик процессов», в основе которых лежат производственные процессы компании КамАЗ. Самостоятельно для собственных нужд «Фабрики процессов» разрабатывают вузы – члены Ассоциации бережливых вузов. По данным официального сайта, в ассоциацию входят 14

¹ Нестерова С. И., Рамзаев М. В. Модель Дж. Коттера как эффективный инструмент управления изменениями // Вестник Самарского муниципального института управления. 2024. № 3. С. 38–48.

² Официальный сайт LEAN VECTOR GROUР. Опыт. Режим доступа: https://leanvector.ru/experience/?categories=20&sfera_cases=%D0%9E%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5 (дата обращения 27.09.2024).

вузов России¹. Таким образом, из 722 образовательных организаций высшего образования² и 3200 организаций среднего профессионального образования³ не более 50 организаций (1,3 %) оснащены Лин-лабораториями и имеют возможность обучать студентов с применением симуляторов «Фабрики процессов». Количество Лин-лабораторий со временем увеличивается, но темпы более чем умеренные (не более 5 лабораторий в год)⁴. При этом наблюдается рост интереса к Лин-лабораториям со стороны колледжей. Во-первых, дисциплина «Бережливое производство» вошла в образовательные программы среднего профессионального образования в качестве основной. Во-вторых, одноименная компетенция проверяется в рамках всероссийского конкурса профессионального мастерства «Профессионалы»⁵.

Подводя итог, следует отметить, что при высокой освещенности в литературе перспективных подходов к обучению традиционные лекции и практические занятия остаются основной формой обучения бережливому производству в вузах России. В данном исследовании демонстрируется эффективность обучения для студентов различных технических и экономических направлений подготовки в форме «Фабрики процессов», что может заинтересовать коллег опробовать технологию «Фабрики процессов» в собственной практике.

Методология, материалы и методы

Основными методами исследования в данной статье являются, во-первых, общенаучные методы анализа и синтеза литературных источников по теме исследования за определенный период времени, а также документов, описывающих форматы обучения студентов высших учебных заведений. Во-вторых, методы педагогического исследования, такие как включенное наблюдение, оценка освоения компетенций путем тестирования, командных соревнований (организации чемпионатов по повышению производительности труда) и анкетирование.

Сбор данных для литературного обзора осуществлялся через информационные ресурсы ResearchGate, РИНЦ по следующим ключевым словам: «бережливое производство», «обучение бережливому производству», «бизнес-симуляторы», «фабрики процессов», «lean management», «lean manufacturing»,

¹ Официальный сайт Ассоциации бережливых вузов. Режим доступа: <https://assocbv.ru/members.php> (дата обращения: 27.09.2024).

² Образование в цифрах: 2023: краткий статистический сборник / Т. А. Варламова, Л. М. Гохберг, О. К. Озерова [и др.]. М.: ИСИЭЗ ВШЭ; 2023. 132 с.

³ Материалы Регионального этапа чемпионата «Профессионалы» и Чемпионата высоких технологий по компетенции «Бережливое производство». Режим доступа: <https://tpt.tom.ru/news-and-events/regionalnyj-jetap-chempionata-professionalny-i-chempionata-vysokih-tehnologij-po-kompetencii-berezhlivoe-proizvodstvo/> (дата обращения 30.09.2024).

⁴ Официальный сайт LEAN VECTOR GROUP. Опыт. Режим доступа: https://leanvector.ru/experience/?cat_cases=20&sfera_cases=%D0%9E%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5 (дата обращения 27.09.2024).

⁵ Материалы Регионального этапа чемпионата «Профессионалы» и Чемпионата высоких технологий по компетенции «Бережливое производство». Режим доступа: <https://tpt.tom.ru/news-and-events/regionalnyj-jetap-chempionata-professionalny-i-chempionata-vysokih-tehnologij-po-kompetencii-berezhlivoe-proizvodstvo/> (дата обращения 30.09.2024).

«lean production», «learning lean manufacturing», «learning lean production». В целях формирования списка наиболее актуальных и востребованных статей поиск ограничивался периодом 2015–2023 годы, публикации ранжировались по убыванию количества цитирований статей.

Анализ практических результатов осуществлялся на примере обучения студентов Новосибирского государственного технического университета (НГТУ). Выбор данного университета обоснован тем, что в данном учебном заведении с 2017 года запущена первая за Уралом специализированная Лин-лаборатория. Одновременно в учебных планах образовательных программ технических и управленческих направлений подготовки появилась дисциплина «Экономика и управление производственными системами», в рамках которой студенты осваивают инструменты и методы бережливого производства.

С 2017 года в НГТУ обучение бережливому производству является обязательным для студентов 7 факультетов: механико-технологического (МТФ), физико-технического (ФТФ), летательных аппаратов (ФЛА), автоматики и вычислительной техники (АВТФ), прикладной математики и информатики (ФПМИ), радиотехники и электроники (РЭФ), бизнеса (ФБ). Ежегодно более 50 учебных групп (общей численностью не менее 850 человек) осваивают компетенции бережливого производства в рамках указанной дисциплины.

В программу дисциплины входят лекции и лабораторные работы. Исследовательский интерес представляет тот факт, что все студенты слушают традиционные лекции, а форматы проведения лабораторных работ на факультетах различаются. Условно выделены три группы.

В первую группу входят студенты, лабораторные работы которых проводятся в активном формате на практических примерах, но в обычных аудиториях с применением кейсовых заданий. Это студенты ФТФ, АВТФ, ФПМИ, РЭФ, их доля составляет 58–59 %.

Во вторую группу входят студенты, выполняющие лабораторные работы на базе Лин-лаборатории НГТУ, в которой воссоздан производственный процесс сборки топливных насосов для КамАЗа. Инструменты и подходы, изучаемые на лекциях (картирование потока создание ценности, диаграмма Ямазуми, рациональная организация рабочих мест 5С, стандартизация и визуализация процессов, быстрая переналадка (SMED) и многое другое), отрабатывают на «Фабрике» в процессе симуляции. Это студенты МТФ, ФЛА и ФБ. Они составляют около 40 % от общего числа обучающихся.

Третья группа является экспериментальной и составляет не более 2 % от общей численности студентов, выбранных случайным образом. Они проходят обучение на базе Лин-лаборатории НГТУ, но не в учебных группах по расписанию на протяжении семестра, а в составе групп слушателей курсов повышения квалификации. Обучение организовано в формате интенсивного тренинга (2 дня по 8 часов). Как правило, основу группы составляют команды сотрудников отдельного предприятия от 5 до 8 человек. Вторая часть группы – 5–7 студентов 2–3 курсов обучения.

Основное допущение исследования заключается в том, что до начала обучения бережливому производству между студентами различных групп и факультетов нет принципиальных различий по общему образовательному рейтингу и уровню жизненной активности. Абсолютное большинство студентов не изучали бережливое производство ранее и не сталкивались с практическим его применением на предприятиях реального сектора экономики.

Рассматриваемые группы многочисленны (за исключением третьей, формируемой случайным образом) – общим числом 850 человек в год и более 5100 человек за весь период исследования. В учебных планах ни одной из образовательных программ нет других дисциплин, связанных с бережливым производством. Данная дисциплина изучается на 2–3 курсе, до начала производственной практики, что позволяет авторам сделать указанное допущение.

Бережливые компетенции в данном исследовании рассматриваются как составляющие кластера компетенций «мышление и решение проблем» – одного из 10 кластеров компетенций будущего [33; 34]. В этой связи целесообразно отдельно оценивать знания, умения и навыки решения проблем, а также сформированность критического мышления, направленного на поиск корневых причин этих проблем – бережливого мышления.

Для оценки сформированности компетенций у студентов применялись следующие методы:

1. Тестирование. Реализуется через систему электронного обучения НГТУ Dispace 2.0. Система обеспечивает выборку 20 вопросов из 200 возможных в заданной пропорции по темам. Основные темы: история развития бережливого производства, основные понятия бережливого производства, картирование потока создания ценности, система непрерывных улучшений кайдзен и цикл PDCA, инструменты анализа и решения проблем, инструменты бережливого производства (5C, TPM, SMED, инструменты повышения качества и др.). Тест состоит из практической и теоретической частей. В структуру теста входят открытые и закрытые вопросы с одним или несколькими правильными ответами. Тест является основным инструментом проведения аттестации по дисциплине, его выполняют все студенты в конце курса.

2. Командное соревнование. Студенты формируют сборные команды от факультетов и соревнуются за звание лидеров производительности НГТУ, применяя свои знания и навыки в рамках конкурсных заданий на фабрике процессов. Чемпионат проводится в конце каждого учебного года. В нем принимают участие не менее 10 % студентов, прошедших обучение по дисциплине. Результаты оцениваются отдельно в двух номинациях. В номинации «Дебютанты» соревнуются представители первой группы (не занимавшиеся ранее в Лин-лаборатории), в номинации «Профессионалы» – представители 2 и 3 групп.

3. Анкетирование. Анкетный опрос также реализуется через информационную систему НГТУ, проводится через 0,5–1 год после прохождения обучения

по дисциплине. Его задачей является сбор обратной связи о применении инструментов и методов бережливого производства в реальной жизни.

Для оценки знаний по бережливому производству все студенты проходили теоретическую часть тестирования. Примеры вопросов:

Какое определение понятия «ценность» наиболее полно отражает его суть? Выберите один наиболее полный ответ.

Набор определенных характеристик и качеств продукта, за которую потребитель готов заплатить названную цену

Набор определенных характеристик и качеств продукта, которые имеют наименьшую производственную себестоимость

Набор определенных характеристик и качеств продукта, реализация которого принесет компании наибольшую прибыль

Какие семь видов потерь предложил использовать Т. Оно? Выберите все правильные ответы.

Брак

Лишние движения

Излишние перемещения

Излишняя обработка

Излишнее оборудование

Ожидание

Перепроизводство

Неиспользуемый человеческий потенциал

Излишние запасы

Излишние переживания

Излишние расходы

Сформированность умений и навыков проверялась практической частью теста (проходят все студенты), а также подтверждалась в рамках ежегодного чемпионата по производительности труда.

Тестовые задания практической части в большинстве своем представлены открытыми вопросами. Например, «Приведите пример процесса, который вы регулярно реализуете в собственной жизни. Разделите его на 3–5 последовательных действий, определите возможные потери, связанные с каждым из действий, предложите способы их устранения (дайте развернутый ответ)».

В чемпионате принимают участие не менее 10 % студентов, прошедших курс «Экономика и управление производственными системами». Цель конкурса не меняется – выполнить задание качественно и быстрее остальных команд. Но в зависимости от задачи, выбранной в конкретном году, студентам могут понадобиться различные инструменты бережливого производства: рациональная организация рабочего места по 5С, стандартизация, внедрение Рока-Йоке («защиты от дурака»), быстрой переналадки (SMED), системы управления запасами («супермаркета») и т. д.

Команды выполняют задания последовательно изолированно друг от друга в присутствии не менее двух экспертов и/или с видеотекстовой фиксацией. Оценка

результатов производится по количественным критериям: количество выполненных годных изделий, время выполнения заказа, стоимость затраченных ресурсов. Ключевым критерием является выполнение заказа в срок (например, собрать 10 топливных насосов за 15 минут). Из команд, которые выполнили это условие, победителем считается та, которая затратила наименьшее количество ресурсов, т. е. выполняла задание меньшим количеством участников, на меньшей площади, не накапливала запасы, не тратила ресурсы на производство бракованной продукции.

3. Для оценки формирования бережливого мышления и приверженности ценностям, а также получения обратной связи была разработана анкета, вопросы которой разделены на три блока:

1) использование принципов и инструментов бережливого производства в текущих учебных и внеучебных процессах. Например, начали ли студенты подмечать потери в своих действиях и исключать их, стали ли они более внимательно относиться к выделению приоритетных задач и выявлению причин тех или иных проблем, пересматривают ли организацию рабочего места и т. д.;

2) определение сфер деятельности, в которых студенты начали применять бережливые принципы;

3) влияние принципов бережливости на развитие профессиональной траектории студента. В том числе при выборе места прохождения производственной практики и трудоустройства обращают ли они внимание на то, как развивается производственная система предприятия? Имеет ли значение, что предприятие является участником Национального проекта «Производительность труда», локально внедряет отдельные элементы, существует ли в принципе в организации отдел развития?

Считаем, что указанные методы позволяют выявить, основные подходы к обучению бережливому производству и оценить их эффективность при формировании знаний, умений и навыков применения инструментов на учебных примерах и в реальной жизни студентов различных направлений профессиональной подготовки.

Результаты исследования

Результат сформированности бережливых компетенций, как указано выше, оценивался по трем параметрам:

1. Теоретические знания (теоретическая часть тестирования).
2. Практические умения и навыки (практическая часть тестирования).
3. Формирование бережливого мышления и приверженность ценностям.

Общий анализ результатов тестирования на сформированность знаний, умений и навыков показал, что 98 % студентов вне зависимости от формы проведения лабораторных занятий получили необходимые базовые знания по бережливому производству и были аттестованы по дисциплине «Экономика и управление производственными системами». Структура распределения результатов тестирования студентов представлена на рис. 1.

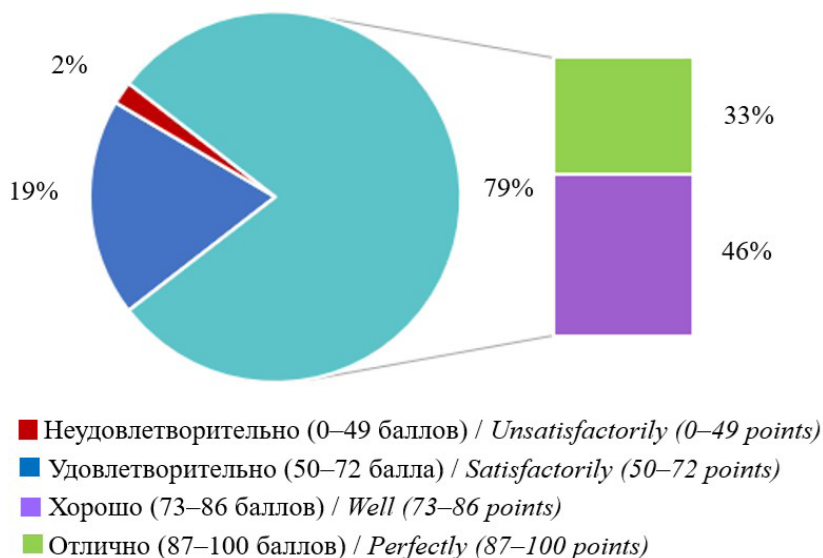


Рис. 1. Распределение результатов тестирования студентов

Fig. 1. Distribution of students' test results

Таким образом, 79 % студентов прошли тест (включающий теоретическую и практическую части) на хорошо и отлично.

Рассмотрим второй элемент оценивания сформированности компетенций по бережливому производству. Анализ результатов трех чемпионатов показал, что вторая и третья группы, проходившие лабораторные занятия в Лин-лаборатории НГТУ, достигают лучших результатов в конкурсных заданиях.

Рассмотрим стандартное задание, заключающееся в том, чтобы собрать 10 годных топливных насосов за 15 минут. Комиссией оцениваются следующие количественные показатели: количество собранных годных насосов, время выполнения задания, затраты на персонал, занятый в процессе, аренду помещения и комплектующие. Для выполнения задания командам дается 3 попытки. Количественные результаты лучшей попытки фиксируются в турнирный лист.

Наблюдения показали, что с первой попытки 2 из 7 команд не успевают собрать ни одного насоса, 4 из 7 команд собирают только один насос (и у половины он выполнен с браком) и только 1 из 7 команд собирает от двух до четырех насосов. Полностью выполнить задание с первой попытки не удалось никому независимо от формата обучения. С третьей попытки 3/4 команд 2-й и 3-й групп (занимавшихся в Лин-лаборатории ранее) выполняют заказ вовремя, победителя определяют по минимальному объему затраченных ресурсов. В 1-й группе, присутствующей в Лин-лаборатории НГТУ впервые, этот показа-

тель значительно ниже. Только одной из четырех команд «дебютантов» в каждом из трех ежегодных чемпионатов удавалось выполнить задание в срок, оптимизация используемых ресурсов при этом наблюдалась минимальная. Команды из 2-й и 3-й групп существенно оптимизируют ресурсы. Например, количество «сотрудников» снижается с 10 до 5–7 человек. Объем запасов в денежном выражении сокращается со 130 до 37–45 условных денежных единиц.

На основе результатов работы студентов на бизнес-симуляторе «Фабрика процессов», отметим, что они формируют следующие компетенции:

- 1) анализ процессов и поиск возможностей для улучшения посредством устранения потерь;
- 2) оптимизация работы и уменьшение временных затрат;
- 3) работа в команде и эффективное использование потенциала каждого участника;
- 4) разработка и стандартизация системы контроля процессов и ресурсов;
- 5) автоматизация рутинных задач для экономии времени и исключения ошибок;
- 6) поиск новых технологий и инструментов, их использование для оптимизации процессов;
- 7) совершенствование работы по устранению ненужных процессов и потерь.

Итак, студенты, изучавшие бережливое производство в Лин-лаборатории НГТУ, более рационально и осознанно применяют освоенные инструменты для выполнения заданий в условиях, приближенных к реальным рабочим местам, что позволяет им максимально сократить потери и одновременно качественно выполнить заказ. Наблюдения показали, что они быстрее адаптируются к задаче, предлагают больше идей улучшений процесса и не боятся тестировать разные варианты.

Третий элемент оценивания бережливых компетенций – анкетирование, направленное на оценку сформированности бережливого мышления и приверженности ценностям, – показал, что только в третьей группе абсолютное большинство (более 90 %) приняли ценности и начали применять их в повседневной жизни. Именно эти студенты при выборе места практики и дальнейшего трудоустройства обращают внимание на то, как развивается производственная система предприятия, внедряется ли бережливое производство.

Во второй группе только 15 % студентов принимают принципы и начинают активно применять их на практике. В первой группе этот процент еще ниже – не более 5 % обучающихся.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что совокупность традиционных пассивных и активных методов обучения позволяет сформировать знания по бережливому производству. Вне зависимости от формы обучения 98 % студентов справились с тестированием. Чемпионаты, на которых студенты имели возможность не только рассказать, но и показать свое мастерство, подтвердили гипотезу о том, что образовательный инструмент бизнес-симулятор

«Фабрика процессов» позволяет лучше развивать умения и навыки применения инструментов бережливого производства, чем традиционные методы. Попадая в условия, приближенные к реальным рабочим местам, обучающиеся быстрее погружаются в проблематику, лучше усваивают особенности тех или иных подходов, начинают мыслить критически, генерировать больше вариантов решения задачи и не боятся тестировать их.

Важным исследовательским вопросом также являлось предположение об универсальности рассматриваемых форматов обучения для различных технических и экономических направлений подготовки. Любопытной с этой точки зрения является 2-я группа, в которую входят студенты факультетов бизнеса, летательных аппаратов, механико-технологического факультета, обучающиеся по 21 направлению подготовки 13 укрупненных групп специальностей (УГС). Примеры участвующих УГС: экология и природопользование, машиностроение, физико-технические и химические технологии, техника и технология наземного транспорта, авиационная и ракетно-космическая техника, экономика и управление и др.

Анализ результатов тестирования, анкетирования, соревнований и включенное наблюдение подтвердили универсальность применения рассмотренных форм обучения для студентов различных направлений подготовки. В частности, средний балл по теоретическому тестированию в различных группах колеблется от 80 до 85 баллов из 100 возможных. Победителями соревнований в разные годы становились команды различных факультетов и направлений подготовки. За рассматриваемый период переходящий кубок побывал в деканатах каждого из факультетов.

Включенное наблюдение позволило сделать вывод о высокой включенности студентов всех направлений в процесс симуляции. При этом разные профессиональные группы в одном и том же процессе выделяют для себя разные специфические моменты. Например, студенты – технологи машиностроительного производства и материаловеды большее внимание уделяют сокращению потерь, связанных с браком продукции. Будущие экологи и специалисты по техноферной безопасности – безопасности труда. Специалисты по управлению в технических системах – картированию потока создания ценности и расчету финансовых моделей. Взаимодействие студентов в межфакультетских командах позволяет получить наиболее полную, детализированную картину, выработать системные решения и развить «мягкие» социальные умения и навыки.

Обсуждение результатов

Результаты исследований показали, что в российских вузах и колледжах преимущественно (более 90 %) используют традиционные форматы обучения: лекции и практические занятия аудиторно или онлайн. Но их недостаточно для формирования устойчивых навыков применения инструментов и методов бережливого производства, мягких социальных умений, привычки к рацио-

нальному использованию ресурсов, регулярному внедрению позитивных изменений в бытовые и производственные процессы.

Одновременно эти умения, навыки и привычки необходимы современным выпускникам всех направлений технической, экономической подготовки и не только.

Повышение производительности труда крупных российских предприятий методами бережливого производства – одна из важнейших задач последних 7 лет, подкрепленная Национальным проектом «Производительность труда». В этой связи формирование и закрепление устойчивых навыков применения методов и инструментов бережливого производства – важная и актуальная задача.

Помимо этого, особое значение имеет выработка мягких социальных умений. Согласно исследованию НИУ ВШЭ, работодатели не всегда удовлетворены качеством выпускников вузов. Специалисты Высшей школы бизнеса провели опрос и проанализировали несоответствие между имеющимися знаниями и навыками и требованиями работодателей, а также молодых специалистов (выпускников вузов). По результатам опроса выявили, что 28,2 % выпускников испытывают дефицит мягких социальных навыков, 34,5 % ответили, что им необходимо улучшить как мягкие, так и жесткие навыки [3].

Широко применяемые традиционные активные и пассивные форматы формируют лишь общее представление. Для того чтобы студенты активно включались в производственные процессы, быстрее адаптировались, необходим принципиально иной подход. В современных условиях таким подходом является использование Лин-лабораторий и бизнес-симуляторов «Фабрик процессов» на их основе.

Бизнес-симуляторы «Фабрики процессов» заполняют пробелы традиционных подходов. Они способствуют тому, что студенты более рационально и осознанно применяют освоенные инструменты, быстрее адаптируются к задаче, предлагают больше идей улучшений процесса и не боятся тестировать разные варианты.

Таким образом, в ходе исследования подтверждена гипотеза о том, что бизнес-симулятор «Фабрика процессов», реализованный в лабораторных условиях (не в виртуальном пространстве) при групповом взаимодействии студентов, является наиболее эффективным из применяемых в современной практике форматом обучения бережливому производству.

Но и «Фабрики процессов» не являются панацеей. Как показали результаты исследования, бережливое мышление и приверженность к ценностям формируются лишь у 10,5 % от общего числа студентов всех групп. Только 1 из 10 студентов, обученных бережливому производству, начинает искать потери в собственных процессах, применять инструменты бережливого производства в повседневной жизни.

Опыт 3-й экспериментальной группы позволяет выдвинуть новую гипотезу о том, что реальные производственные условия воссоздаются не только материально-техническим оснащением Лин-лаборатории и реалистичным сценари-

ем симуляции, но и социальным взаимодействием с опытными сотрудниками. Вовлеченность сотрудников реальных предприятий в вопросы бережливости демонстрирует студентам реалистичность и эффективность предлагаемых инструментов. Как представляется, это повышает уровень доверия и стимулирует к тому, чтобы попробовать сформировать «бережливые» привычки.

В качестве рекомендаций для НГТУ и других вузов, реализующих обучение бережливому производству, предлагаем в тестовом режиме организовать экскурсии на предприятия, где применяются инструменты бережливого производства, для того чтобы дать возможность студентам понаблюдать за тем, как используются различные инструменты бережливого производства, такие как система канбан, стандартизированная работа, визуальное управление, 5С и другие. Важно, чтобы сотрудники завода или экскурсоводы сделали акцент на сферах применения инструментов бережливого производства и получаемых эффектах. Предполагаем, что это позволит сократить разрыв между теорией и практикой, повысить уровень доверия и мотивации к использованию подходов в собственной реальной практике. Включение студентов во время прохождения производственной практики на предприятиях в проекты улучшений, реализуемые в текущем режиме, также может усилить эффективность обучения бережливому производству.

Полученные данные коррелируют с результатами исследований различных ученых по всему миру. Например, О. McDermott в своих трудах особое внимание уделяет «Фабрикам процессов», подтверждает их эффективность и значимость [16]. Н. S. Tan Ivander с соавторами подчеркивают, что «Фабрики» позволяют формировать целостное представление о бизнес-процессах, развивать критическое мышление, самоорганизацию и самостоятельность в принятии решений, способствуют социальному взаимодействию в команде [18]. В отличие от данного исследования они не уделяют особое внимание формированию привычек, особого мышления, т. к. объектом их изучения являются не студенты, а сотрудники предприятий. Необходимость применения освоенных компетенций сотрудниками определяется кругом профессиональных задач и трудовой дисциплиной. Н. С. Давыдова в своих трудах [7; 27], напротив, особое внимание уделяет бережливому мышлению и даже вводит понятие бережливой личности.

Заключение

Образование становится катализатором изменений, направленных на сбережение энергии, воды и материалов, финансовых ресурсов, осознанное потребление и утилизацию отходов, а также минимизацию потерь. Формирование компетенций на основе знаний инструментов бережливого производства, развитие инженерного и технического образования играют важную роль, обеспечивая высокий уровень профессионализма у будущих специалистов.

Важно не только передавать теоретические знания, но и активно практиковать их в реальных бизнес-процессах. Обучение студентов бережливому

производству имеет множество преимуществ. Во-первых, они учатся понимать взаимосвязь между своими действиями и результатом. Во-вторых, они приобретают навыки экономии ресурсов, умение принимать осознанные инновационные решения для решения задач различных бизнес-процессов. Знание и применение на практике инструментов кайзен, канбан, 5С, цикла PDCA, SMED, TPM, JIT и других способствует формированию у будущих специалистов не только бережливого мышления, но и экологической культуры и ответственного отношения к окружающей среде. Наконец, в процессе квазипрофессиональной деятельности в ходе групповой работы формируются мягкие социальные умения и навыки.

В своей работе мы исследовали подходы и методы к формированию бережливых компетенций у студентов различных направлений технической и экономической подготовки. В результате исследования мы показали, что использование в образовании студентов университетов бизнес-симулятора «Фабрика процессов» позволяет сформировать не только знания, умения и навыки по основным принципам и алгоритмам применения инструментов бережливого производства у 98 % студентов, но и бережливое мышление у 10 % студентов. Низкий уровень сформированности бережливого мышления у студентов является допустимым. Бережливое мышление формируется через практические действия, приносящие пользу компании. Следовательно, можно говорить о том, что в ходе практического применения знаний, умений и навыков (при прохождении производственной практики или трудоустройстве) постепенно будет происходить формирование бережливого мышления, но это будет требовать дополнительных ресурсов от предприятий.

Мы считаем, что изменение подходов и содержания обучения студентов университетов является необходимым условием соответствия требованиям бизнеса и вызовам в современных условиях.

Список использованных источников

1. Маркова Н.А., Марков Д.А. Особенности процесса обучения в бережливом производстве. *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки*. 2018;11(5):129–141. doi:10.18721/JE.11512
2. Адова И.Б., Калошина Т.Ю. Человеческий капитал как основа эндогенного социально-экономического развития региона. *Креативная экономика*. 2022;16(2):787–802. doi:10.18334/се.16.2.114268
3. Рудаков В.Н., Чириков И.С., Рошин С.Ю., Дрожжина Д.С. *Учись, студент? Влияние успеваемости в вузе на заработную плату выпускников*. Москва: Издательский дом Высшей школы экономики; 2016. 37 с.
4. Рудаков В.Н., Чириков И.С., Рошин С.Ю., Дрожжина Д.С. Учись, студент? Влияние успеваемости в вузе на стартовую заработную плату выпускников. *Вопросы экономики*. 2017;3:77–102. doi:10.32609/0042-8736-2017-3-77-102
5. Варшавская Е.Я., Кабалина В.И., Подвербных У.С. Дефицит навыков выпускников вузов – исследование Высшей школы бизнеса ВШЭ. Режим доступа: <https://gsb.hse.ru/news/911723240.html> (дата обращения: 29.09.2024).

6. Хайруллина М.В. Актуальные вопросы реализации модели «наука – образование – производство» в контексте устойчивого развития региона. *Образование через всю жизнь: непрерывное образование в интересах устойчивого развития: материалы XVII международной конференции*; 26–28 сентября 2019 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный экономический университет; 2019:328–334. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41097595> (дата обращения: 11.06.2023).
7. Давыдова Н.С. *Бережливое управление в контексте спиральной динамики: бережливое звучание*. 2021. 45 с. Режим доступа: <https://www.litres.ru/book/nadezhda-davydova-24/berezhliovoe-upravlenie-v-kontekste-spiralnoy-dinamiki-64576232/chitat-onlayn/> (дата обращения: 15.07.2023).
8. Khandan R., Shannon L. The effect of teaching-learning environments on student's engagement with lean mindset. *Education Sciences*. 2021;11:466. doi:10.3390/educsci11090466
9. Netland T., Hines P. Teaching in virtual reality: experiences from a lean masterclass. In: Powell D.J., Alfne E., Holmemo M.D.Q., Reke E., eds. *Learning in the Digital Era. ELEC 2021. IFIP Advances in Information and Communication Technology: Vol. 610*. Cham: Springer; 2022:155–162. doi:10.1007/978-3-030-92934-3_16
10. Thiede B., Mindt N., Mennenga M., Herrmann C. Creating a hybrid multi-user learning experience by enhancing learning factories using interactive 3D-environments. In: *12th Conference on Learning Factories (CLF 2022)*. 2022. doi:10.2139/ssrn.4074712
11. Goh E., Jie F. To waste or not to waste: Exploring motivational factors of Generation Z hospitality employees towards food wastage in the hospitality industry. *International Journal of Hospitality Management*. 2019;80:126–135. doi:10.1016/j.ijhm.2019.02.005
12. Виниченко В.А., Ростовцев К.В., Хохолуш М.С. Влияние теории поколений на кадровую политику промышленных предприятий. *Экономика труда*. 2022;9(10):1559–1576. doi:10.18334/et.9.10.116371
13. Bonwell C.C., Eison J.A. Active learning: creating excitement in the classroom. *ASHE-ERIC Higher Education Report № 1*. Washington, DC: School of Education and Human Development, George Washington University; 1991. Accessed May 12, 2023. <https://eric.ed.gov/?id=ED336049>
14. Prashar A. Assessing the flipped classroom in operations management: a pilot study. *Journal of Education for Business*. 2015;90(3):126–138. doi:10.1080/08832323.2015.1007904
15. Cil I., Yusuf S. An ANP-based assessment model for lean enterprise transformation. *European Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2013;64(5-8):1113–1130. doi:10.1007/s00170-012-4047-x
16. McDermott O. The digitalisation and virtual delivery of lean six sigma teaching in an Irish university during COVID-19. In: Powell D.J., Alfnes E., Holmemo M.D.Q., Reke E., eds. *Learning in the Digital Era. ELEC 2021. IFIP Advances in Information and Communication Technology: Vol. 610*. Cham: Springer; 2022:132–143. doi:10.1007/978-3-030-92934-3_14
17. Callupe M., Rossi M. Learning spaces for engineering education: an exploratory research about the role of lean thinking. In: Powell D.J., Alfnes E., Holmemo M.D.Q., Reke E., eds. *Learning in the Digital Era. ELEC 2021. IFIP Advances in Information and Communication Technology: Vol. 610*. Cham: Springer; 2022:13–20. doi:10.1007/978-3-030-92934-3_2
18. Tan H.S., Ivander, Oktarina R., Reynaldo V., Sharina C. Conceptual development of learn-ing factory for industrial engineering education in Indonesia context as an enabler of students' competencies in industry 4.0 era. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;426(1):012123. doi:10.1088/1755-1315/426/1/012123
19. Bariuad S. 10 interactive training ideas. *SC Training Microlearning Blog*. Accessed September 27, 2024. <https://www.edapp.com/blog/10-interactive-training-ideas>
20. Hines P., Netland T.H. Teaching a Lean masterclass in the metaverse. *International Journal of Lean Six Sigma*. 2023;14(6):1121–1143. doi:10.1108/IJLSS-02-2022-0035

21. Хайруллина М.В., Кислицына О.А. Персонал в системе непрерывных улучшений производственных систем (инструмент Кайдзен). *Вопросы инновационной экономики*. 2019;9(2):607–618. doi:10.18334/rp.20.5.40640.
22. Dinero D. *Training Within Industry: The Foundation of Lean*. CRC Press, Boca Raton; 2005. doi:10.1201/b18692
23. Ротер М. *Тойота Ката. Лидерство, менеджмент и развитие сотрудников для достижения выдающихся результатов*. Санкт-Петербург: Питер; 2014. 304 с.
24. Лайкер Дж. *Дао Toyota: 14 принципов менеджмента ведущей компании мира*; пер. с англ. 10-е изд. Москва: Альпина; 2016. 400 с.
25. Harris G., Stone K.B., Mayeshiba T., Compton P.J., Farrington P.A. Transitioning from teaching lean tools to teaching lean transformation. *Journal of Enterprise Transformation*. 2014;4(3):191–204. doi:10.1080/19488289.2014.930545
26. Monetti F. M., Boffa E., de Giorgio A., Maffei A. The impact of learning factories on teaching lean principles in an assembly environment. In: Kim K.Y., Monplaisir L., Rickli J., eds. *Flexible Automation and Intelligent Manufacturing: The Human-Data-Technology Nexus. FAIM 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Cham: Springer; 2023:271–283. doi:10.1007/978-3-031-18326-3_27
27. Давыдова Н.С. *Путь бережливой личности. Особенности пути*. Режим доступа: <https://www.litres.ru/book/nadezhda-davydova-24133753/put-berezhlivoy-lichnosti-osobennosti-puti-56934283/chitat-onlayn/> (дата обращения 25.07.2023).
28. Aqlan F., Walters E.G., Teaching lean principles through simulation games. *Paper presented at 2017 ASEE Annual Conference & Exposition*. Columbus, Ohio; 2017. doi:10.18260/1-2-28921
29. Головина О.Д., Воробьева О.А. Возможности внедрения модели управления изменениями Дж. Коттера в проектный менеджмент организации. *Вестник Удмуртского университета. Серия Экономика и право*. 2022;32(5):805–810. doi:10.35634/2412-9593-2022-32-5-805-810
30. Руднев Е.А. Динамика изменений: классика и современность. *Инновационные проекты и программы в образовании*. 2020;5(71):57–66. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44784441> (дата обращения 27.07.2023).
31. Пивовар Б. Управление изменениями в образовании. Теория и практика. *Образовательная политика*. 2020;2(82):86–99. doi:10.22394/2078-838X-2020-2-86-98
32. Mahmudah F.N., Baswedan A.A.-G.R., Usman H., Mardapi D., Putra E.C.S. The importance of partnership management to improve school-to-work transition readiness among vocational high school graduates. *Obrazovanie i nauka = The Education and Science Journal*. 2022;24(5):64–89. doi:10.17853/1994-5639-2022-5-64-89
33. Borisova A., Khayrullina M., Kirichenko E. Corporate and project Master's degree program: a new format of interaction between business and university. In: *ACM International Conference Proceeding Series. 4. Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference "Digital Economy and Finances"*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery; 2021:77. doi:10.1145/3487757.3490930
34. Безручко П., Шатров Ю., Максимова М. Компетенции неясного будущего. *Harvard Business Review Россия*. Режим доступа: <https://hbr-russia.ru/karera/professionalnyy-i-lichnostnyy-rost/p26131> (дата обращения: 11.08.2023).

References

1. Markova N.A., Markov D.A. Features of the learning process in lean production. *Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. Jekonomicheskie nauki = Scientific and Technical Vedomosti SPbSPU. Economic Sciences*. 2018;11(5):129–141. (In Russ.) doi:10.18721/JE.11512

2. Adova I.B., Kaloshina T.Yu. Human capital as the basis of endogenous socio-economic development of the region. *Kreativnaja jekonomika = Creative Economy*. 2022;16(2):787–802. (In Russ.) doi:10.18334/ce.16.2.114268
3. Rudakov V.N., Chirikov I.S., Roshchin S.Y., Drozhzhina D.S. *Uchis', student? Vlijanie uspevaemosti v vuze na zarabotnuyu platu vypusknikov = Study, Student? Influence of Academic Achievement in Higher Education on the Salary of Graduates*. Moscow: Higher School of Economics; 2016. 37 p. (In Russ.)
4. Rudakov V.N., Chirikov I.S., Roshchin S.Y., Drozhzhina D.S. The impact of academic achievement on starting wages of Russian university graduates. *Voprosy Ekonomiki*. 2017;(3):77–102. (In Russ.) doi:10.32609/0042-8736-2017-3-77-102
5. Varshavskaya E.Ya., Kabalina V.I., Podverbykh U.S. *Deficit navykov vypusknikov vuzov – issledovanie Vysshej shkoly biznesa VShJe = Deficiency of Skills of University Graduates – a Study of the Higher School of Business Higher School of Economics*. (In Russ.) Accessed September 29, 2024. <https://gsb.hse.ru/news/911723240.html>
6. Khairullina M.V. Actual issues of realization of the model “science – education – production” in the context of sustainable development of the region. In: *Education through Life: Lifelong Learning for Sustainable Development. Proceedings of the XVII International Conference*; September 26–28, 2019. St. Petersburg: St. Petersburg State University of Economics; 2019:328–334. (In Russ.) Accessed June 11, 2023. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41097595>
7. Davydova N.S. *Berezhlivoe upravlenie v kontekste spiral'noj dinamiki: Berezhlivoe zvuchanie = Lean Management in the Context of Spiral Dynamics: Lean Sound*. 2021. 60 p. (In Russ.) Accessed July 15, 2023. <https://www.litres.ru/book/nadezhda-davydova-24/berezhlivoe-upravlenie-v-kontekste-spiralnoy-dinamiki-64576232/chitat-onlayn/>
8. Khandan R., Shannon L. The Effect of teaching-learning environments on student's engagement with lean mindset. *Education Sciences*. 2021;11:466. doi:10.3390/educsci11090466
9. Netland T., Hines P. Teaching in virtual reality: experiences from a lean masterclass. In: Powell D.J., Alfne E., Holmemo M.D.Q., Reke E., eds. *Learning in the Digital Era. ELEC 2021. IFIP Advances in Information and Communication Technology: Vol. 610*. Cham: Springer; 2022:155–162. doi:10.1007/978-3-030-92934-3_16
10. Thiede B., Mindt N., Mennenga M., Herrmann C. Creating a hybrid multi-user learning experience by enhancing learning factories using interactive 3D environments. In: *12th Conference on Learning Factories (CLF 2022)*. 2022. NY: Rochester; 2022. doi:10.2139/ssrn.4074712
11. Goh E., Jie F. To waste or not to waste: exploring motivational factors of Generation Z hospitality employees towards food wastage in the hospitality industry. *International Journal of Hospitality Management*. 2019;80:126–135. doi:10.1016/j.ijhm.2019.02.005
12. Vinichenko V.A., Rostovtsev K.V., Khokholush M.S. Influence of the theory of generations on the personnel policy of industrial enterprises. *Jekonomika truda = Labor Economics*. 2022;9(10):1559–1576. (In Russ.) doi:10.18334/et.9.10.116371
13. Bonwell C.C., Eison J.A. *Active learning: creating excitement in the classroom. ASHE-ERIC Higher Education Report № 1*. Washington, DC: School of Education and Human Development, George Washington University; 1991. Accessed May 12, 2023. <https://eric.ed.gov/?id=ED336049>
14. Prashar A. Assessing the flipped classroom in operations management: a pilot study. *Journal of Education for Business*. 2015;90(3):126–138. doi:10.1080/08832323.2015.1007904
15. Cil I., Yusuf S. An ANP-based assessment model for lean enterprise transformation. *European Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2013;64(5-8):1113–1130. doi:10.1007/s00170-012-4047-x
16. McDermott O. The digitalisation and virtual delivery of lean six sigma teaching in an Irish university during COVID-19. In: Powell D.J., Alfnes E., Holmemo M.D.Q., Reke E., eds. *Learning in the*

- Digital Era. ELEC 2021. IFIP Advances in Information and Communication Technology: Vol. 610.* Cham: Springer; 2022:132–143. doi:10.1007/978-3-030-92934-3_14
17. Callupe M., Rossi M. Learning spaces for engineering education: an exploratory research about the role of lean thinking. In: Powell D.J., Alfnes E., Holmemo M.D.Q., Reke E., eds. *Learning in the Digital Era. ELEC 2021. IFIP Advances in Information and Communication Technology: Vol. 610.* Cham: Springer; 2022:13–20. doi:10.1007/978-3-030-92934-3_2
 18. Tan Ivander H.S., Oktarina R., Reynaldo V., Sharina C. Conceptual development of learn-ing factory for industrial engineering education in Indonesia context as an enabler of students' competencies in industry 4.0 era. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2020;426(1):012123. doi:10.1088/1755-1315/426/1/012123
 19. Bariuad S. 10 interactive training ideas. *SC Training Microlearning Blog.* Accessed September 27, 2024. <https://www.edapp.com/blog/10-interactive-training-ideas>
 20. Hines P., Netland T.H. Teaching a Lean masterclass in the metaverse. *International Journal of Lean Six Sigma.* 2023;14(6):1121–1143. doi:10.1108/IJLSS-02-2022-0035
 21. Khairullina M.V., Kislitsyna O.A. Personnel in the system of continuous improvement of production systems (Kaizen tool). *Voprosy innovatsionnoy ekonomiki = Russian Journal of Innovation Economics.* 2019;9(2):607–618. (In Russ.) doi:10.18334/rp.20.5.40640
 22. Dinero D. *Training Within Industry: The Foundation of Lean.* CRC Press, Boca Raton; 2005. doi:10.1201/b18692
 23. Rother M. *Tojota Kata. Liderstvo, menedzhment i razvitie sotrudnikov dlja dostizhenija vydajushhihsja rezul'tatov = Toyota Kata: Managing People for Improvement, Adaptiveness and Superior Results.* St. Petersburg: Publishing House Piter; 2014. 304 p. (In Russ.)
 24. Liker J. *Dao Toyota: 14 principov menedzhmenta vedushhej kompanii mira = The Toyota Way, 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer.* Translated from English. 10th ed. Moscow: Publishing House Alpina; 2016. 400 p. (In Russ.)
 25. Harris G., Stone K.B., Mayeshiba T., Compton P.J., Farrington P.A. Transitioning from teaching lean tools to teaching lean transformation. *Journal of Enterprise Transformation.* 2014;4(3):191–204. doi:10.1080/19488289.2014.930545
 26. Monetti F. M., Boffa E., de Giorgio A., Maffei A. The impact of learning factories on teaching lean principles in an assembly environment. In: Kim K.Y., Monplaisir L., Rickli J., eds. *Flexible Automation and Intelligent Manufacturing: The Human-Data-Technology Nexus. FAIM 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering.* Cham: Springer; 2023:271–283. doi:10.1007/978-3-031-18326-3_27
 27. Davydova N.S. *Put' berezhливой lichnosti. Osobennosti puti = The Path of a Thrifty Personality. Features of the Path.* 2020. (In Russ.) Accessed July 25, 2023. <https://www.litres.ru/book/nadezhda-davydova-24133753/put-berezhливой-lichnosti-osobennosti-puti-56934283/chitat-onlayn/>
 28. Aqlan F., Walters E.G. Teaching lean principles through simulation games. In: *Proceedings of 2017 ASEE Annual Conference & Exposition.* Columbus, Ohio; 2017. doi:10.18260/1-2-28921
 29. Golovina O.D., Vorobyeva O.A. Possibilities of implementing the model of change management J. Kotter in project management of the organization. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Ekonomika i pravo = Bulletin of Udmurt University. History and Philology Series.* 2022;32(5):805–810. (In Russ.) doi:10.35634/2412-9593-2022-32-5-805-810
 30. Rudnev E.A. Dynamics of change: classics and modernity. *Innovacionnye proekty i programmy v obrazovanii = Innovative Projects and Programs in Education.* 2020;5(71):57–66. (In Russ.) Accessed July 27, 2023. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44784441>
 31. Pivovarov B. Change management in education. Theory and practice. *Obrazovatel'naja politika = Educational Policy.* 2020;2(82):86–99. (In Russ.) doi:10.22394/2078-838X-2020-2-86-98
 32. Mahmudah F.N., Baswedan A.A.-G.R., Usman H., Mardapi D., Putra E.C.S. The importance of partnership management to improve school-to-work transition readiness among vocational high

- school graduates. *Obrazovanie i nauka = The Education and Science Journal*. 2022;24(5):64–89. doi:10.17853/1994-5639-2022-5-64-89
33. Borisova A., Khayrullina M., Kirichenko E. Corporate and project Master's degree program: a new format of interaction between business and university. In: *ACM International Conference Proceeding Series. 4. Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference "Digital Economy and Finances"*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery; 2021:77. doi:10.1145/3487757.3490930
34. Bezruchko P., Shatrov Yu., Maksimova M. Competencies of the unclear future. *Harvard Business Review Russia* (In Russ.) Accessed August 11, 2023. <https://hbr-russia.ru/karera/professionalnyy-i-lichnostnyy-rost/p26131>

Информация об авторах:

Спиридонова Екатерина Владимировна – кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента Новосибирского государственного технического университета, Новосибирск, Российская Федерация; ORCID 0000-0002-8130-1571. E-mail: ekaterina-uvarova@yandex.ru

Калошина Татьяна Юрьевна – кандидат социологических наук, доцент, доцент кафедры менеджмента Новосибирского государственного технического университета, Новосибирск, Российская Федерация; ORCID 0000-0002-7694-8928. E-mail: kaloshinatu@mail.ru

Вклад соавторов. Авторы внесли равнозначный вклад в сбор эмпирического материала представленного исследования, обработку данных, написание текста статьи.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 17.09.2023; поступила после рецензирования 27.11.2024; принята в печать 15.01.2025.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Ekaterina V. Spiridonova – Cand. Sci. (Economics), Associate Professor, Department of Management, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation; ORCID 0000-0002-8130-1571. E-mail: ekaterina-uvarova@yandex.ru

Tatiana Yu. Kaloshina – Cand. Sci. (Sociology), Associate Professor, Department of Management, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation; ORCID 0000-0002-7694-8928. E-mail: kaloshinatu@mail.ru

Contribution of the authors. The authors contributed equally to the collection of empirical material of the presented study, data processing, and writing the text of the article.

Conflict of interest statement. The authors declare that there is no conflict of interest.

Received 17.09.2023; revised 27.11.2024; accepted 15.01.2025.

The authors have read and approved the final manuscript.