

В.К. Николаев, А.А. Скворцов

Принципы пространственного развития кампуса предпринимательского университета

УДК: 37.014.53, 378.161.2, 378.161.3, 378.162.33

Аннотация. Статья посвящена исследованию принципов успешной пространственной организации образовательного и исследовательского процессов современного университета предпринимательского типа, ориентированной на привлечение талантливой молодежи и ведущих ученых со всего мира, проведение научных исследований и формирование стратегического инновационного ядра территории присутствия. Цель исследования – представить обобщенную, оптимальную картину организации пространственно-архитектурной среды университета предпринимательского типа в условиях нашей страны. В качестве эмпирического материала использовались данные мониторинга деятельности организаций высшего образования, статистики, а также материалы рейтинговых агентств, ведущих российских и зарубежных университетов об особенностях развития кампусных систем ведущих университетов.

Ключевые слова: предпринимательский университет; университетский кампус; кампусная инфраструктура; архитектурно-пространственная организация; цифровой университет; образовательное и исследовательское пространство вуза; кампусная политика; ландшафт; коммуникационное пространство; открытая инфраструктура и среда вуза; трансформируемые аудитории; исследовательские лаборатории; рекреационные зоны

«Сначала мы формируем наши здания,
а потом наши здания формируют нас».
Уинстон Черчилль

Введение

Формирование национальной и региональной инновационной системы сегодня является одной из важнейших задач экономической политики государства. Неотъемлемый элемент этой системы – университет нового поколения, готовящий инновационно ориентированных специалистов, создающий различного рода инновационные продукты, услуги и объекты интеллектуальной

собственности в тесной кооперации с промышленными предприятиями. Исследуя сущностные характеристики университета нового поколения, российские и зарубежные ученые нередко используют термины «инновационный», «исследовательский», «предпринимательский», «постнеклассический», или «Университет 3.0».

Важную роль в формировании нового типа университета играет пространственная, инфраструктурная и архитектурная организация университетского кампуса, совершенствование которой в последние годы стало предметом стратегии развития российских вузов. Знакомство с основными тенденциями успешного построения кампуса такого университета позволит им создать оптимальное пространство для проектного и междисциплинарного обучения мультифункциональных команд, нацеленных на увеличение научно-исследовательских разработок университета, способствующих социально-экономическому развитию региона присутствия.

Нами была выдвинута гипотеза, что образовательные стратегии, реализуемые в модели университета нового типа, предъявляют особые требования к структуре, формам, параметрам и функциональному наполнению образовательного пространства кампуса. В качестве глобальных трендов и стратегий развития, влияющих на процесс формирования образовательной среды современного университета, можно выделить следующие: цифровизация, виртуализация и геймификация образования, кейсовые и проблемные методы обучения, модульная система, позволяющая выстраивать индивидуальную по содержанию, методам и темпу стратегию обучения, формирование навыков и компетенций работы в команде в рамках междисциплинарного проектного подхода, тесное сотрудничество с индустриальными и бизнес-партнерами.

Для проверки гипотезы была поставлена *цель исследования* – выявить основные функциональные и пространственные составляющие кампусной инфраструктуры, обеспечивающие устойчивое развитие университета предпринимательского типа. Полученные данные и сделанные на их основе выводы и рекомендации можно использовать для разработки методологических принципов пространственной организации таких кампусов,

а также при формировании стратегий и программ развития университетских комплексов нового типа в условиях нашей страны.

Теоретические и эмпирические рамки исследования

Провозглашение в России курса на инновационную модель развития изменило не только подход к государственной научно-технологической политике. В новой парадигме университеты приобретают особую значимость и становятся драйверами роста национальной экономики за счет воспроизводства и повышения качества человеческого капитала, генерации новых знаний и их коммерциализации [Карпов, 2017; Паникарова и др., 2020; Egorov et al., 2017; Кларк, 2011]. Участие университетов в реализации инновационной модели развития национальной экономики осуществляется через их тесное взаимодействие с индустриальным сектором и бизнесом с целью создания продуктов и услуг мировой новизны и получения дохода от их реализации. Именно в этом контексте возникла концепция «Университета 3.0», предполагающая выполнение вузами образовательных и научно-исследовательских функций в сочетании с предпринимательской деятельностью.

Основными элементами, отражающими сущностную характеристику новой формы университета, являются¹:

- наличие в вузе пула научно-исследовательских разработок, инновационных решений, продуктов и проектных идей, логично встроенных в существующие технологические тренды и подлежащих коммерциализации;
- взаимодействие с высокотехнологичными индустриальными партнерами, бизнесом и государством;
- обновление образовательных программ в соответствии с меняющимися требованиями к компетенциям кадров, сформулированными работодателями и отраслевыми экспертами;
- реализация новых образовательных технологий: проектная ориентация, проблемное обучение, модульная структура курсов, виртуализированные кейс-технологии и пр.

Модель университета предпринимательского типа широко распространена и изучена в западных странах и реализуется в Гарвардском, Йельском, Стэнфордском университетах,

¹ Составлено по [Карпов, 2017; Кларк, 2011; Bercovitz, Feldman, 2006; Виссема, 2016]

Массачусетском технологическом институте и др. В России только часть университетов обладают характеристиками, необходимыми для реализации такой модели.

Согласно рейтингу предпринимательских университетов, составленному аналитическим центром «Эксперт» на основе данных платформы Crunchbase, в топ-10 российских вузов предпринимательского типа входят: НИУ «Высшая школа экономики», МФТИ, МГУ имени М.В. Ломоносова, Санкт-Петербургский госуниверситет. Стабильно на протяжении нескольких лет первую пятерку замыкает МГТУ имени Н.Э. Баумана. Продолжают десятку лидеров Новосибирский госуниверситет (с наибольшей долей поддерживаемых инновационных проектов – 90%), Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Санкт-Петербургский политех и ИТМО с наиболее успешными стартапами выпускников. Из вузов второй десятки МИСиС, КФУ, Московскому политеху, НИУ МЭИ в последние годы удалось улучшить положение в рейтинге за счет увеличения объема привлекаемых инвестиций и повышения доли поддерживаемых проектов до 80%².

Объединение образовательного, исследовательского и предпринимательского потенциалов предъявляет особые требования к организации и архитектурному облику университетского кампуса, которые служат предметом научного интереса. Так, вопросы развития инфраструктуры университетов, а также актуальные тренды проектирования кампусов раскрыты в работе Н.В. Исаевой и Л.В. Борисовой [Исаева, Борисова, 2013]. Различные типы статических и динамических моделей управления университетским кампусом анализируют Е.А. Репина и Л.Е. Лопатина [Репина, Лопатина, 2016].

Есть работы, описывающие опыт создания пространственной среды ведущих вузов мира, в том числе занимающих верхние позиции в рейтинге QS, а также практические вопросы культуры формирования пространственной организации российских вузов в условиях перехода на болонские стандарты [Палей, 2016, 2019; Исакова, 2011; Стариков, 2011; Большаков, 2019; Берестова,

² Рейтинг предпринимательских университетов и бизнес-школ – 2022 // Аналитический центр Эксперт. 2022. 17 октября. URL: <https://acexpert.ru/publications/rating/reiting-predprinimatelskikh-universitetov-i-biznes-shkol-2022> (дата обращения: 25.02.2023).

Ларионова, 2017], есть работы, представляющие типы кампусов и их характеристики [Зобова, 2015; Кашко, 2016; Пучков, 2011b], роль и место университетских кампусов в современном городе [Смирнов, 2019].

Однако, несмотря на многочисленность и разнообразие исследований в данной области, недостаточно внимания уделяется выявлению особенностей построения и развития образовательного пространства кампуса предпринимательского университета.

Основные типы кампусов

Понятие «кампус» (в переводе с латыни – «поле», или «открытое пространство») впервые появилось в конце 60-х гг. XVIII века применительно к описанию комплекса зданий Принстонского университета (США), гармонично встроенных в ландшафт и располагающихся на обособленной территории без ограждения (хотя в этом плане Принстон, как и многие другие, опирался на опыт Гарварда, построенного в 1636 г. в 6 км от Бостона). Первоначально университетские кампусы включали в себя только образовательные и жилые корпуса, напоминающие монастырские комплексы с внутренним двором, закрытым для неуниверситетского сообщества³. В основе их организации – идея замкнутой интеллектуальной среды, в которой студенты могут жить и учиться, заниматься научными исследованиями и творчеством, свободно общаться со своими наставниками (тьюторами) [Ефимов, Лаптева, 2017; Кашко, 2016].

Сегодня университетский кампус – это обособленный территориальный комплекс, принадлежащий университету, включающий в себя учебные корпуса, лаборатории и научно-исследовательские центры, производственные, рекреационные и жилые объекты, находящиеся друг от друга в пешеходной доступности [Пучков, 2011a].

Для отражения проблемы исследования нас интересует ранжирование кампусов в зависимости от пространственной локализации вуза. В рамках данной классификации выделяют два типа комплексов: городские и загородные (гринфилд). *Городской* – самый распространенный тип обустройства высших

³ Позже двор устраивается как газон и приобретает статусно-символическое значение.

учебных заведений. Такие известные университеты, как Болонский, Сорбонна, Сиенский, Шеффилда, Рейнско-Вестфальский технический университет Ахена, Венский университет экономики и бизнеса, Геттингенский, Токийский, Цинхай, Санкт-Петербургский государственный университет, МГУ им. М. В. Ломоносова, НИУ ВШЭ, обладают городскими кампусами, как правило – небольшого размера. Их здания могут быть сосредоточены в одном месте (локальный кампус) или же, наоборот, разбросаны по всему городу (распределенный).

В качестве критерия классификации Г. Кулешова предлагает использовать радиус пешеходно-транспортной доступности основных объектов университетской инфраструктуры (учебно-лабораторных корпусов, библиотек, объектов культурного и спортивного назначения) по отношению к общежитиям и студенческим городкам. К локальным университетам предлагается относить вузы, в которых более 75% зданий размещено в радиусе, не превышающем 0,5 км. Вузы, не подпадающие под этот критерий, предлагается относить к распределенным или дисперсным [Кулешова, 2021].

Модель городского кампуса распределенного типа (*urban university*) представляет собой совокупность университетских объектов, рассредоточенных по территории города и органично включенных в его инфраструктуру. Примером такого кампуса является французский Пессак, расположенный на территории четырех населенных пунктов: собственно Пессак (где сосредоточено 65% объектов), Таланс, Градинян и Бордо; Нью-Йоркский университет в Гринвич-Вилледж. В России к этому типу относятся практически все университеты Москвы и Санкт-Петербурга. Ярким примером внутригородского кампуса распределенного типа является комплекс Московского политехнического университета, представленный 54 зданиями в Москве, среди которых 11 общежитий.

Модель городского локального университетского кампуса, находящегося внутри города (часто – в непосредственной близости от исторического центра, как, например, Оксфордский и Кембриджский университеты в Англии), начала формироваться в XI в. и сегодня рассматривается экспертами как оптимальная

и для университета, и для города⁴ [Кулешова, 2021]. Студенты, ученые и преподаватели получают доступ к инфраструктуре, мероприятиям и ресурсам города, а город – имиджевое и экономическое развитие. Такие университеты зачастую становятся градо- и социобразующими центрами, осуществляющими подготовку кадров для наукоемкого бизнеса, крупных компаний и решения масштабных инновационных задач города.

Примером успешного городского локального кампуса является комплекс Массачусетского технологического университета, здания которого расположены, с одной стороны, обособленно, а с другой – встроены в среду города, выступая драйвером развития интеллектуального климата посредством вовлечения талантливых и высокомотивированных выпускников и студентов в бизнес в регионе присутствия. С участием последних в регионе ежегодно создается около 150 инновационных компаний. Городской колледж Нью-Йорка приносит в бюджет города 1,9 млрд долл. в год, из них примерно 100 млн – только за счет повседневных расходов студентов и преподавателей.

В России внутригородской локальной модели кампуса придерживаются томские университеты, расположенные преимущественно в центральной части города и являющиеся важнейшими градообразующими единицами. В томских университетах занято 15% жителей, которые приносят в бюджет более 25 млрд руб.

Помимо описанных преимуществ, модель городского локального университетского комплекса имеет ряд серьезных ограничений, поскольку многие города имеют плотную застройку и свободные территории для расширения такого кампуса, размещения на территории города лабораторного оборудования, требующего обособленного и/или специального зонирования и больших энергозатрат, как правило, отсутствуют.

Второй тип университетского кампуса – *гринфилд* – локальный кампус, строящийся на новом месте за пределами плотной городской застройки, но, как правило, не далее 100 км от крупных городов. Эта модель начала развиваться в XVII веке в США, а в послевоенные десятилетия XX в. получила распространение в Европе. Стимулами послужили быстрый рост количества

⁴ Advancing together. Creating a university of the future. Université de Bordeaux. Strategic Plan U25. URL: http://www.twinning4he.edu.az/uploads/activity-document/ubx_brochure_u25_bordeaux.pdf (дата обращения: 01.04.2020).

студентов, потребность в новых помещениях, стремление развивать R&D-направление, интегрировать учебу и исследования. Примерами кампусов такого типа служат Калифорнийский университет в Беркли, университеты Вилланова, Де Поля, Международный университет Японии, Принстон, Федеральная политехническая школа Лозанны, Новосибирский госуниверситет (Академгородок) и Дальневосточный федеральный университет.

С точки зрения плотности и разнообразия среды такая модель фактически повторяет сам город, включая в себя всю необходимую инфраструктуру: учебные и жилые корпуса, научные лаборатории, музеи, библиотеки, спортивные комплексы, рекреационные зоны, а также развитую транспортную связь с центром города. Такой тип университетского кампуса на сегодняшний день представляется наиболее предпочтительным для размещения пространственного ядра университета, так как современные вузы стремятся создать в своем комплексе особую экосреду, отражающую стратегическое видение и индивидуальный образ университета [Смирнов, 2019].

Однако необходимо отметить, что отдельные кампусы больше подходят для вузов с техническим и исследовательским уклоном, тогда как для гуманитарного образования необходимым условием является все же городская среда, где имеется доступ к важным культурным институциям. Кроме того, подчеркнем, что современные университеты, развивая модель кампуса по типу гринфилд, должны уделять внимание не только распространению современных знаний, но и принципам устойчивости и энергоэффективности сотрудничества с городом.

Тема организации пространства университетских кампусов сегодня актуальна для России по ряду причин. Среди них – нередко встречающаяся территориальная рассредоточенность учебных корпусов и общежитий вузов, а также связанные с нею логистические издержки, что не способствует установлению межфакультетских и междисциплинарных связей и коллабораций, возникновению стартапов и think tanks. Распространенная проблема – износ учебных корпусов и жилого фонда, сложности в их адаптации под потребности современных исследовательских лабораторий, нагрузка на бюджет вуза по содержанию старых зданий; наконец, у многих российских вузов «исторически» отсутствуют места для неформального общения, работы в группах, занятий спортом, проведения крупных межфакультетских мероприятий.

С целью устранения проблемных зон в 2021 г. в рамках национального проекта «Наука и университеты» был запущен проект по созданию инновационной образовательной среды (кампусов) на территории России⁵. По итогам реализации проекта к 2030 г. планируется построить не менее 30 университетских кампусов мирового и национального масштаба. В ближайшее время современные студенческие кампусы появятся на таких геостратегических территориях России, как Москва, Томск, Новосибирск, Калининград, Нижний Новгород, Уфа, Челябинск и Екатеринбург, что потребует 179,9 млрд руб. на строительство (из них 73,4 млрд выделены государством). На 1,5 млн м² общей площади будут размещены, 633 тыс. м² жилья для студентов, 476 тыс. м² учебных и научных корпусов, 100 тыс. м² спортзалов, площадок и бассейнов.

В 2023 г. первым примет студентов новый кампус МГТУ им. Н.Э. Баумана, что позволит вузу трансформировать образовательный процесс под задачи опережающего развития территории, создать лаборатории и центры для развития приоритетных направлений науки, таких как цифровые технологии, квантовые вычисления, экология, новые материалы, биомедицинская техника.

Что отличает современный кампус

Назовем основные тенденции и принципы архитектурно-пространственной организации современных университетских кампусов предпринимательского типа.

1. Проектирование пространства кампуса осуществляется в соответствии с целевой моделью, стратегическим видением развития университета, интересами внешних и внутренних стейкхолдеров.

Стремление сформировать уникальный образ университета, привлекающий лучших студентов, исследователей и преподавателей со всего мира, лежало в основе строительства знаменитого кампуса Дальневосточного федерального университета, который

⁵ Постановление Правительства РФ от 28 июля 2021 г. № 1268 «О реализации проекта по созданию инновационной образовательной среды (кампусов) с применением механизмов государственно-частного партнерства и концессионных соглашений в рамках федерального проекта «Развитие инфраструктуры для научных исследований и подготовки кадров» национального проекта «Наука и университеты» // Правительство России. 2021. 28 июля. URL: <http://government.ru/docs/all/135937/> (дата обращения: 10.06.2022).

задумывался как образовательный и научно-технологический центр международного диалога и интеграции со странами АТР. В реальности получилось несколько иначе. Предполагалось, что прежде, чем перейти на баланс университету, новый кампус на о. Русский примет делегатов саммита АТЭС, проходившего во Владивостоке в 2012 г. То есть фактически он строился без учета программ развития университета, его образовательной и научно-исследовательской миссии. В результате были допущены серьезные ошибки в градостроительной концепции кампуса: пространственная и социальная изоляция университетских зданий, сложная и визуально плохо организованная система ориентации и навигации между функционально-пространственными блоками, длинные коридоры, кабинетная типология, ячеистая структура, отсутствие доступных рекреационных зон. Все это в первые годы не способствовало становлению архитектурного образа университетского комплекса как целостного средового объекта, формированию новой позитивной идентичности у студентов и преподавателей четырех приморских вузов, объединенных в ДВФУ, усиливало их закрытость и отчуждение, затрудняло научную коммуникацию между представителями различных дисциплин, кафедр и школ, которые обычно так поощряют современные университеты.

Сегодня российские университеты при формировании стратегии развития своих кампусов учитывают мировую и национальную практику. Так, при проектировании нового кампуса Московского политехнического университета, строительство которого было анонсировано Правительством Москвы в 2021 г., была заложена идея эффективной организации пространства для развития STEAM-образования (от Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics) и прикладной науки в тесной интеграции с индустриальными партнерами и городской средой⁶. Развивая прикладную науку и STEAM-образование на принципах практикоориентированности, кейсовых способов и проектных методов обучения, модульного построения индивидуальных

⁶ Программа развития Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет» на 2021–2030 годы // Московский политех. URL: <https://mospolytech.ru/upload/iblock/f1d/programma-razvitiya-moscow-poly-na-2021-2030-gody.pdf> (дата обращения: 10.06.2022).

образовательных траекторий, МПУ сформировал максимально индивидуализированный мастер-план учебно-лабораторных и рекреационных пространств, основная задача которого – организовать территорию и внутренние локации университета таким образом, чтобы побуждать к совместной работе студентов, преподавателей, исследователей и партнеров в условиях формального и неформального общения. Проект кампуса университета включает следующие модули:

- центральное пространственное ядро («площадь» или «атриум») для проведения крупных общеуниверситетских мероприятий, открытое для применения дистанционных технологий;
- малые аудитории, трансформируемые залы, перевернутые аудитории, мастерские;
- плоские классы для проектной работы, learning factory, учебные полигоны;
- индивидуальные рабочие ячейки;
- медиатеки;
- учебные цифровые лаборатории с сетевой трансляцией;
- научно-технологические и экспериментальные лаборатории;
- опытные производства, оснащенные современным высокотехнологичным оборудованием;
- бизнес-инкубаторы;
- технопарки;
- конгрессно-выставочные пространства для распространения инноваций;
- коворкинги, а также комнаты для отдыха и неформального общения.

2. *Наращивание доли лабораторного фонда для эффективного развития науки и коммерциализации технологий.* На сегодняшний день университетские кампусы России имеют различный уровень инфраструктурной обеспеченности научно-инновационной деятельности. Так, согласно Мониторингу эффективности деятельности образовательных организаций высшего образования⁷, в Дальневосточном федеральном университете инфраструктура исследований и разработок составляет 25 м² в расчете на одного студента приведенного контингента,

⁷ Мониторинг эффективности деятельности образовательных организаций высшего образования РФ, 2022 // ГИВЦ: Главный информационно-вычислительный центр МИРЭА. URL: <https://monitoring.miccedu.ru/?m=vpo> (дата обращения: 09.09.2022).

в Томском политехническом – 20 м², в Южном федеральном – 16 м², а в Финансовом университете – 15 м².

На одного студента Московского политеха сегодня приходится 15 м² площади научно-лабораторных помещений. Внедряя образовательную технологию «перевернутый учебный план», предусматривающую освоение профессиональных компетенций и проведение исследований с первого курса обучения, университет намерен увеличить долю научных и исследовательских лабораторий, пространств для прототипирования и экспериментов, научно-инновационных центров до 50–60% от общей площади учебных пространств, что будет способствовать возникновению современных высокотехнологичных производств, притягивающих ведущих ученых, аспирантов и талантливых студентов со всего мира, готовых работать над инновационными продуктами и технологическими решениями по заказу региональных и национальных компаний.

3. Трансформация существующей модели вуза в цифровой университет. В ближайшее время у современных университетов должна появиться полная цифровая копия, управляемая на основе технологий больших данных, искусственного интеллекта и блокчейна. Такая трансформация затронет в первую очередь образовательный процесс и организационные структуры университета.

По данным Центра демографии и глобального человеческого капитала им. Витгенштейна, численность обучающихся в мире к 2050 г. вырастет на 2 млрд относительно уровня 2020 г. При этом закономерно увеличится доля сегмента онлайн-обучения. Ожидается, что по итогам 2030 г. доля онлайн-сегмента на мировом рынке образования вырастет до 5,6% и составит 585 млрд долл. США.

На сегодняшний день большая доля мирового рынка онлайн-образования принадлежит США. Ведущие американские университеты: Массачусетский технологический, Открытый исследовательский Флориды, Технологический университет Джорджии, Бостонский, Колумбийский исследовательский, Калифорнийский и Аризонский, а также Университет Пенсильвании – предлагают своим студентам бесплатные онлайн-курсы (в том числе с многопользовательским игровым интерфейсом) для отработки навыков коммуникации, командообразования и стратегического менеджмента. Так, например, Университет

Флориды предоставляет обучающимся доступ к более чем 200 онлайн-курсам и сертификатам. В одном из крупнейших в Канаде – Университете Британской Колумбии непосредственно в кампусе обучаются около 50 тысяч студентов, и еще около 15 тысяч получают образование онлайн. Университет предлагает 140 академических и 125 неакадемических онлайн-курсов в рамках неформального обучения.

Переход университета на цифровую образовательную модель требует выстраивания также и внутренних процессов управления университетом на основе цифровых данных (электронные зачетные книжки, личные кабинеты, мультимедийные аудитории, система электронного внутриуниверситетского документооборота, электронная приемная комиссия, университетский call-центр, беспроводной интернет в учебных корпусах, общежитиях, электронная запись в библиотеку, медцентр, спортивные секции и кружки).

Первыми в России попытку перейти к smart-университету предприняли в новом кампусе Дальневосточного федерального университета. В 2012 г. там были успешно введены персональные идентификационные пластиковые карты и пропуска, используя которые студенты могли узнать расписание занятий, оплатить проживание в общежитии, увидеть маршрут движения автобусов внутри кампуса, пройти в общежитие и учебные корпуса, получить книги в библиотеке, оплатить услуги и товары в магазинах и кафе, расположенных на территории кампуса.

Цифровая трансформация происходит и в Московском политехе и строится она вокруг концепции «Больших идей». На ее основе реализуются новые эффективные форматы обучения (кастомизируемые траектории, адаптивное и практикоориентированное обучение), но главным трендом является «перевернутое» обучение – модель организации учебного процесса, при которой учащиеся самостоятельно изучают лекционный материал в любое удобное время и из любой точки, а все аудиторные занятия проходят в формате практических семинаров, рассчитанных на активное взаимодействие участников образовательного процесса.

4. Формирование коммуникационного пространства. Идея кампуса современного университета сводится к наличию разнообразных, гибко переплетающихся друг с другом функционально-планировочных решений, формирующих некий «ландшафт

знаний», в котором имеется достаточное количество свободных учебных классов, конференц-залов, научных лабораторий, то есть мест для формального обучения и проведения исследований, и просторных холлов между ними для беспрепятственного общения. Особое внимание должно быть уделено малым архитектурным формам, визуальному и сенсорному разнообразию архитектурных элементов, грамотному освещению сооружений, зеленых насаждений, пешеходных и прогулочных зон. Такие пространства создают комфортную и уютную атмосферу, способствуют коммуникации и обмену информацией в процессе обучения.

Главными новациями дизайна новых кампусов должны стать открытость и прозрачность: учебные студии и научные лаборатории open-air, стеклянные галереи для перемещения по кампусу. Создание гибких и открытых пространств, проведение в них открытых лекций, воркшопов, мастер-классов, кинопоказов и презентаций повысят степень коммуникационного взаимодействия преподавателей, исследователей и студентов творческих и инженерных специальностей, что, несомненно, будет способствовать развитию креативного и системного мышления. Благодаря масштабному остеклению, открытости учебных аудиторий и исследовательских лабораторий все гости кампуса смогут увидеть внутреннее пространство университета – как протекает в нем жизнь и почему здесь интересно учиться и работать.

Во многих европейских кампусах основным местом коммуникации является университетская площадь или группа типологически сходных площадей, подчиненных единой архитектурно-планировочной, композиционной идее. Так, площадь-форум Эксетерского университета в Великобритании расположена на крутом рельефе и представляет из себя систему платформ, которые соединены каскадом лестниц с особой комфортной атмосферой для отдыха и занятий.

Сегодня в большинстве российских университетов отмечается дефицит современной пространственной инфраструктуры для неформального общения. Но, к примеру, в новом кампусе ДВФУ удалось решить эту проблему. Основные рекреационные пространства вуза размещены в центральном корпусе (А), где располагаются библиотека, администрация и студенческий центр. Архитектурное решение корпуса А позволило организовать здесь как зону для проведения шумных торжественных мероприятий,

публичных выступлений, так и тихие студии для самостоятельной и совместной работы над проектами. Зоны общения присутствуют не только в центральной части университета, но и внутри школ и кафедр. Их размеры варьируют от небольших – на двух-трех человек – до зон для общения целой группой, например, для проведения внеаудиторного занятия.

Новую функцию в пространстве кампуса приобрела центральная библиотека ДВФУ, представляющая собой коммуникационно-информационный центр, в котором проходят как групповые, так и индивидуальные занятия студентов, есть атриум для общих мероприятий и место для отдыха и общения. Здесь можно найти нужную литературу в свободном доступе, выполнить самостоятельную или групповую работу, отдохнуть между парами, встретиться с друзьями, коллегами и партнерами. Организации общения в кампусе ДВФУ помогает также наличие спортивных залов и стадиона, собственного кинотеатра в Школе гуманитарных наук, прогулочных аллей и парковой территории.

Помимо этого, реализованная в кампусе ДВФУ модель жилого комплекса (пять корпусов для проживания студентов, преподавателей и гостей университета, расположенных в одном месте) также предоставляет возможности для неформального общения, формирует особое пространство событийности, причастности к мега-событиям, происходящим в университете⁸.

5. *Интеграция кампуса в городскую среду.* При проектировании территории университетского комплекса значительное внимание стоит уделять развитию общедоступных публичных пространств для обеспечения и поддержания связи с городом. Так, например, в новом кампусе Венского экономического университета (Австрия) эту проблему решили путем реализации концепции «прогулки вдоль парка», выстроив маршрут из одного открытого пространства в другое. По ходу этого движения расположены последовательно сменяющиеся локации для активного отдыха, обучения и проведения исследований. Жители и гости города имеют свободный доступ к основным объектам кампуса: центральному зданию с библиотекой и учебному центру, главному учебному корпусу, студенческому центру, ресторанам, кафе,

⁸ Гостиничный комплекс кампуса ДВФУ на о. Русском // Дальневосточный федеральный университет. URL: <https://www.dvfu.ru/about/campus/accommodation/fefu-hotel-complex-rusky-island/> (дата обращения: 10.06.2022).

пекарням, супермаркетам, книжным магазинам. Визуальная граница между кампусом и городом проведена с помощью зеленых насаждений. Они же служат фильтром для выхлопов автомобилей и городского шума. На территорию кампуса попасть можно круглосуточно через пять входов и выходов. У южного входа в кампус и на ближайших станциях метро расположены парковки системы совместного использования велосипедов Citi Bike. Выходы из автостоянки ведут на центральную площадь кампуса.

Новых стандартов открытости и общедоступности придерживались и при проектировании кампуса ДВФУ. На сегодня он представляет собой одну из самых известных площадок для проведения масштабных мероприятий на востоке России и в Азиатско-Тихоокеанском регионе. Пространства университета: коворкинговые зоны, площадки для крупных научных, культурных и деловых мероприятий, парк с искусственным водопадом и выходом на набережную ДВФУ – являются местом для общения исследователей, ученых, экспертов, бизнесменов, властей, а также жителей и гостей г. Владивостока. Медицинский центр ДВФУ, специализирующийся на оказании высокотехнологичной врачебной и диагностической помощи, пользуется популярностью у граждан со всей России и из зарубежья. Центр развивает сотрудничество с ведущими медицинскими вузами и исследовательскими центрами России и АТР, открыт для партнеров и ученых со всего мира.

Московский политех регулярно проводит открытые образовательные, научные, культурно-развлекательные, спортивные мероприятия, используя для этого особый дизайн кампуса. Главной точкой сближения города и университета является кластер АртПолитех – специально созданное пространство для изучения и демонстрации различных видов искусства. Кампусная и инфраструктурная политика университета нацелена на обеспечение максимальной эффективности использования его пространства всеми стейкхолдерами. Для этого вуз ведет системную работу по повышению комфортности своей среды. Открыты первые коворкинг-центры с библиотечным фондом свободного пользования, зонами office box и лаунж-пространством.

Особенно актуальна проблема интеграции университетского кампуса в городскую среду для исследовательских университетов, поскольку это является условием формирования вокруг

них инновационной экосистемы, позволяющей осуществлять трансфер новых технологий в экономику региона. Исследование, проведенное в 2017 г. в США, показало, что университеты, расположенные не более чем в 120 км от города, дают в среднем в 2,3 раза больше патентов на 1 тыс. студентов, чем отдельно стоящие кампусы⁹.

б. Развитие экологических инноваций. В строительстве университетских кампусов следующего поколения важную роль играют не только ориентация на технологические инновации в обучении и цифровизация, но и использование природных и экологичных материалов, возобновляемых источников энергии, энергосберегающих технологий. Исторически концепцию «зеленого» университета реализуют Гарвард, Массачусетский технологический институт, Кембридж и др. Сегодня быстрый рост зеленых кампусов отмечается в Китае. Примером может служить мегакампус в Гуанчжоу, включающий 10 университетов различного профиля, построенный в соответствии с концепцией фэн-шуй, что иногда называют восточной аналогией западной концепции устойчивого развития. Университет Хоккайдо занимает лидирующие позиции в области устойчивого развития в системе высшей школы Японии, внедряя в кампусе новые стандарты и правила жизни, такие как регуляция температурного режима в местах общего пользования и аудиториях, использование энергосберегающих ламп и солнечных панелей, переработка органического мусора [Гаврильева и др., 2018].

В России пока нет ни одного вуза, который бы разработал и реализовал комплексную программу по устойчивому развитию. Отмечаются лишь отдельные примеры по сохранению прилегающей природной среды и благоустройству территории, использованию энергосберегающих технологий. Так, например, кампус ДВФУ проектировался с ориентацией на встраивание в ландшафт с его рельефом, лесным массивом и водными поверхностями, что позволило ему войти в рейтинг экологически чистых вузов мира, опубликованный Индонезийским университетом. Программу «зеленый» кампус реализуют также РУДН, МГУ им. М.В. Ломоносова, НИУ ВШЭ, МГИМО, СПбГУ, РГПУ

⁹ *Andes S.* Hidden in plain sight: The oversized impact of downtown universities. October 2017. URL: https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2017/10/2017-10-10_ocs_bass_downtown_universities_scott_andes_full.pdf (дата обращения: 10.06.2022).

им. Герцена, Петрозаводский, Алтайский, Томский, Пензенский, Воронежский университеты.

Сегодня все новые кампусы в России проектируются на основе концепции GreenBuilding. Интеграция их пространства с окружающей средой будет решаться за счет озеленения крыш, фасадов и интерьеров, создания садов, цветников, газонов на искусственных основаниях, произведений ландшафтного искусства, а также размещения природных компонентов внутри здания. Учитывая глобальную климатическую повестку, их здания будут спроектированы и построены с максимальной экономичностью, экологичностью и энергоэффективностью, с использованием принципов минимизации отходов¹⁰ [Пучков, 2011; Mason et al., 2003].

С целью улучшения экологической обстановки и создания гармоничной среды на территории кампуса современным университетам необходимо стремиться к выводу автотранспорта за ее пределы, большое внимание уделяя велодорожкам и пешеходным зонам. Так, в кампусе ДВФУ парковочные зоны расположены у въезда на территорию, по которой курсирует общественный транспорт, при этом все здания университета связаны между собой и набережной ДВФУ сетью пешеходных и велодорожек.

7. Техническая и социальная безопасность, инклюзивное пространство. Объективным требованием к современным кампусам является создание безбарьерной среды. Пандусы, лифты, ограждения, освещение оптимизируют и упорядочивают пешеходные связи людям с ограниченными физическими возможностями, позволяя им свободно добираться до любой точки в кампусе, беспрепятственно пользоваться образовательными ресурсами и нужным научным оборудованием [Елисеев и др., 2020; Терягова, 2016]. Еще один фактор формирования устойчивой среды современного университета – доступная и интуитивно понятная навигация. Для ДВФУ это долгое время было проблемой, которую к настоящему времени удалось решить с помощью графических и информационных двуязычных указателей, размещенных в узлах пересечения потоков, напольной навигации, с включением элементов цветового зонирования и графики,

¹⁰ См.: Top 10 Zero Waste Campuses in 2022 // PLAN. Atlas Blogs. 2022. 27 October. URL: <https://www.postlandfill.org/top-10-campuses-2022/#> (дата обращения: 10.06.2022).

а также мобильного приложения, обеспечивающего навигацию по внутренним пространствам учебно-лабораторных корпусов и других жилых и функциональных блоков университетского комплекса.

Важными аспектами устойчивого развития университета также являются толерантная среда обитания, сформированная культурная традиция, доброжелательное социальное взаимодействие преподавателей, студентов и стратегических партнеров на работе, отдыхе, занятиях спортом и т.д., вовлеченность общественности кампуса и заинтересованных групп в решение вопросов его развития (дорожное движение, парковки, жилье, здоровье и безопасность).

Заключение

В наши дни университеты призваны стать активными участниками процесса национального инновационно-технологического развития, кооперации с бизнесом и промышленными предприятиями различных отраслей в целях разработки инновационных продуктов мирового уровня и непрерывной подготовки высококвалифицированных кадров. Такая модель университета требует продуманного подхода к его архитектурно-пространственной организации, стимулирующей внедрение инноваций в образовании, проведение научных исследований и коммерциализацию полученных результатов, применение экологических инноваций, способствующих развитию города, региона, страны. В работе рассмотрены ключевые принципы пространственной организации современного университетского кампуса, реализация которых обеспечит повышение конкурентоспособности российских вузов на внутригосударственном и международном уровне, будет способствовать привлечению в них студентов и ведущих профессоров со всего мира, развитию эффективного взаимодействия с предпринимательским сообществом и исследовательскими организациями, создаст среду для научных исследований и внедрения новых технологий.

Литература

Берестова А.В., Ларионова В.А. Выбор пространственной организации современного кампуса. Ч. 1. Анализ пространства кампусов мировых университетов // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2017. № 3(34). С. 66–70.

Большаков А. Г. Стратегия развития кампуса ИрНТУ // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 2. С. 396–407. DOI: 10.21285/2227-2917-2019-2-396-407

Виссема Й. Г. Университет третьего поколения. Управление университетом в переходный период / Пер. с англ. М.: Олимп-Бизнес, 2016. 432 с.

Гаврильева Т. Н., Сугимото А., Фуджи М., Яманака Р., Павлов Г. Н., Кириллин Д. А. Устойчивое развитие университетов: мировые и российские практики // Высшее образование в России. 2018. Т. 27. № 7. С. 52–65. DOI: 10.31992/0869-3617-2018-27-7-52-65

Елисеев А. М., Подопригора Ю. В., Захарова Т. В. Кампусы будущего в университетских городах России и Франции в условиях цифровой экономики, инноваций и безбарьерной среды // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2020. № 49. С. 225–235. DOI: 10.17223/19988648/49/16

Ефимов В. С., Лантева А. В. Университет 4.0: философско-методологический анализ // Университетское управление: практика и анализ. 2017. Т. 21. № 1. С. 1–17. DOI: 10.15826/umpra.2017.01.002

Зобова М. Г. Современные аспекты архитектурно-градостроительного проектирования университетских кампусов // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 3(178). С. 243–248.

Исаева Н. В., Борисова Л. В. Сравнительный анализ национальных политик по развитию кампусов исследовательских университетов // Университетское управление: практика и анализ. 2013. № 6. С. 74–87.

Исакова С. А. Методы объемно-планировочной модернизации учебных зданий университетов (на примере Южного федерального университета) [Эл. ресурс] // Архитектон: известия вузов. 2011. № 4(36). URL: http://archvuz.ru/2011_4/4 (дата обращения: 10.06.2022).

Карпов А. О. Современный университет как драйвер экономического роста: модели и миссии // Вопросы экономики. 2017. № 3. С. 58–76. DOI: 10.32609/0042-8736-2017-3-58-76

Кашко О. Л. Кампусы университетов // Евразийский Союз Ученых. 2016. № 4–5 (25). С. 80–81.

Кларк Б. Р. Создание предпринимательских университетов. Организационные направления трансформации / Пер. с англ. А. Смирнова. М.: Изд. дом ВШЭ, 2011. 240 с.

Кулешова Г. И. Университет и город. Очерк эволюции связи университетской институции с городской средой. Часть 1. Мировой опыт // Academia. Архитектура и строительство. 2021. № 4. С. 70–79.

Палей Е. С. Общественное пространство европейского университета в процессе исторического развития [Эл. ресурс] // Архитектон: известия вузов. 2019. № 1 (65). URL: http://archvuz.ru/2019_1/3 (дата обращения: 10.06.2022).

Палей Е. С. Типы общественных пространств в современном университетском кампусе [Эл. ресурс] // Architecture and Modern Information Technologies. 2016. № 2 (35). URL: https://marhi.ru/AMIT/2016/2kvart16/paley/AMIT_35_PALEY_PDF.pdf (дата обращения: 10.06.2022).

Паникарова С. В., Власов М. В., Драшкович В. Система высшего образования как драйвер инновационного развития страны // Университетское управление: практика и анализ. 2020. Т. 24. № 1. С. 96–105. DOI: 10.15826/umpra.2020.01.007

Пучков М.В. Архитектурно-градостроительные качества научно-образовательных пространств // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2011а. № 3. С. 60–63.

Пучков М.В. Университетский кампус. Принципы создания пространства современных университетских комплексов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2011б. № 3(32). С. 79–88.

Репина Е.А., Лопатина Л.Е. Кампус: модели управления // Innovative Project. 2016. Т. 1. № 2(2). С. 104–108. DOI: 10.17673/IP.2016.1.02.17

Смирнов С.А. Город-кампус, или Образовательное пространство города. Методологический конструкт // Высшее образование в России. 2019. Т. 28. № 4. С. 44–59. DOI: 10.31992/0869–3617–2019–28–4–44–59

Старииков А.А. Культура пространственной организации как фактор конкурентоспособности университета // Университетское управление: практика и анализ. 2011. № 2. С. 15–29.

Терягова А.Н. Доступный кампус. Опыт создания безбарьерной среды // Innovative Project. 2016. Т. 1. № 3(3). С. 74–77. DOI: 10.17673/IP.2016.1.03.14

Bercovitz J., Feldman M. Entrepreneurial universities and technology transfer: A conceptual framework for understanding knowledge-based economic development // Journal of Technology Transfer. 2006. Vol. 31. No. 1. P. 175–188.

Egorov A.A., Leshukov O.V., Gromov A.D. (2017). The Role of Universities in Economic Development of Russian Regions. Basic Research Program. Working Papers. Series: Education. Moscow: HSE Publ., 30 p.

Mason, I., Brooking, A.K., Oberender, A., Harford, J.M., Horsley, P. (2003). Implementation of a zero waste program at a university campus. *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 38. No. 4. Pp. 257–269. DOI: 10.1016/S0921–3449(02)00147–7

Статья поступила 09.03.2023

Статья принята к публикации 25.02.2023

Для цитирования: Николаев В.К., Сворцов А.А. Принципы пространственного развития кампуса исследовательского университета // ЭКО. 2023. № 5. С. 54–77. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2023-5-54-77

Информация об авторах

Николаев Владимир Константинович (Москва) – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов», Московский политехнический университет.

E-mail: v.k.nikolaev@mospolytech.ru; ORCID: 0000–0001–5281–7491

Сворцов Аркадий Алексеевич (Москва) – доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов», Московский политехнический университет.

E-mail: a.a.skvortsov@mospolytech.ru; ORCID: 0000–0002–9935–951X

Summary

V.K. Nikolaev, A.A. Skvortsov

Principles of Spatial Development of an Entrepreneurial University Campus

Abstract. The paper examines the principles of successful spatial organization of educational and research process of modern entrepreneurial type university, focused on attracting talented young people and leading scientists from around the world, conducting research and the formation of strategic innovative core of the territory of presence. The aim of the study is to present a generalized, optimal picture of the organization of the spatial-architectural environment of the entrepreneurial type university in the conditions of our country. The empirical material consisted of monitoring data of higher education organizations, statistical data, as well as materials of rating agencies, leading Russian and foreign universities on the peculiarities of development of campus systems of leading universities.

Keywords: *entrepreneurial university; university campus; campus infrastructure; architectural and spatial organization; digital university; educational and research space of university; campus policy; landscape; communication space; open infrastructure and environment of university; transformable classrooms; research laboratories; recreational areas*

References

- Bercovitz, J., Feldman, M. (2006). Entrepreneurial universities and technology transfer: A conceptual framework for understanding knowledge-based economic development. *Journal of Technology Transfer*. Vol. 31. No. 1. Pp. 175–188.
- Berestova, A.V., Larionova, V.A. (2017). The Choice of the Spatial Organization of the Modern Campus. Part 1. Analysis of the Spaces of the Campuses of the World Universities. *Akademicheskij Vestnik Uralniiproekt RAASN*. No. 3(34). Pp. 66–70. (In Russ.).
- Bolshakov, A.G. (2019). Strategy for Irkutsk National Research Technical University (INRTU) Campus Development. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real Estate*. Vol. 9. No. 2. P. 396–407. (In Russ.). DOI: 10.21285/2227–2917–2019–2–396–407
- Clark, B.R. (2019). Creating Entrepreneurial Universities: Organizational Pathways of Transformation. Transl. by A. Smirnov. Moscow: HSE Publ., 310 p. (In Russ.).
- Efimov, V.S., Lapteva, A.V. (2017). University 4.0: Philosophical and Methodological Analysis. *University Management: Practice and Analysis*. Vol. 21. No. 1. Pp. 16–29. (In Russ.). DOI: 10.15826/umpa.2017.01.002
- Egorov, A.A., Leshukov, O.V., Gromov, A.D. (2017). *The Role of Universities in Economic Development of Russian Regions*. Basic Research Program. Working Papers. Series: Education. Moscow. HSE Publ., 30 p.
- Eliseev, A.M., Podoprigora, Yu.V., Zakharova, T.V. (2020). Campuses of the Future in University Cities in Russia and France in the Context of the Digital Economy, Innovation and a Barrier-Free Environment. *Tomsk State University Journal of Economics*. No. 49. Pp. 225–235. (In Russ.). DOI: 10.17223/19988648/49/16
- Gavrilyeva, T.N., Sugimoto, A., Fujii, M., Yamanaka, R., Pavlov, G.N., Kirillin, D.A. (2018). Sustainable Development of Universities: International and

Russian Practices. *Higher Education in Russia*. Vol. 27. No. 7. Pp. 52–65. (In Russ.). DOI: 10.31992/0869–3617–2018–27–7–52–65

Isaeva, N.V., Borisova, L.V. (2013). Comparative Analysis of National Policies for Developing Research Universities' Campuses. *University Management: Practice and Analysis*. No. 6. Pp. 74–87. (In Russ.).

Isakova, S.A. (2011). Spatial planning methods for modernization of university buildings (with reference to the Southern Federal University). *Architecton: Proceedings of Higher Education*. No. 4 (36). (In Russ.). Available at: http://archvuz.ru/2011_4/4 (accessed 10.06.2022).

Karpov, A.O. (2017). Modern University as an Economic Growth Driver: Models & Missions. *Voprosy Ekonomiki*. No. 3. Pp. 58–76. (In Russ.). DOI: 10.32609/0042–8736–2017–3–58–76

Kashko, O.L. (2016). University Campuses. *Eurasian Union of Scientists*. No. 4–5 (25). Pp. 80–81. (In Russ.).

Kuleshova, G.I. (2021). University and City. Essay on the evolution of the connection of the university institution with the urban environment. Part 1. World experience. *Academia. Architecture and construction*. No. 4. Pp. 70–79.

Mason, I., Brooking, A.K., Oberender, A., Harford, J.M., Horsley, P. (2003). Implementation of a zero waste program at a university campus. *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 38. No. 4. Pp. 257–269. DOI: 10.1016/S0921–3449(02)00147–7

Paley, E.S. (2019). European University's Public Space in Historical Evolution. *Architecton: Proceedings of Higher Education*. No. 1 (65). Available at: http://archvuz.ru/2019_1/3 (accessed 10.06.2022). (In Russ.).

Paley, E.S. (2016). Types of Community Spaces in a Modern Campus of University. *Architecture and Modern Information Technologies*. No. 2 (35). (In Russ.). Available at: https://marhi.ru/AMIT/2016/2kvart16/paley/AMIT_35_PALEY__PDF.pdf (accessed 10.06.2022).

Panikarova, S.V., Vlasov, M.V., Drashkovic, V. (2020). Higher Education System as a Driver of the Country's Innovative Development. *University Management: Practice and Analysis*. Vol. 24. No. 1. Pp. 96–105. (In Russ.). DOI: 10.15826/umpa.2020.01.007

Puchkov, M.V. (2011a). [Architectural and Urban Development Qualities of Scientific and Educational Spaces]. *Akademicheskij Vestnik Uralniiproekt RAASN*. No. 3. Pp. 60–63. (In Russ.).

Puchkov, M.V. (2011b). University Campus. Principles for the Creation of Modern University Complexes. *Journal of Construction and Architecture*. No. 3 (32), Pp. 79–88. (In Russ.).

Repina, E.A., Lopatina, L.E. (2016). Campus: Management Models. *Innovative Project*. Vol. 1. No. 2(2). Pp. 104–108. (In Russ.). DOI: 10.17673/IP.2016.1.02.17

Smirnov, S.A. (2019). City-Campus, or Educational Space of the City. Methodological Construct. *Higher Education in Russia*. Vol. 28. No. 4. Pp. 44–59. (In Russ.). DOI: 10.31992/0869–3617–2019–28–4–44–59

Starikov, A.A. (2011). The Culture of Spatial Organization as a Factor of Competitiveness of University. *University Management: Practice and Analysis*. No. 2. Pp. 15–29. (In Russ.).

Teryagova, A.N. (2016). Accessible Campus. Experience in Creating Barrier-Free Environment. *Innovative Project*. Vol. 1. No. 3(3). Pp. 74–77. (In Russ.). DOI: 10.17673/IP.2016.1.03.14

Wissema, J.G. (2016). *Towards the Third Generation University: Managing the University in Transition*. Moscow: Olymp-Business. 432 p.

Zobova, M.G. (2015). Modern Principles of Architectural and Urban Designing of University Campuses. *Vestnik of Orenburg State University*. No. 3(178). Pp. 243–248. (In Russ.).

For citation: Nikolaev, V.K., Skvortsov, A.A. (2023). Principles of Spatial Development of an Entrepreneurial University Campus. *ECO*. No. 5. Pp. 54-77. (In Russ.). DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2023-5-54-77

Information about the authors

Nikolaev, Vladimir Konstantinovich (Moscow) – Candidate of Economic Sciences, docent, Moscow Polytechnic University.

E-mail: v.k.nikolaev@mospolytech.ru, ORCID: 0000–0001–5281–7491

Skvortsov, Arkadii Alekseevich (Moscow) – Doctor of Sciences Physics and Mathematics, Moscow Polytechnic University.

E-mail: a.a.skvortsov@mospolytech.ru; ORCID: 0000–0002–9935–951X