



Цифровые двойники и их применение в экономике транспорта

О.Н. Римская¹, И.В. Анохов¹¹ ВНИИ железнодорожного транспорта (Москва, Россия)

Аннотация

Цифровизация сегодня во все возрастающей степени оказывает влияние на экономику, в том числе на транспортную отрасль. Следствием этого является появление цифровых двойников, позволяющих моделировать и предсказывать поведение как отдельных внутрипроизводственных процессов, так и предприятий в целом.

Целью статьи является исследование процесса цифровизации в транспортной отрасли. Теоретической основой статьи стала всеобщая организационная наука А.А. Богданова.

В статье предложено определение информации, а также дана ее классификация применительно к экономике по трем уровням: прикладная информация (технологическая информация), информация об алгоритмах поведения владельцев факторов производства (поведенческая информация) и информация, с помощью которой осуществляется воздействие на владельцев факторов производства и на реальную экономику в целом (директивная информация). Совокупность указанных уровней информации с макроэкономической точки зрения образует информационную экономику, а с микроэкономической – цифровой двойник конкретного субъекта реальной экономики.

Обосновывается, что цифровая экономика является подсистемой информационной экономики, отличается бинарным способом представления информации и максимально ориентирована на управление реальной экономикой.

Информация предшествует всякой целенаправленной деятельности, поэтому реальная экономика является продуктом информационной экономики. Как следствие, технологическое разделение труда основано на предварительном информационном разделении труда. Это теоретически позволяет судить об адекватности цифрового двойника через анализ отдельных технологических уровней транспортного предприятия. Эта гипотеза была применена к анализу железнодорожного транспорта России, что дало основание считать данный подход перспективным для использования как на макро-, так и на микроуровнях.

Ключевые слова: реальная экономика, цифровая экономика, цифровизация, сигнал, информация, классификация, цифровой двойник, эффективность.

Для цитирования:

Римская О.Н., Анохов И.В. (2021). Цифровые двойники и их применение в экономике транспорта. *Стратегические решения и риск-менеджмент*, 12(2): 127–137. DOI: 10.17747/2618-947X-2021-2-127-137.

Digital twins and their appliance in transport economics

O.N. Rimskaya¹, I.V. Anokhov¹¹ Railway Research Institute (Moscow, Russia)

Abstract

Today digitalization increasingly affects the economy, including the transport industry. The consequence of this is the emergence of digital twins that allow modeling and predicting the behavior of both individual processes and enterprises as a whole.

The aim of the article is to investigate the process of digitalization in the transport industry. The theoretical basis of the article was the universal organizational science of A. Bogdanov.

The article offers a definition of information, and its classification in relation to the economy at three levels: applied information (technological information), information about algorithms of the owners of factors production behavior (behavioral information) and information, with which the impact on the owners of production factors and the real economy in general (directive information). The totality of these levels of information from the macroeconomic point of view forms an information economy, and from the microeconomic point of view – a digital twin of a particular subject of the real economy.

It is proved that the digital economy is a subsystem of the information economy, differs in a binary way of presenting information and is maximally oriented to the management of the real economy.

Information precedes all activity, so the real economy is a product of the information economy. Consequently, the technological division of labor is based on a prior informational division of labor. This theoretically allows us to judge the adequacy of the digital twin through the analysis of individual technological levels of the transport enterprise. This hypothesis was applied to the analysis of the Russian railway transport, which gave reason to consider this approach promising for use at macro- and micro-levels both.

Keywords: real economy, digital economy, digitalization, signal, information, classification, digital twin, efficiency.

For citation:

Rimskaya O.N., Anokhov I.V. (2021). Digital twins and their appliance in transport economics. *Strategic Decisions and Risk Management*, 12(2), 127-137. DOI: 10.17747/2618-947X-2021-2-127-137. (In Russ.)

1. Введение

Значительный прогресс последних десятилетий в развитии цифровых технологий и вычислительной мощности компьютеров с одновременным снижением затрат по их применению сделал цифровизацию массовым явлением, повлиявшим на все сферы общества и экономики, а цифровой двойник – повседневной реальностью.

Термин «цифровой двойник» получил широкое распространение после опубликования статьи [Grieves, 2017] и сегодня применяется главным образом по отношению к виртуальным моделям промышленных объектов или процессов, создаваемых с помощью информационных программ.

На наш взгляд, данный термин применим не только к техническим системам, но и к экономическим, так как экономика все стремительнее приобретает цифровой характер. В железнодорожной отрасли первые цифровые проекты были созданы еще в советское время в Экспериментальном институте путей сообщения, головном научно-исследовательском институте железнодорожной отрасли (АО «ВНИИЖТ») [Мазо и др., 2021].

Цифровизация приобрела как микро-, так и макроэкономический характер. В Стратегии развития информационного общества России до 2030 года дано определение цифровой экономики: «Цифровая экономика – это хозяйственная деятельность, в которой ключевым фактором производства являются данные в цифровом виде, обработка больших объемов и использование результатов анализа которых по сравнению с традиционными формами хозяйствования позволяют существенно повысить эффективность различных видов производства, технологий, обслуживания, хранения, продажи, доставки товаров и услуг»¹.

2. Обзор литературы

В упрощенном виде цифровую экономику допустимо трактовать как «экономику товаров и услуг, разработка, производство, продажа или предложение которых полностью зависят от цифровых технологий» [Kling, Lamb, 2000], а ее главным отличительным признаком считать «осуществление экономической и социальной деятельности через интернет» [Dahlman et al., 2016]. Действительно, «интерес к влиянию цифровых технологий на экономику первоначально возник с ростом интернета» [Foster, Azmeh, 2020. Р. 1251]. Однако в таком понимании уже нельзя считать цифровыми, например, внутрипроизводственные информационные технологии, функционирующие автономно от интернета (например, программное обеспечение станка с числовым программным управлением).

В этой связи некоторые авторы дают более широкий перечень признаков цифровой экономики, включая в нее киберфизические системы [Barbosa et al., 2016], интернет вещей, цифровые двойники, автономных роботов [Foster, Azmeh, 2020. Р. 5–6]. Другие авторы полагают, что цифровую экономику отличают и специфические продукты, а так-

же новые способы производственного и потребительского взаимодействия, например в формате совместного использования [Davies et al., 2017].

В публикациях последних лет все большее внимание уделяется тому, как цифровые технологии, услуги, продукты, методы и навыки становятся ключевым аспектом каждого сектора, то есть цифровизации, которую определяют «как переход бизнеса на использование цифровых технологий, продуктов и услуг» [Brennen, Kreiss, 2016], облегчающих объединение фирм в глобальные сети с участием государств [Sampath, 2018]. Такого рода цифровые платформы действительно принципиально изменили экономический ландшафт, однако они же породили и значительную асимметрию между предприятиями реальной экономики и субъектами, владеющими данными и способными использовать их (внутри и между странами) [Srnicek, 2016; Weber, 2017]. Принципиально новой особенностью такой возросшей организованности является способность масштабировать ее на весь мир, в результате чего новые игроки оказываются в худшем положении, чем первооткрыватели [Zhu, Iansiti, 2012]. Этим и объясняются эффекты типа «winner takes it all» [Kuchinke, 2016] и тотальное доминирование компаний типа Amazon, Google и Facebook. Это означает, что цифровизация способна кардинально повысить уровень внутренней организованности того или иного субъекта, выводя его на лидерскую позицию.

К плюсам развития цифровой экономики Всемирный банк в своем обзоре «Цифровые дивиденды»² относит:

- рост производительности труда;
- повышение конкурентоспособности компаний;
- снижение издержек производства;
- создание новых рабочих мест;
- преодоление бедности и социального неравенства.

Здесь можно было бы добавить, что в цифровой экономике затраты на коммуникацию стремятся к нулю и порождают сильные сетевые эффекты [Engel, 2015]. Кроме того, «цифровизация сокращает транзакционные издержки для объединения навыков человеческого капитала через географические границы, повышая масштабируемость этих навыков» [Banalieva, Dhanaraj, 2019. Р. 1379]. Также кардинально растет масштабируемость и скорость реализации цифровых проектов [Brouthers et al., 2016].

Внедрение в жизнь цифровизации во многих отраслях экономики кроме очевидных плюсов несет для человечества и ряд минусов, среди которых:

- риск киберугроз, связанный с проблемой защиты персональных данных, – частично проблема мошенничества может решаться внедрением так называемой цифровой грамотности;
- «цифровое рабство» – использование данных о миллионах людей для управления их поведением, например стимулирование роста продаж товаров и услуг вследствие массовой интернет-рекламы;
- рост безработицы на рынке труда, поскольку будет возрастать риск исчезновения некоторых профессий и даже отраслей. Так, многие эксперты всерьез полага-

¹ Указ Президента Российской Федерации от 09.05.2017 № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы». URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/41919>.

² Обзор Всемирного банка «Цифровые дивиденды» (2016). URL: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/23347/210671RuSum.pdf>.

ют, что банковская система в течение ближайших десяти лет исчезнет. Это станет возможным вследствие дальнейшего распространения информационных технологий и их продуктов: магазинов с электронными кассами, ботов, обслуживающих клиентов, беспилотных автомобилей и пр.;

- «цифровой разрыв» – разрыв в цифровом образовании, условиях доступа к цифровым услугам и продуктам и, как следствие, разрыв в уровне благосостояния людей, находящихся в одной стране или в разных странах.

3. Материалы и методы

Каждый коллективный субъект, действующий в экономике, в терминах А.А. Богданова может быть обозначен как организованный комплекс, понимаемый им как «целое больше суммы его частей».

Каждый такой организованный комплекс создает множество разного рода *сигналов* и одновременно получает их от других субъектов. Для транспортной отрасли такого рода сигналами могут быть: спрос на услуги перевозки, динамика производства у ключевых грузоотправителей, состояние инфраструктуры, макроэкономическая конъюнктура, изменение налоговых и кредитных ставок, индексы оптимизма производителей, численность населения, динамика конечного спроса, энергообеспеченность страны и т.п. Часть этих сигналов является для транспортного предприятия *внешним шумом*, а другая часть распознается среди этого шума, встраивается в известные предприятию причинно-следственные связи, изменяет его поведение и в силу этого становится информацией. Другими словами, под *информацией* в настоящей статье понимаются внешние сигналы, различные организованным комплексом среди окружающего его шума и встроенные в его причинно-следственные связи, что позволяет ему адаптировать свою активность к непрерывно изменяющейся внешней среде.

Чувствительность к внешним сигналам и способность к их различению увеличиваются по мере развития и усложнения организационной структуры субъекта. В ходе этого информация превращается в универсальный инструмент ингрессии (в понимании Богданова), то есть в инструмент, способный соединять активности предельно разнокачественных областей: техносферу и человека, технику и экономику, естественные и гуманитарные науки и др. Однако для этого должна быть выделена и приведена к единообразию и единому пониманию некоторая категория сигналов из этих областей. Такими сигналами в человеческой цивилизации стали *количественные* данные, а основным способом их распознавания и понимания – математика, которая, по мнению Богданова, одинаково применима «к сочетаниям астрономических миров и биологических клеток, живых людей и эфирных волн, научных идей и атомов энергии» [Богданов, 1989. С. 124]. Действительно, математику «определяют как “науку о величинах”. Величина же есть результат измерения; а измерение означает последовательное прикладывание к измеряемому объекту некоторой мерки и, очевидно, исходит из той предпосылки, что целое равно сумме частей» [Богданов, 1989. С. 124].

Выяснилось также, что оперирование такой математизированной, то есть обезличенной и универсально применимой, информацией позволяет более полно выявлять причинно-следственные связи и использовать принципиально новую возможность: моделировать реальность без необходимости приводить каждый раз в движение материю и человеческое бытие, преодолевая их инерцию. Для этого человечество в разные периоды своего существования использовало разные *материальные носители*: человеческую способность запоминать (цивилизацию памяти), подручные физические объекты (древесину, бересту, глину, камень, узелки и т.п.) (цивилизацию образов), слоговую и алфавитную письменность (цивилизацию буквы), математические знаки (цивилизацию числа), бинарные знаки (цивилизацию цифры)... Тем самым человечество постоянно совершенствовалось в использовании общих, ингрессионных аспектов окружающих его процессов и явлений, достигнув в этом поразительных успехов.

4. Результаты исследования

Всякий отдельный транспортный процесс можно понимать как процесс соединения материальных объектов (грузов, подвижного состава, объектов инфраструктуры и др.) с энергией, информацией и человеческим трудом. В этом процессе информация применяется как *прикладная технология* такого соединения, и поэтому ее можно обозначить как *информацию первого уровня* (или прикладную информацию).

С накоплением опыта у перевозчика на базе информации первого уровня возникает *информация второго уровня* (или поведенческая информация) в виде понимания и предварительного моделирования *поведения* владельцев объектов: грузов, объектов инфраструктуры, труда, энергии и информации первого уровня. Этих владельцев можно назвать основными субъектами реальной экономики.

Со временем выяснилось, что эта система информационного моделирования позволяет разрабатывать и применять *собственные инструменты* воздействия на реальную экономику, например в виде системы распределения рисков грузоотправителей, когда торговые караваны и корабли финансировались несколькими торговцами вскладчину или, позже, в виде акционерно-долевой собственности. Наиболее глобальным оказалось влияние такого информационного инструмента, как деньги, появление которых позволило существенно минимизировать риски, время и транзакционные издержки, выстраивая максимально длинные производственные цепочки. Таким образом, возникла возможность не только фиксировать и предсказывать события и процессы в реальной экономике, но и во многом определять их. Такого рода цифровые сигналы можно назвать *информацией третьего уровня* (или детерминистской, директивной информацией). Такие сигналы могут быть как формальными, так и неформальными:

- денежные средства и финансовые контракты;
- права на ресурсы,
- плановые задания, сметы, бюджеты, прогнозы;
- права долевого участия;

- доступ к материальным и нематериальным объектам;
- договоры о будущих поставках, услугах и работах;
- личные отношения, положение в малой группе;
- общественная репутация и положение в обществе, политический вес.

Тем самым человек с помощью информации поэтапно получил следующие возможности: моделирование соединения факторов производства → моделирование поведения владельцев этих факторов → предсказание реакций владельцев и управление их поведением.

С этой точки зрения *информационная система в экономике* – это система фиксации и обработки количественных сигналов, поступающих от субъектов реальной экономики, обладающая способностью влиять на поведение этих субъектов с помощью обратных информационных сигналов.

Если информация первого уровня, по сути, является алгоритмом взаимодействия субъектов реальной экономики в конкретной ситуации, то информационные сигналы третьего уровня запускают эти алгоритмы. Это кроме всего прочего означает, что возможность прогнозирования и информационного регулирования поведения субъектов реальной экономики гармонично сочетается с их автономностью, так как получение денег и других сигналов фактически запускает у конкретного субъекта пакет заранее заложенного алгоритма действий. Информационный сигнал требуется только для смены одного алгоритма на другой, после чего субъекты реальной экономики действуют самостоятельно. В силу этого применять информацию третьего уровня можно максимально гибко, комбинируя такого рода алгоритмы в длинные производственные цепочки.

Исходя из сказанного, *цель информационной экономики* – это повышение идеальности реальной экономики путем устранения разного рода потерь, рисков и непродуктивных действий. Для этого каждый реальный производственный процесс первоначально обкатывается на информационных моделях. Опираясь на правило Паретто, можно сказать, что информационная экономика призвана помочь реальной экономике в выполнении только продуктивных 20% действий, устраняя оставшиеся 80%.

Вследствие своих уникальных преимуществ информационная экономика теперь в состоянии управлять реальной экономикой, в то время как *реальная экономика управлять информационной не может*. Это фактически означает, что информационная и реальная экономики соотносятся как система и подсистема. И это не случайно, так как государство, наука, образование, воспитание, искусство и многое другое относятся именно к информационной системе.

Однако сегодня мы видим, что *информационная система*, основанная на оперировании числами (0, 1, 2, ..., 9), стремительно превращается в *цифровую* систему, использующую всего два символа: 0 и 1. В результате этого процесса, например, ценность художественного произведения, фильма, видеоролика, интернет-сайта, научной статьи и многого другого сегодня оценивается по количеству просмотров, комментариев, цитат и др. Примечательно, что содержание этих просмотров, комментариев и цитат перестало иметь хоть какое-либо значение: важно только то, что был сделан выбор из двух вариантов (посмотрел – не посмотрел, прочи-

тал – не прочитал, процитировал – не процитировал и т. п.). Таким образом, информация теперь зачастую превращается в чередование простейших и однозначно трактуемых состояний: да – нет, ложь – истина, «+» и «-», «вкл» – «выкл», 0 – 1.

В то же время и обратное движение информации – от информационной системы к реальной экономике – часто приобретает ту же двоичную форму: да – нет, выполнять – не выполнять, допустимо – недопустимо, нельзя – можно, согласовано – не согласовано и т. д. То же самое касается и оценок деятельности субъектов реальной экономики: хорошо – плохо, приемлемо – неприемлемо, поддержать предложение – не поддерживать, выделять ресурсы – не выделять и т. д. Получив такого рода бинарную информацию, субъекты реальной экономики начинают выполнять тот или иной заранее заложенный в них алгоритм действий.

С этой точки зрения цифровизация – это не что иное, как понижение чувствительности информационной системы, укрупнение калибра воспринимаемых сигналов и единицы получаемой и передаваемой информации. Но это же обеспечивает и повышение стабильности управления (подобно тому, как QR-код в ряде случаев более прост и поэтому более целесообразен, чем буквенно-числовой код), а также улучшение предсказуемости реакций со стороны реальной экономики.

На наш взгляд, информационная и цифровая экономики существуют сегодня параллельно и решают разные задачи:

- задачи информационной экономики: улавливание сигналов реальной экономики, их формализация и встраивание в причинно-следственные связи для прописывания алгоритмов поведения субъектов этой реальной экономики;
- задачи цифровой экономики: запуск того или иного алгоритма и фиксация обратных сигналов об их выполнении.

Условным примером может послужить ситуация, когда правительство страны, уловив сигналы о состоянии реальной экономики, разработало конкретные, детальные алгоритмы для стимулирования отдельных отраслей (то есть с помощью инструментов информационной экономики) и принимает решение о запуске этих алгоритмов (то есть по присущему цифровой экономике бинарному принципу: стимулировать – не стимулировать).

Другими словами, информационная экономика отслеживает состояние реальной экономики и создает шаблоны алгоритмов для нее, а цифровая – запускает пакеты этих шаблонов и принимает отчеты об их выполнении.

В этой связи неудивительно, что цифровая экономика ориентирована на бинарное, диджитальное представление информации, ведь цифра или «digit – управляющий сигнал в информационно-компьютерных системах» [Катасонов, 2019. С. 65].

Выделение из информационной системы цифровой подсистемы является реакцией на непрерывное умножение объема циркулирующей информации и соответствующее уменьшение способности информационной системы по ее интерпретации. В наиболее типичных и не требующих погружения в алгоритмы сферах система выбрала наиболее простой способ фиксации и обработки единицы информа-

ции, пригодный для любого информационного носителя и использующий предельно простые и общие единицы измерения, то есть единицу и ноль, являющиеся законченными (а не промежуточными) состояниями и не допускающими множества толкований.

5. Цифровая экономика на транспорте

Исходя из сказанного, информационная экономика на транспорте должна обеспечивать соединение в единый организованный комплекс:

- технологий перевозки (информация первого уровня);
- деятельности перевозчиков, грузоотправителей и грузополучателей, а также третьих лиц (банков, страховых компаний, государства и т. п.) (информация второго уровня);
- долгосрочных интересов субъектов реальной экономики (информация третьего уровня).

Информационную экономику можно считать эффективной, если степень идеальности этого организованного комплекса возрастает, то есть происходит движение к такому состоянию, когда функция перевозки выполняется, а субъект перевозки постепенно исчезает³.

С этой целью информационная экономика отслеживает контрольные параметры реальной экономики и при необходимости корректирует модель. Именно поэтому специалист по информации (контролер, бухгалтер, нормировщик, экономист, программист и др.) стал обязательным участником любого производственного процесса, а штат информационных подразделений на предприятиях постоянно увеличивается с одновременным увеличением зарплат.

Информационная система и реальная экономика развивались одновременно. Поэтому наряду с понятием «технологическое разделение труда» (в трактовке А. Смита [Щедровицкий, Кузнецов, 2016]) целесообразно применить такое понятие, как информационное разделение труда, под которым здесь понимается выделение трех уровней информации: технологии перевозки (информация первого уровня); данные о деятельности участников процесса перевозки (информация второго уровня); данные о долгосрочных интересах субъектов реальной экономики (информация третьего уровня). Рассмотрим этот момент более подробно.

Вряд ли требует доказательства тезис о том, что чем масштабнее деятельность предприятия (например, объем перевозок), тем сложнее должна быть его внутренняя структура. В период своего максимального усложнения структура транспортной компании кроме собственно транспортных подразделений включает также снабженческие (отдел логистики, склады, терминалы, гаражи, депо, учебные центры и т. п.), экономические (бухгалтерия, отдел труда и зарплаты, финансовый отдел и т. п.), технологические (отдел НИОКР, правовой отдел, научный центр и т. п.) и политические (аппарат директора, правление, совет директоров и т. п.) подразделения. Каждое из этих специализированных подразделений является результатом технологического разделения труда,

опирается на информацию соответствующего уровня и возникает при определенном, сугубо индивидуальном для каждого предприятия объеме перевозок и количестве задействованных субъектов (рис. 1).

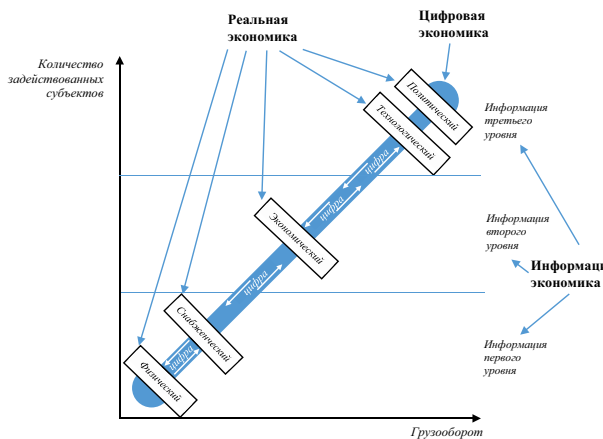
На рис. 1 показано, что по мере увеличения объема перевозок в реальной экономике все более возрастает роль отношений с внешними субъектами, что требует от транспортного предприятия выделения соответствующих специализированных подразделений для работы с ними. Этот процесс был бы невозможен, если бы информационная система не накапливала соответствующих сведений и не расширяла у транспортного предприятия горизонт понимания интересов субъектов реальной экономики. Учитывая, что знание предшествует осознанному действию, наличие информационной системы является необходимым условием для последующего появления каждого из технологических подразделений, относящихся к реальной экономике. Цифровая экономика на рисунке показана как прямая связь между технологическими подразделениями, носящая цифровой, бинарный характер и нацеленная на передачу распоряжений и отчетов об их выполнении.

Уровни информации показаны горизонтальными участками, так как, например, в ряде случаев освоение технологии позволяет перевозчику масштабировать ее, добиваясь увеличения грузооборота без увеличения числа внешних субъектов.

Кроме того, модель на рис. 1 показывает ситуацию, когда рост объема перевозки совпадает с ростом количества задействованных субъектов. Однако на практике возможна ситуация, когда объем перевозок возрастает без существенного изменения числа субъектов (рис. 2) или число субъектов растет при неизменном объеме перевозок (рис. 3).

Модель на рис. 2 может иметь место, когда перевозчик выполняет монофункцию: перевозка в интересах ограниченного круга грузоотправителей (например, в качестве дочернего предприятия). В этом случае все взаимоотношения

Рис. 1. Модель взаимозависимости информационной, реальной и цифровой экономик (сбалансированная стратегия)
Fig. 1. Model of interdependence of information, real and digital economies (balanced strategy)



Источник: составлено авторами.

³ Примером такой идеальной системы в ряде случаев может служить река (для попутных перевозчиков). В современной экономике приблизиться к этому состоянию пытаются, например, с помощью создания беспилотных транспортных средств.

с поставщиками и подрядчиками, разработчиками технологий, политическими силами, государственными органами берет на себя головная компания. Технологические уровни перевозчика при этом, как правило, укрупняются.

Модель на рис. 3 может иметь место, когда перевозчик осуществляет свою деятельность в условиях возрастающей нестабильности внешней среды, требующей существенных транзакционных издержек без увеличения грузооборота. Для преодоления этой нестабильности он вынужден создавать специализированные подразделения, взаимодействующие с конкретными внешними субъектами. Возрастающие при этом затраты по содержанию разросшейся организационной структуры включаются в тариф и оплачиваются грузоотправителями.

Исходя из этого, стратегию транспортного предприятия, соответствующую модели на рис. 2, можно назвать консервативной (рутинной), а стратегию транспортного предприятия, соответствующую модели на рис. 3, – транзакционной.

Кроме того, у транспортного предприятия одни технологические уровни могут быть более успешными, чем другие. Такая неравномерность является уникальной для каждого предприятия и может быть зафиксирована через анализ цифрового двойника этого предприятия. Этот аспект будет рассмотрен далее.

6. Оценка уровней информации

Для проверки модели, представленной на рис. 1, требуется внутренняя, специально собранная информация о деятельности транспортного предприятия. В силу отсутствия такого рода информации в открытом доступе будет использована общедоступная информация о деятельности грузового железнодорожного транспорта России (главным образом

данные Госкомстата России), которая хотя и характеризует его деятельность только косвенно, но позволяет в первом приближении судить о цифровом двойнике.

С учетом этой принципиальной оговорки рассмотрим все три информационных уровня и попытаемся смоделировать цифровой двойник железнодорожного транспорта России в бинарном, цифровом представлении.

6.1. ИНФОРМАЦИЯ ПЕРВОГО УРОВНЯ

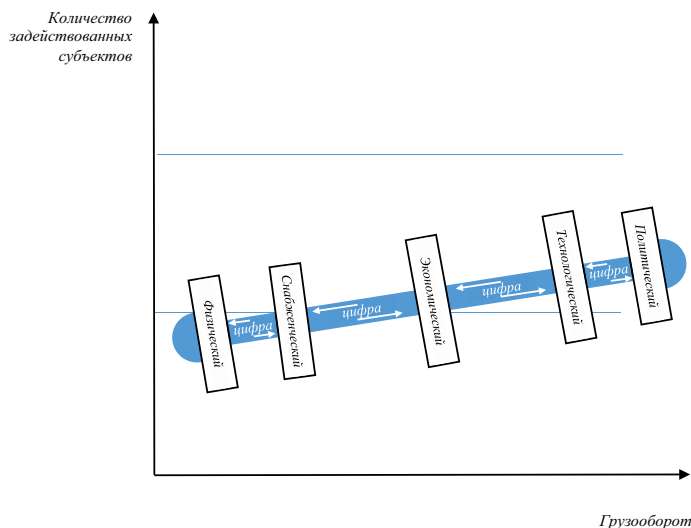
Если предположить, что A – это множество доступных перевозчику действий (независимо от того, действует ли он в своих собственных интересах или в интересах других лиц), то в этом множестве существует некоторое подмножество действий B ($B \subset A$), в котором перевозчик может соединять факторы производства для осуществления процесса перевозки.

В свою очередь в этом подмножестве B существуют несколько альтернативных алгоритмов соединения факторов производства (то есть подмножеств третьего уровня, например два альтернативных алгоритма-подмножества C и D): от случайно-спонтанного до проверенного и детально выверенного. Эти алгоритмы различаются информацией, которая лежит в их основе. Каждый перевозчик способен ранжировать эти алгоритмы от лучшего к худшему, например алгоритм грузоперевозки C продуктивнее алгоритма D : $C > D$, так как приносит большие физические результаты от перевозки (R_C).

Выбрав таким образом наилучший алгоритм, перевозчик придерживается его в дальнейшем, в результате чего происходит процесс, который Богданов назвал прогрессивным подбором [Богданов, 1989. С. 202], проявляющимся в спонтанном закреплении тех действий, которые улучшают технологический процесс. Другими словами, перевозчик

Рис. 2. Модель роста объема перевозок при ограниченном увеличении числа задействованных субъектов (консервативная стратегия)

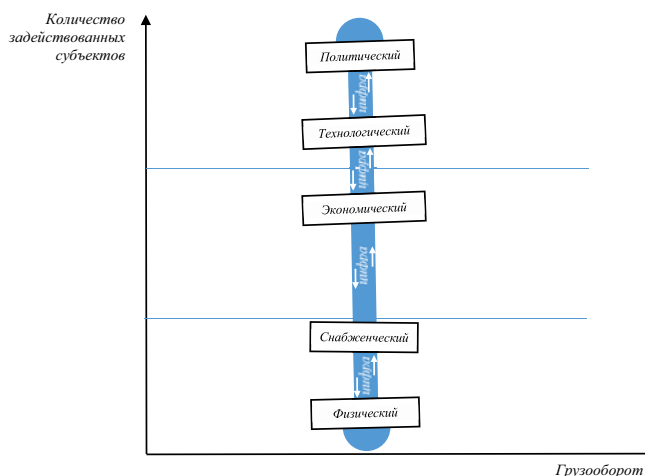
Fig. 2. Model of transportation growth with a limited increase in the number of actors involved (conservative strategy)



Источник: составлено авторами.

Рис. 3. Модель роста числа задействованных субъектов при неизменном объеме перевозок (транзакционная стратегия)

Fig. 3. The model of growth of the number of the involved subjects with the invariable volume of transportation (transactional strategy)



Источник: составлено авторами.

Таблица 1
Показатели деятельности железнодорожного транспорта
Table 1
Parameters of railway transport activity

Показатель	2005	2010	2015	2017	2018	2019
Протяженность путей сообщения (тыс. км)	...	124	118	123	122	122
Рабочий парк груженых железнодорожных вагонов (тыс. шт. в среднем в сутки)	270	328	388	417	461	473
Эксплуатационная длина железнодорожных путей (тыс. км)	85	86	86	87	87	87
Плотность железнодорожных путей общего пользования (км на 1000 км ² территории)	5,0	5,0	5,0	5,1	5,1	5,1
Интенсивность грузоперевозок на 1 км длины железнодорожных путей общего пользования	21,8	23,5	26,7	28,8	30,0	29,9
Рабочий парк груженых железнодорожных вагонов (тыс. шт. в среднем в сутки)	270	328	388	417	461	473
Перевезено грузов (млн т)	1273	1312	1329	1384	1411	1399
Число происшествий на железнодорожном транспорте	5	1	15	14	10	18

Источник: Транспорт в России. 2020: Стат. сб. М., Росстат.

совершенствует алгоритм и следствием этого «является возрастание его активностей за счет среды» [Богданов, 1989. С. 202]. На внешнем плане это проявляется в уменьшении числа непродуктивных действий, а также потерь времени и оборотных средств, что в целом равнозначно увеличению физических результатов процесса перевозки от оптимизации одного и тоже алгоритма:

$$R_{C1} > R_{C2} > \dots > R_{Cn}. \quad (1)$$

Об эффективности транспортного предприятия в моделировании процесса перевозки свидетельствует информация первого уровня (прикладная технология), которая должна обеспечивать снижение трудоемкости и энергоемкости грузоперевозки, уменьшение времени перевозки, сбережение подвижного состава и пути, предоставление грузоотправителям физического доступа ко все более отдаленным территориям и т. п.

Как видим на табл. 1, в 2019 году по сравнению с 2005-м наблюдается существенный рост показателей деятельности железнодорожного транспорта, позитивно характеризующий применение практических технологий. Исключением является рост числа происшествий, что может свидетельствовать об ослаблении контроля за технологией перевозки.

В целом можно констатировать, что неравенство (1) выполняется, а значит, железнодорожный транспорт России в целом эффективно работает с информацией первого уровня.

6.2. ИНФОРМАЦИЯ ВТОРОГО УРОВНЯ

Второй информационный уровень цифрового двойника должен показывать, насколько эффективно транспортные компании могут предсказывать поведение своих партнеров по перевозке, то есть синхронизировать свою деятельность с деятельностью основных грузоотправителей и грузополучателей.

Если A – это множество возможных действий железнодорожного транспорта, а H – это множество возможных действий грузоотправителей, то подмножество совместно выполняемых действий G (рис. 4, а) со временем увеличивается (рис. 4, б) в силу накопления опыта, синхронизации их деятельности и уменьшения транзакционных издержек.

Более того, с углублением разделения труда им становятся доступны подмножества действия E и F , которые ранее были недостижимы (рис. 4, в). Это может проявляться, например, в совместном использовании подвижного состава, инфраструктуры, учебных центров и т. п.

Для анализа таких процессов было бы целесообразно сопоставить следующие показатели (одинаково применимые и для перевозчика, и для его партнеров): ритмичность основной деятельности, уровень загрузки основных средств, длительность основных производственных циклов и т. п. Однако при имеющейся общедоступной информации об адаптации деятельности перевозчика к активности его партнеров (например, компаний, занимающихся добычей каменного угля) можно судить косвенно: по профициту/дефициту вагонов и динамике производства основных грузоотправителей (рис. 5).

Как видно из рисунка, за рассматриваемый период динамика добычи каменного угля находится в противофазах по отношению дефициту/профициту вагонов для его перевозки. Между тем каменный уголь является ключевым для железнодорожного транспорта: на его долю приходится около трети от общего объема погрузки. То же самое относится и к динамике добычи металлических руд. Такая ситуация имеет множество причин: от неэластичности предложения вагонов и длительности инвестиционного цикла по обновлению вагонного парка до волатильности спроса на услуги по грузоперевозке.

Это означает, что на втором информационном уровне деятельность железнодорожных компаний недостаточно синхронизирована с их основными партнерами (как минимум в среднесрочной перспективе).

Рис. 4. Последствия синхронизации деятельности железнодорожного транспорта и грузоотправителей
Fig. 4. Effect of synchronization of railway transport and shippers activities



Источник: составлено авторами.

6.3. ИНФОРМАЦИЯ ТРЕТЬЕГО УРОВНЯ

Эффективность транспортного предприятия на третьем уровне информации означает, что оно способно оказывать влияние на других участников перевозочного процесса, используя новые технологии и политические рычаги, а также гармонизировать отношения с ними в долгосрочной перспективе. Следствием этого должна являться гармонизация их долгосрочных интересов и результативности основной производственной деятельности, а также – что принципиально важно – появление инструментов управления деятельностью грузоотправителей, в результате чего множество их возможных действий H становится подмножеством действий железнодорожного транспорта A (рис. 6, б). Другими словами, грузоотправители становятся подсистемой железнодорожного транспорта ($H \subset A$).

При имеющейся информации ситуацию на рис. 6 можно оценить только косвенно – через сравнение прибыльности или рентабельности их деятельности (табл. 2).

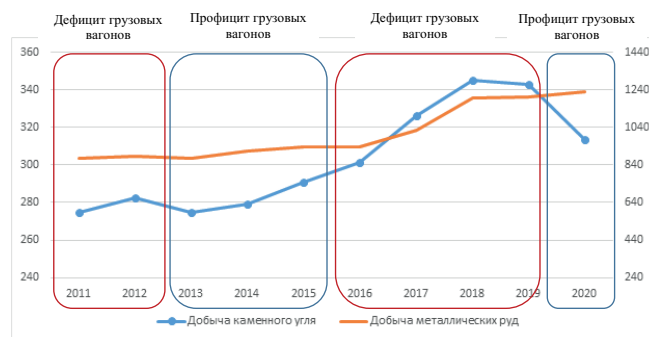
Из табл. 2 можно сделать вывод о том, что рентабельность основной производственной деятельности грузоотправителей (предприятий по добыче угля, газа, нефти и руд) в несколько раз превышает рентабельность основной производственной деятельности железнодорожных перевозчиков. Разумеется, каждая из этих отраслей имеет свой рынок сбыта, степень контроля над ценой, уровень монополизации, уровень налогообложения и т.д. Тем не менее железнодорожный транспорт демонстрирует меньшую инвестиционную привлекательность, недостаточный контроль над себестоимостью перевозки и экономическую эффективность новых технологий. Также немаловажна регуляторная функция государства, прямо и косвенно ограничивающего размер тарифов. Тем не менее рынок железнодорожных грузоперевозок является рынком покупателя (то есть грузоотправителей).

В то же время по рентабельности активов железнодорожный транспорт является безусловным лидером среди представленных в табл. 2 отраслей, что может быть объяснено относительно меньшим размером таких активов в денежном выражении.

В результате такого рода анализа складывается образ цифрового двойника для железнодорожного транспорта России (рис. 7).

Правая часть рис. 7 (б) представляет собой не что иное, как цифровой двойник предприятия, составленный из всех

Рис. 5. Профицит/дефицит вагонов и динамика производства основных грузоотправителей
Fig. 5. Surplus/deficit of cars and dynamics of the main cargo shippers' production



Источники: Россия в цифрах. 2019: Крат. стат. сб. М.: Росстат, 2019; [Савчук, 2020].

трех видов информации, что дает новые инструментальные возможности. Благодаря ему, например, можно с большей или меньшей точностью судить о реальной экономике перевозчика, а также об эффективности его работы с информацией.

Степень разрешения может быть разной: от представленной на рис. 5 максимально обобщенной до раскрывающей работу отдельных подразделений транспортного предприятия.

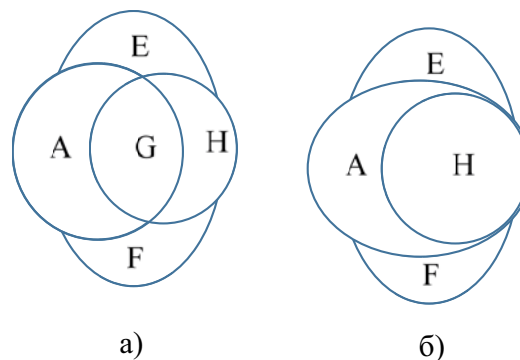
7. Обсуждение и заключение

Информация сегодня является ключевым фактором в экономике в качестве ресурса, товара, источника добавленной стоимости и способа занятости. Появление интернета, снижение стоимости доступа в глобальную сеть, умножение вычислительных способностей стали настоящей цифровой революцией, которая изменила нашу жизнь в целом и экономику в частности.

Цифровизация стала важнейшим фактором деятельности всех отраслей экономики, в том числе транспорта. Очевидно, что современный транспорт и логистика потребуют

Рис. 6. Управление деятельностью грузоотправителей благодаря информации третьего уровня железнодорожного транспорта

Fig. 6. Management of cargo shippers activity thanks to the information of the third level of the railway transport



Источник: составлено авторами.

Таблица 2

Рентабельность проданных товаров, продукции (работ, услуг) и активов организаций по видам экономической деятельности (%), 2017–2018 годы

Table 2

Profitability of sold goods, products (works, services) and assets of organizations by types of economic activity (%), 2017–2018

Показатель	2017		2018	
	Рентабельность проданных товаров, продукции (работ, услуг)	Рентабельность активов	Рентабельность проданных товаров, продукции (работ, услуг)	Рентабельность активов
Всего	6,7	3,8	12,3	6,4
Добыча полезных ископаемых, в том числе:	24,6	10,4	33,6	17,3
добыча угля	28,4	16,1	31,4	11,6
добыча сырой нефти и природного газа	24,1	10,7	35,3	20,4
добыча металлических руд	47,4	11,3	57,3	17,6
добыча прочих полезных ископаемых	41,5	7,8	50,9	7,6
Деятельность железнодорожного транспорта: грузовые перевозки	13,6	16,7	18,5	20,2

Источник: Россия в цифрах. 2019: Крат. стат. сб. М., Росстат, 2019, 261–263.

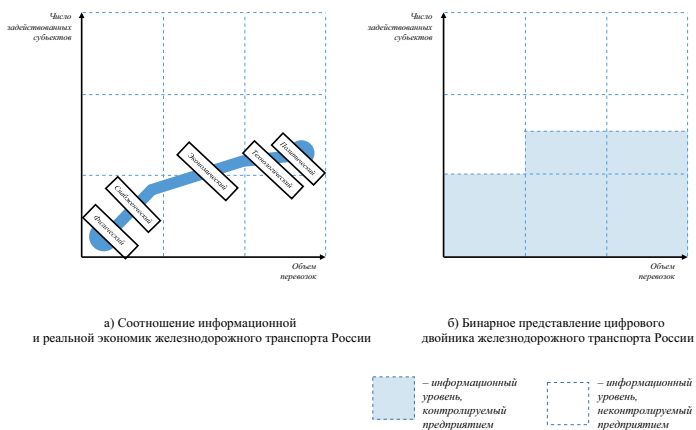
иного подхода к управлению, который не только учитывает технологические аспекты, но и ориентирован на клиента в большей степени, чем когда-либо прежде. Это формирует предпосылки для создания цифрового сервиса XXI века, клиентоориентированной экономики по требованию в условиях цифровой реальности.

Это вполне ясно осознается и руководителями транспортных компаний, и представителями власти. Так, распоряжением правительства от 19 марта 2019 года №466-р⁴ утверждена долгосрочная программа развития ОАО «Российские железные дороги» до 2025 года, предполагающая реализацию проекта «Цифровая железная дорога», в том числе:

- создание единого информационного пространства грузовых перевозок и пассажирского комплекса;

Рис. 7. Образ цифрового двойника для железнодорожного транспорта России

Fig. 7. Image of digital twin for Russian railway transport



Источник: составлено авторами.

⁴ Распоряжение Правительства РФ от 19.03.2019 № 466-р «Об утверждении программы развития ОАО «РЖД» до 2025 года». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_320741/.

Литература

1. Богданов А.А. (1989). *Тектология (Всеобщая организационная наука)*. Кн. 1. М.: Экономика.
2. Катасонов В.Ю. (2019). *Вначале было Слово, а в конце будет цифра: Статьи и очерки*. М.: Кислород.
3. Мазо Л.А., Мирошниченко О.Ф., Ефимова Е.Н. (2021). История и современность экономики железнодорожного транспорта в трудах ученых ВНИИЖТ. *Вестник НИИЖТ*, 80(3): 168–181. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-168-181>.
4. Савчук В.Б. (2020). *Железнодорожный подвижной состав 2020: состояние и перспективы*. URL: http://www.ipem.ru/files/files/research/20200424_rolling_stock_2020.pdf.
5. Щедровицкий П. Г., Кузнецов Ю. В. (2016). Адам Смит о разделении труда. *Вопросы философии*, 5: 27–38.
6. Banalieva E., Dhanaraj Ch. (2019). Internalization theory for the digital economy. *Journal of International Business Studies*, 50: 1372–1387. URL: <https://doi.org/10.1057/s41267-019-00243-7>.
7. Barbosa J., Leitão P., Trentesaux D., Colombo A.W., Karnouskos S. (2016). Cross benefits from cyber-physical systems and intelligent products for future smart industries. *14th IEEE International Conference on Industrial Informatics*. Poitiers, France, 504–509.
8. Brennen S., Kreiss D. (2016). Digitalization. *The International Encyclopedia of Communication Theory and Philosophy*, 1–11.
9. Brouthers K., Geisser K., Rothlauf F. (2016). Explaining the internationalization of ibusiness firms. *Journal of International Business Studies*, 47(5): 513–534.
10. Dahlman C., Mealy S., Wermelinger M. (2016). *Harnessing the digital economy for developing countries*. Paris, OECD.
11. Davies A., Donald B., Gray C., Knox-Hayes J. (2017). Sharing economies: Moving beyond binaries in a digital age. *Cambridge Journal of Regions. Economy and Society*, 10: 209–230. DOI:10.1093/cjres/rsx005.
12. Engel J.S. (2015). Global clusters of innovation. *California Management Review*, 57(2): 36.
13. Foster Ch., Azme Sh. (2020). Latecomer economies and national digital policy: An industrial policy perspective. *The Journal of Development Studies*, 56(7): 1247–1262. DOI: 10.1080/00220388.2019.1677886.
14. Grieves M. (2017). Digital twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication. *Florida Institute of Technology*, 24.
15. Kling R., Lamb R. (2000). IT and organizational change in digital economies. In *Understanding the Digital Economy*; MIT Press: Cambridge, MA, USA, 295–324.
16. Kuchinke B.A. (2016). Vidal M. Exclusionary strategies and the rise of winner-takes-it-all markets on the Internet. *Telecommunications Policy*, 40(6): 582–592.
17. Sampath P.G. (2018). Promoting transformation in the digital economy. *Global Development and Environment Institute Working Paper*, 18–04: 26.
18. Srnicek N. (2016). *Platform capitalism*. Cambridge, UK: Polity Press.
19. Weber S. (2017). Data, development and growth. *Business and Politics*, 19(3): 1–27.
20. Zhu F., Iansiti M. (2012). Entry into platform-based markets. *Strategic Management Journal*, 33(1): 88–106.

References

1. Bogdanov A.A. (1989). *Tectology (General Organizational Science)*, book 1. Moscow, Ekonomika. (In Russ.)
2. Katasonov V.Y. (2019). *At the beginning there was a Word, and at the end there will be a figure: Articles and essays*. Moscow, Kislod. (In Russ.)
3. Mazo L.A., Miroshnichenko O.F., Efimova E.N. (2021). The history and modernity of the railway transport economy in the works of VNIIZHT scientists. *Vestnik VNIIZHT*, 80(3): 168–181. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-168-181>. (In Russ.)
4. Savchuk V.B. (2020). *Railway rolling stock 2020: Status and prospects*. URL: http://www.ipem.ru/files/files/research/20200424_rolling_stock_2020.pdf. (In Russ.)
5. Shchedrovitsky P.G., Kuznetsov Y.V. (2016). Adam Smith on the division of labor. *Questions of Philosophy*, 5: 27–38. (In Russ.)
6. Banalieva E., Dhanaraj Ch. (2019). Internalization theory for the digital economy. *Journal of International Business Studies*, 50: 1372–1387. URL: <https://doi.org/10.1057/s41267-019-00243-7>. (In Russ.)
7. Barbosa J., Leitão P., Trentesaux D., Colombo A.W., Karnouskos S. (2016). Cross benefits from cyber-physical systems and intelligent products for future smart industries. *14th IEEE International Conference on Industrial Informatics*. Poitiers, France, 504–509.
8. Brennen S., Kreiss D. (2016). Digitalization. *The International Encyclopedia of Communication Theory and Philosophy*, 1–11.
9. Brouthers K., Geisser K., Rothlauf F. (2016). Explaining the internationalization of ibusiness firms. *Journal of International Business Studies*, 47(5): 513–534.
10. Dahlman C., Mealy S., Wermelinger M. (2016). *Harnessing the digital economy for developing countries*. Paris, OECD.
11. Davies A., Donald B., Gray C., Knox-Hayes J. (2017). Sharing economies: Moving beyond binaries in a digital age. *Cambridge Journal of Regions. Economy and Society*, 10: 209–230. DOI:10.1093/cjres/rsx005.
12. Engel J.S. (2015). Global clusters of innovation. *California Management Review*, 57(2): 36.
13. Foster Ch., Azme Sh. (2020). Latecomer economies and national digital policy: An industrial policy perspective. *The Journal of Development Studies*, 56(7): 1247–1262. DOI: 10.1080/00220388.2019.1677886.

14. Grieves M. (2017). Digital twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication. *Florida Institute of Technology*, 24.
15. Kling R., Lamb R. (2000). IT and organizational change in digital economies. In *Understanding the Digital Economy*; MIT Press: Cambridge, MA, USA, 295-324.
16. Kuchinke B.A. (2016). Vidal M. Exclusionary strategies and the rise of winner-takes-it-all markets on the Internet. *Telecommunications Policy*, 40(6): 582-592.
17. Sampath P.G. (2018). Promoting transformation in the digital economy. *Global Development and Environment Institute Working Paper*, 18-04: 26.
18. Srnicek N. (2016). *Platform capitalism*. Cambridge, UK: Polity Press.
19. Weber S. (2017). Data, development and growth. *Business and Politics*, 19(3): 1-27.
20. Zhu F., Iansiti M. (2012). Entry into platform-based markets. *Strategic Management Journal*, 33(1): 88-106.

Информация об авторах

Ольга Николаевна Римская

Кандидат экономических наук, доцент, руководитель научно-образовательного комплекса АО «ВНИИЖТ» (Москва, Россия). ORCID 0000-0002-1548-0815, Researcher ID 583440, SPIN-код: 4185-4532, AuthorID: 583440.

Область научных интересов: мировая экономика, цифровая экономика, экономика труда, экономика образования, непрерывное образование, европейские системы и модели образования, управление человеческими ресурсами, мотивация и стимулирование труда, экономические и политические проблемы гуманитарного кризиса.

olgarim@mail.ru.

Игорь Васильевич Анохов

Кандидат экономических наук, доцент, выпускающий редактор научно-издательского отдела АО «ВНИИЖТ» (Москва, Россия). ORCID: 0000-0002-5983-2982, Researcher ID: AAF 9428 2020, SPIN: 1444-3259, AuthorID: 260787.

Область научных интересов: труд, экономические интересы, теория фирмы, транспорт.

i.v.anokhov@mail.ru

About the authors

Olga N. Rimskaya

Candidate of economic sciences, associate professor, head of the Scientific and Educational Complex of the Research Institute of Railway Transport (Moscow, Russian Federation). ORCID 0000-0002-1548-0815, Researcher ID 583440, SPIN: 4185-4532, AuthorID: 583440.

Research interests: world economy, digital economy, labor economics, education economics, lifelong education, European systems and models of education, human resource management, motivation and stimulation of labor, economic and political problems of the humanitarian crisis.

olgarim@mail.ru

Igor V. Anokhov

Candidate of economic sciences, associate professor, chief-editor of the Scientific and Publishing Department of the Research Institute of Railway Transport (Moscow, Russian Federation). ORCID: 0000-0002-5983-2982, Researcher ID: AAF 9428 2020, SPIN: 1444-3259, AuthorID: 260787.

Research interests: labor, economic interests, theory of firms, transport.

i.v.anokhov@mail.ru

Статья поступила в редакцию 9.10.2021; после рецензирования 2.11.2021 принята к публикации 10.11.2021. Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The article was submitted on 9.10.2021; revised on 2.11.2021 and accepted for publication on 10.11.2021. The authors read and approved the final version of the manuscript.