
**NINA AGABEKOVA,
ALIAKSANDRA BIANZHEHA**

**ANALYSIS OF OCCUPATIONAL SEGREGATION
AS THE MAIN CAUSE OF THE GENDER PAY
GAP IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

Authors affiliation. *Nina AGABEKOVA (agabnin@mail.ru), Belarus State Economic University (Minsk, Belarus); Aliaksandra BIANZHEHA (sasha.bendegaweightlifting@mail.ru), Belarus State Economic University (Minsk, Belarus).*

Abstract. The authors conducted a comprehensive analysis of gender pay gaps in certain types of economic activities that are not categorized as traditionally «male» and «female», depending on occupation groups, length of service, level of education, and grouping of employed men and women in enterprises of the same type of activity with different levels of remuneration. The results of the analysis show that the size of the gender gap is influenced by the uneven distribution of men and women in small occupation groups (expressed in a significant excess of the share of men employed in the most highly paid small groups), as well as by the level of wages at enterprises.

Keywords: gender segregation; gender gap; employee structure; Duncan index; Ryabtsev index.

UDC 331.526

*Статья поступила
в редакцию 10. 04. 2024 г.*

В. В. ДЕМИРОВ

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ АНАЛИЗА
ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ**

Предпринята попытка формулировки базовых элементов новой теории цифровой экономики, включая ее понятийный каркас и инструментальные средства измерения основных процессов новой экономической действительности.

Формальные представления об изменении законов и принципов экономики по мере цифровой трансформации основываются на модификации потребительской функции, а также новом представлении о трансакции и циклическом круговороте продукции, товаров, услуг в виде воспроизводственных процессов.

Виталий Викторович ДЕМИРОВ (vitaly.demiroy@gmail.com), кандидат философских наук, главный советник отдела экономического анализа Белорусского института стратегических исследований, докторант ГНУ «Институт экономики НАН Беларуси» (г. Минск, Беларусь). ORCID.ID: 0000-0002-3643-8421.

Адаптация Закона возрастания функциональной информации Майкла Л. Вонга к предлагаемой автором базовой математической модели анализа цифровизации экономических процессов на макроуровне позволит добиться высокой точности при оценке направления цифровизации (позитивного усложнения или деградации экономической системы), а также, опираясь на результаты моделирования, принимать заблаговременные и комплексные меры по усилению позитивных и минимизации негативных эффектов цифровизации экономики.

Ключевые слова: математические модели; цифровая экономика, распределение; транзакция; потребительская функция; транзакционная функция; функция функциональности ресурсов; Закон возрастания функциональной информации.

УДК 338 + 33:004

Введение. Актуальность исследования математических моделей анализа цифровой экономики в современном мире обусловлена в первую очередь быстрым развитием цифровых технологий и значительным увеличением объема цифровой информации, которую необходимо анализировать. Математические модели играют ключевую роль в предсказании тенденций, оптимизации процессов, выявлении закономерностей и принятии обоснованных управленческих решений в условиях цифровизации экономики. Конкретизируя практическую значимость, следует отметить, что исследования в этой области позволяют разрабатывать эффективные методы анализа данных, прогнозировать поведение рынков, оптимизировать цифровые платформы и улучшать стратегическое планирование в компаниях.

Если говорить об исследованиях математических моделей анализа цифровой экономики на макроуровне, особая актуальность лежит в плоскости анализа роста ВВП, занятости, инфляции, фискальной политики и кредитно-денежной политики. С развитием цифровых технологий и увеличением объема цифровой информации становится возможным создание более точных математических моделей, которые способны предсказывать динамику экономических показателей на уровне страны или региона.

Данные модели позволят правительственным и финансовым органам более эффективно планировать свои действия, принимать обоснованные решения о фискальной и кредитно-денежной политике (КДП), а также прогнозировать последствия макроэкономических решений. Анализ цифровой экономики с использованием математических моделей на макроуровне поможет оптимизировать распределение ресурсов, управлять инфляцией, способствовать росту ВВП и созданию рабочих мест, а также улучшить финансовую устойчивость государства.

Поскольку цифровая экономика, в широком ее понимании, функционирует, по сути, в контексте моделирования и вычислительной обработки всех происходящих в ней процессов в «виртуальном мире», крайне важно раскрыть не просто роль математических моделей в изучении цифровой экономики, описании ее законов и принципов, прогнозировании направлений ее развития, но и предложить новые модели, соответствующие динамике экономической практики.

Поскольку в развитии цифровой экономики большое значение имеют глубина и масштабы автоматизации, главным (но не исчерпывающим) маркером определения движения экономики в сторону цифровизации является установление *интенсивного характера экономического роста*, который в цифровой экономике в первую очередь зависит не от роста объема «межмашинных транс-

акций», а от их особого качества, обусловленного использованием умных контрактов на основе искусственного интеллекта.

Можно предположить, что подобное качество контрактов по мере роста их использования в экономике будет вести к увеличению функциональности ресурсов, по сути, главного критерия цифровизации, подлежащего измерению с помощью использования предложенных в работе математических моделей.

I. Отдельные аспекты применения математики в экономических исследованиях и цифровизация. После того как быстрое развитие новых информационно-коммуникационных и сетевых технологий привело к появлению новых бизнес-моделей, широкому использованию новых аналитических инструментов в различных видах экономической активности и фактически *превращению информации в новый фактор производства* стало понятно, что экономическая теория и наука в лучшем случае не поспевают за практикой. Такие концепции, как постиндустриальная экономика и экономика услуг, информационная и сетевая экономика, в значительной степени не отражали реальную ситуацию на рынках, не объясняли логику принятия ключевых экономических решений на микро- и макроуровне. Результаты моделирования, которые получены с учетом ориентира на установки и принципы старых теорий, оказывались далеко неоднозначными и теряли свою практическую ценность.

Во многом кризис, в котором оказалась экономическая наука, может быть преодолен по мере создания новой экономической теории — теории цифровой экономики. Развитие этой теории будет зависеть от обеспечения исследований надежными источниками информации (зачастую доступ к значимой и определенным образом структурированной информации имеют лишь ангажированные экономисты-исследователи, работающие в интересах обладателя соответствующих данных) и аналитическими инструментами (Thomson Reuters Eikon, Thomson Reuters Innovations и подобные им инструменты для работы с большими объемами данных зачастую достаточно дороги для большинства академических экономистов), в том числе для работы с большими данными [1].

Кроме того, достаточно важным представляется то, насколько быстро будет формироваться и расширяться круг междисциплинарных исследователей — представителей компьютерных, экономических и социальных наук, способных к взаимопониманию и применению математических методов любой сложности к реальным экономическим задачам и проблемам. В этой связи крайне важным представляется адекватный выбор задач, правильная постановка вопросов, а также верные ожидания и представления об используемых математических моделях.

Во-первых, верная исследовательская траектория задается *осознанием реальных возможностей моделей, а также претензий на точность их прогнозов*. Очевидно, что для разных стадий и уровней развития экономики указанные возможности и точность будут разными. К примеру, когда мы говорим о постиндустриальной, информационной, либо сетевой экономике, которые существенным образом не меняют лежащие в их основе рыночные (институты) или смешанные формы хозяйствования, то сложно ожидать высокого уровня возможностей и точности моделей. Это справедливо по мере преимущественного использования классических вероятностей и статистических моделей в попытке описать и отразить фундаментальную неопределенность свободного рыночного обмена. Например, современная физика, которая также столкнулась с фундаментальной и неустранимой неопределенностью состояний элементарных частиц, выработала адекватный математический аппарат в виде некоммутативного аналога классической (колмогоровской) теории вероятности и теории стохастических процессов — *квантовую вероятность*. Допустимость использования данного математического аппарата в отношении описания экономических процессов — это предмет отдельного исследования.

Стоит упомянуть лишь то, что данный инструментарий не нашел широкого применения в экономических исследованиях.

Во-вторых, для других стадий и уровней развития экономики, в которых объем отношений свободного рыночного обмена будет существенно ниже, чем на сегодняшний момент, возможности моделей и их точность могут быть существенно иными. В качестве примера можно привести ситуацию, когда эффективность использования производственной функции на корпоративном уровне существенно выше ввиду значительно меньшего уровня неопределенности в рамках внутрифирменных процессов по сравнению с процессами на рынке. Продолжая данную логику, можно сказать, что в случае развития так называемого посткапиталистического сценария и превалирования иерархических межфирменных отношений над свободным рыночным обменом эффективность использования производственной функции для макроэкономического моделирования может приближаться к эффективности ее использования на корпоративном уровне.

Пока стоит отметить, что экономика далека от квантовых прогнозов и, скорее, близка к прогнозам погоды. Специалистам данная ситуация понятна, а широкой публике — нет, поскольку неудачи прогнозов погоды видны всем и сразу, а неудачи экономических прогнозов — нет.

Важно отметить, что данная ситуация не свидетельствует о неточности математического аппарата или принципиальной недоступности экономических процессов по отношению к моделям как таковым.

Так, даже неглубокое рассмотрение методологии прогнозирования погоды говорит о том, что она основана на достижениях геофизики и вычислительной математики, а геофизика, в свою очередь, является частью физики. То есть парадокс заключается в том, что неточный прогноз погоды основан на точных науках и методах. Геофизика и вычислительная математика имеют достаточно реальных достижений, чтобы не сомневаться в их точности. Важно понимать, экстраполируя данный пример на экономические науки, что точность геофизики и вычислительной математики достигается лишь при наличии достаточно полной и достоверной информации, а также необходимых вычислительных мощностей для ее обработки. Речь в данном случае идет не только о расчете траекторий молекул воды и газа, но и о плотности сетки и количестве измерительных пунктов. Несмотря на то что прогнозы экономистов и синоптиков одинаково неточны, синоптики не говорят погоде, что надо и не надо делать. У экономистов в этом плане претензии значительно выше [1].

Цифровая экономика — это в первую очередь состояние, когда данные претензии будут оправданы и так называемый план из желаемого состояния в будущем превратится в «фактический план» как совокупность контрактов, заключенных в цифровом виде.

Таким образом, перед тем, как говорить экономике что надо делать, целесообразно определить базовые формальные представления об изменении законов и принципов экономики по мере цифровой трансформации.

II. Потребительская и транзакционная функция в качестве ориентиров для моделирования и адекватного описания отношений в цифровой экономике. Описание основных закономерностей в цифровой экономике должно быть основано на базовом поведенческом уравнении. В условиях доминирования межмашинных отношений подобное уравнение должно представлять собой модификацию потребительской функции.

Поскольку цифровизация обусловлена не столько ростом обработки все большего количества данных и информации между человеком и машиной, а скорее между машинами, последние будут приводить к тому, что доля фазы обмена как превращения продукта труда в товар будет уменьшаться в эконо-

мике. Продукты труда будут доводиться до потребителей все больше через процедуры квази-обмена, поскольку вследствие кардинального уменьшения занятости и роста выплат в виде базового безусловного дохода большая его часть будет определена (запрограммирована средствами Цифрового рубля центрального банка) в качестве целевых денежных средств. Подобная «канализация» трат незаработанных денежных средств позволит добиться сохранения приемлемого спроса на фоне стабилизации КДП и стимулирования производств с высокой долей отечественной добавленной стоимости без рисков раскрутки инфляционно-девальвационной спирали.

Ожидаемо в этой связи цифровизация повлияет на классическое понимание *распределения* как процесса определения доли, количества, пропорции участия каждого члена общества в произведенном продукте. Так, если под производством мы понимаем создание продукта в его натуральном выражении, то под *распределением* может пониматься натуральное распределение продукта, либо его стоимости в денежной форме — посредством системы денежных расчетов с участниками производства, владельцами ресурсов [2]. Поскольку стоимость продукта по большей части будет формироваться за счет владения ресурсами и «межмашинных транзакций», нежели реального вклада участников производства, которым нужны денежные выплаты, понятие распределения необходимо скорректировать.

Распределение в контексте парадигмы цифровой экономики будет в большей степени соответствовать увеличению или уменьшению функциональности ресурсов. В некотором смысле *увеличение функциональности ресурсов будет эквивалентно понятию прибыли* как дохода на капитал, поскольку фактически будет обозначать приоритет в использовании ресурсов, активов, идей и подходов конкретных фирм при выстраивании целостной цепочки создания ценности. В условиях новой цифровой экономической парадигмы данный приоритет в использовании ресурсов будет в свою очередь обеспечивать условия для роста фирмы, также как прибыль в условиях традиционного рыночного капитализма.

В итоге постоянно наблюдаемый в экономике циклический круговорот продукции, товаров, услуг в виде воспроизводственных процессов поменяется. В частности, во вне рыночных системах хозяйства непосредственной целью производства являлось потребление. Например, целью охоты и собирательства первобытной общины было непосредственное потребление добытого, а целью производства в рабовладельческом обществе было удовлетворение потребностей рабовладельцев. Система рыночного хозяйства непосредственную цель производства смещает с потребления в сторону получения прибыли как условия, позволяющего использовать ресурсы наиболее эффективно [2].

Цифровая экономика, приходя на смену рыночному хозяйству, «не нуждается в прибыли», по крайней мере как условию, позволяющему максимизировать эффективность использования ресурсов. Теоретическое смещение акцента в цифровой экономике с потребления и прибыли на функциональность ресурсов, динамика которых подвергается вполне строгому и линейному математическому моделированию, позволяет добиться максимальной эффективности в рамках новой воспроизводственной цепочки «производство — изменение функциональности ресурсов — потребление».

Концептуально на место потребления должно стать увеличение функциональности ресурсов в зависимости от транзакций, в которые они включаются, поскольку это позволяет создать более гибкую и настраиваемую экосистему, где ресурсы могут адаптироваться к потребностям потребителей в реальном времени.

С учетом того, что машины все чаще взаимодействуют друг с другом и с людьми в цифровой экономике, увеличение функциональности ресурсов в зависимости от транзакций может способствовать оптимизации производственных процессов, управлению запасами и обеспечению более эффективной цепочки поставок. Увеличение функциональности ресурсов в зависимости от транзакций может повысить уровень удовлетворенности потребителей, сделав процесс потребления более интегрированным, интеллектуальным и адаптивным к изменяющимся условиям рынка и потребностям потребителей. Это означает, что поведенческие шаблоны и взаимодействия могут быть более точно описаны и смоделированы с использованием измененной потребительской функции [3], учитывающей новые условия и экономические отношения под влиянием системных технологий цифровизации.

Итак, мы исходим из предположения, что модификация потребительской функции может дать более точное представление о взаимодействиях в цифровой экономике и ее закономерностях.

С учетом того что в модифицированной потребительской функции в качестве зависимой переменной будет выступать не потребление, а функциональность ресурсов, в качестве первичной возникает идея назвать ее ресурсной функцией. Причем к ресурсной функции относят одну из качественных функций предпринимательства по эффективному использованию трудовых, материальных, финансовых, информационных и прочих ресурсов. Помимо количественной формы выражения главный аспект, который моделирует предлагаемая нами модифицированная потребительская функция, заключается не в самой эффективности использования ресурсов стандартными субъектами и агентами экономических отношений. Предлагаемая функция, по сути, является формализованным способом утверждения о зависимости функциональности ресурсов от их количества и способа объединения. Поскольку в нашем случае подобный *способ объединения мы называем транзакцией*, возникает идея назвать нашу модель транзакционной функцией.

Цели моделирования и адекватного описания отношений в цифровой экономике позволяют нам реализовать подобную *более широкую трактовку транзакции*, поскольку понимание последней в качестве передачи прав собственности на имущество или услугу, сопровождаемой заключением договора, уже не соответствует потребностям экономики в условиях нарастающего объема межмашинных интеракций. В этой связи цели, следуя которым некоторые авторы предлагают введение модели транзакционной функции, отличаются от наших. Транзакционная функция в этом случае представляет собой формализованный способ утверждения о зависимости транзакционных издержек от количества экономически активных агентов, формальных и неформальных институтов.

Для наглядной демонстрации отличий и детализации логики покажем форму транзакционной функции, приводимую Е. В. Поповым [4]:

$$C = BN^{\lambda} / (F^{\mu} + I^{\nu}), \quad (1)$$

где C — транзакционные издержки фирмы; B — коэффициент пропорциональности, измеряемый в единицах издержек фирмы; N — количество экономически активных агентов (акторов), заключивших институциональные соглашения с фирмой; F — количество формальных институтов (контрактов); I — количество неформальных институтов; λ , μ , ν — коэффициенты эластичности использования акторов, формальных и неформальных институтов для формирования институциональной среды.

В уравнении (1) формальные и неформальные институты представлены в качестве аддитивных слагаемых, поскольку они не перекрывают своими нормами различные направления хозяйственной деятельности. То есть для каждой конкретной ситуации контрактные отношения могут определяться в виде формализованных норм, либо неформальных норм между экономическими агентами.

В отличие от производственной функции, в которой оценивается зависимость выпуска от переменных труда и капитала, в транзакционной функции, по мнению разработчика модели, описываются транзакционные издержки как существенная характеристика осуществления транзакций [4].

Существенным обстоятельством является то, что модифицированная нами потребительская функция моделирует отношения в кардинально измененной институциональной среде, в такой среде, для которой существенная доля формализованных, либо неформальных норм заменяется алгоритмом. Ввиду кардинального уменьшения транзакционных издержек для такой среды основным объектом анализа, по нашему мнению, должно стать то, что лежит в основании формирования стоимости в цифровой экономике. На фоне уменьшения роли человеческого труда и капитала таким основанием является функциональность ресурсов. Если ожидаемое влияние сквозной и глубокой автоматизации на занятость более-менее описано в экономической литературе, то ситуация с ожидаемым замещением капитала получает недостаточно внимания в рамках теоретических исследований по экономике. В рамках целей нашей работы достаточно полагать, что вместо *распределения* посредством системы денежных расчетов с участниками производства, владельцами ресурсов все большее значение будет получать приоритет в использовании ресурсов, активов, идей и подходов конкретных фирм при выстраивании целостной цепочки создания ценности.

По логике исследования и необходимости отличия предлагаемой нами модификации потребительской функции от ресурсной и транзакционной, следует ввести понятие *функции функциональности ресурсов (F)*. В этом случае функциональность ресурсов является функцией от транзакции как способа объединения ресурсов. Далее мы приведем точные формулировки того, что подразумевается под указанным способом объединения ресурсов. Сейчас же важно уточнить, что для нашей функции функциональности ресурсов необходимо ввести ряд теоретических допущений и ограничений, в некоторой части аналогичных для самой потребительской функции.

Допустим, что все фирмы производят один и тот же товар, который может быть использован для потребления, для инвестиций фирмами, а также для государственных закупок. Сквозь призму данного упрощения мы полагаем, что все ресурсы связаны с рынком «данного» товара.

Можно предположить, что фирмы готовы предложить любое количество товара по данной цене P , что может быть справедливым лишь в краткосрочном периоде.

И, наконец, предположим, что экономика является закрытой, что она не торгует с остальным миром, а экспорт и импорт равны нулю. Несмотря на противоречие подобного допущения фактам, поскольку современные экономики торгуют со всем остальным миром, данное допущение упрощает модель, позволяя вынести за скобки факторы, определяющие экспорт и импорт.

В этом случае совокупный спрос на товары (Z) представляет собой просто сумму расходов на потребление, инвестиции и государственные закупки:

$$Z \equiv C + I + G. \quad (2)$$

Причем инвестиции (I) и государственные расходы (G) удобно полагать в качестве экзогенных (заданных) переменных, поскольку государство как субъект государственных расходов не действует с такой же регулярностью, как потребители или фирмы [5]. По сути, это означает отсутствие столь устойчивого правила для G и T , соответствующего правилу, которое имеет место для потребления. Поскольку эндогенный характер переменных (одни переменные зависят от других переменных этой модели, т. е. объясняются внутри нее) придает модели больший предсказательный потенциал в целях моделирования межмашинных отношений цифровой экономики, будем ориентироваться на ту часть уравнения совокупного спроса, в выражении которой не используются заданные переменные.

Принятие решений об инвестициях зависит от множества факторов. Несмотря на то что на практике фирмы, испытывающие рост производства, могут решить вопрос относительно прироста оборудования и увеличения инвестиций, в целях упрощения модели удобно придерживаться допущения о том, что инвестиции не реагируют на изменение в производстве, т. е., по сути, придавать переменной I экзогенный характер.

Потребительские решения также зависят от многих факторов. Среди этих факторов выделяется главный — доход или, точнее, располагаемый доход (т. е. доход, который остается после того, как потребители получили трансферты от государства и заплатили налоги). Когда располагаемый доход потребителей растет, они тратят больше, когда падает — они покупают меньше.

Для формализации указанной зависимости приведем стандартные обозначения. В отличие от трансакционной функции (1) в потребительской функции $C(Y_D)$ переменная C обозначает потребление. Представляя аргумент функции Y_D в качестве располагаемого дохода, мы можем записать:

$$C = C(Y_D). \quad (3)$$

Это формализованный способ для утверждения, что потребление (C) является функцией от располагаемого дохода (Y_D). Знак «плюс» под Y_D отражает тот факт, что когда располагаемый доход растет, растет и потребление [3]. Подобное поведенческое уравнение отражает поведение потребителей. Конкретизируя приведенную функцию, можно предположить, что отношение между потреблением и располагаемым доходом задано как

$$C = c_0 + c_1 Y_D. \quad (4)$$

Иными словами, имеет смысл допустить, что эта функция является линейной зависимостью. Тогда отношение между потреблением и располагаемым доходом характеризуется двумя параметрами — c_0 и c_1 . Параметр c_1 означает склонность к потреблению (его также называют предельной склонностью к потреблению, для простоты слово «предельная» можно опустить) и показывает, как дополнительный рубль располагаемого дохода влияет на изменение потребления. Если c_1 составляет 0,6, то дополнительный рубль располагаемого дохода увеличивает потребление на $1 \times 0,6 = 60$ коп.

Важное естественное ограничение c_1 выражается в том, что этот параметр должен быть положительным: *рост располагаемого дохода, скорее всего, будет вести к росту потребления.*

Другое естественное ограничение заключается в том, что $c_1 < 1$: *люди, скорее всего, будут тратить лишь часть любого прироста располагаемого дохода и сберегать остальное.*

Параметр c_0 имеет простую интерпретацию. Он представляет собой то, что люди будут потреблять, если их располагаемый доход в текущем году будет равен 0: если Y_D равно 0 в уравнении (4), $C = c_0$. Поскольку люди должны

продолжать питаться при любых условиях, естественным ограничением (если текущий доход равен 0) является то, что потребление будет величиной положительной. Из этого следует, что параметр c_0 будет величиной положительной. Для того чтобы потребление было положительной величиной на фоне нулевых доходов, людям необходимо делать отрицательные сбережения. В этом случае люди несут расходы на потребление, продавая какие-то из имеющихся у них активов, либо заимствуя средства.

Теперь нам нужно определить располагаемый доход Y_D как

$$Y_D \equiv Y - T, \quad (5)$$

где Y — доход, а T — уплаченные налоги минус государственные трансферты, полученные потребителями. Для краткости можно называть T налогами, хотя на практике это налоги минус трансферты. Заменяя Y_D в уравнении (4), получаем:

$$C = c_0 + c_1(Y - T). \quad (6)$$

Уравнение (6) показывает, что потребление C является функцией дохода Y и налогов T . Более высокий доход увеличивает потребление, хотя и меньше, чем один к одному. Более высокие налоги снижают потребление, хотя и меньше, чем один к одному.

III. Функция функциональности ресурсов как базовая математическая модель цифровой экономики. Столь подробное рассмотрение потребительской функции необходимо нам для формальной детализации ряда поведенческих аспектов межмашинных отношений в цифровой экономике. С учетом того что в чистом виде *интеллектуальные машины не являются потребителями товаров и услуг*, даже в том случае, когда для реализации собственных процессов им нужно использовать услугу или товар других машин, становится понятна *необходимость новой парадигмы вместо потребления товаров и услуг*.

Для этой цели следует предположить, что вместо потребления товаров и услуг машины, взаимодействуя между собой, участвуют в *формировании функциональности ресурсов* (F). Опираясь на новое понятие, выдвинем предположение, согласно которому на этапе зрелости цифровой экономики отношений потребления будет становиться все меньше, а межмашинных операций по формированию функциональности ресурсов все больше.

Для формализации введенного нами понятия представим модель, отражающую зависимость функциональности ресурсов от транзакций, реализуемых между машинами:

$$F = f_0 + f_1 T_m, \quad (7)$$

где F — это некоторая измеренная *ценность (биты стоимости, а не цена)* ресурсов в зависимости от того, как ресурсы (R) объединились в «межмашинную транзакцию» (T_m).

Для того чтобы ввести понятие «межмашинной транзакции» нам необходимо ввести новое для экономики, вполне конкретное и объективное понимание «стоимости». Это крайне важно, так как мы полагаем, что обе переменные T_m и F будут измеряться в «битах стоимости». Поскольку для традиционной экономики стоимость тесно связана с производством товаров и услуг, основные аспекты определения этой стоимости связаны со способами производства, распределением продукции и реинвестированием доходов от производства. Основными экономическими субъектами в таком случае оказываются производители, потребители и правительство, а основной целью — производство товаров и услуг. Для цифровой экономики такими центральными субъектами

становятся цифровые платформы, а движущая сила создания стоимости концентрируется не вокруг создания товаров и услуг, а вокруг расширяющегося объема цифровых данных. При этом экономическое значение имеют не столько сами данные, сколько алгоритмы их обработки, оказывающие существенное влияние на получение добавленной стоимости и ее величину.

Конкретное проявление этих алгоритмов в экономике — это «межмашинная транзакция». Пока речь идет о превалировании рыночных отношений и неопределенности стандартную единицу экономического анализа столь же непросто анализировать, как и разработать методы антимонопольной политики по противодействию неконкурентным механизмам цифровых платформ. Основная трудность в этом случае связана с определением так называемого *вовлеченного рынка* и доли компании на этом рынке, поскольку само определение рынка всегда происходит по отношению к товару или услуге. Однако для цифровых платформ данные/информация как конкретное содержание «межмашинных транзакций» представляют собой «промежуточный продукт», который не продается и не покупается, а значит, идентификация спроса и предложения на него крайне затрудняется. В итоге становится невозможной оценка монопольной власти той или иной платформы с точки зрения повышения или понижения цен относительно конкурентоспособного уровня. В случае когда подавляющая часть добавленной стоимости создается в «межмашинных транзакциях», а учет данных «промежуточных продуктов» идет во внутренней для платформы системе измерения, ситуация кардинально меняется, и *мы можем ставить вопрос об объективных основаниях измерения стоимости*.

Начало для подобных внутренних альтернативных систем измерения дал Amazon. В качестве стратегического критерия управления Amazon используется не прибыль, а прирост капитала внутри «экономического контура», выраженный во внутренних учетных единицах Amazon (accounting unit). Закупки товаров и услуг у внешних поставщиков Amazon определяет как «импорт», доход от продажи товаров и услуг как «экспорт». С учетом деятельности на множестве рынков *sourcing markets* (рынки происхождения товаров и услуг) и *operational markets* (рынки, на которых Amazon осуществляет сбыт), сведение данных осуществляется во внутренних *accounting units*. Фактически имеет место быть гигантская схема «двойной бухгалтерии», где реальный валютный механизм — именно внутрикорпоративная валюта, эмитируемая согласно формуле на основе критерия импортостности продаваемой продукции. Несмотря на то что для корпораций, как правило, имеют значение такие показатели, как капитализация и прибыль, после того, как некоторые корпорации стали эмитентами своих собственных корпоративных валют, в орбиту их интересов вошел такой показатель, как импортостность. Следующим шагом от внутрикорпоративных валют, очевидно, станет измерение стоимости, генерируемой в «межмашинных транзакциях».

Обычно, когда экономисты рассматривают стоимость как абстрактную концепцию, отличную от цены и натуральных показателей, то выделяют несколько, как правило, субъективных аспектов ее понимания: т. е. стоимость может рассматриваться как субъективная оценка, которую люди придают товарам и услугам на основе своих потребностей, предпочтений и желаемых благ; стоимость может быть связана с обменной ценностью товара или услуги, т. е. с тем, что он предлагает взамен за потраченные ресурсы или время (это может включать в себя не только финансовые аспекты, но и эмоциональные или социальные выгоды). Стоимость часто определяется не только экономическими условиями, но и социальными и историческими факторами. Например, в определенных обществах некоторые товары или услуги могут иметь большую культурную или социальную ценность, нежели экономическую, и

если мы не можем измерить эту интеллектуальную или культурную ценность в цене, то мы также полагаем такую стоимость субъективной.

Для того чтобы подойти к предлагаемой в работе объективной трактовке стоимости, подойдем к ней еще и со стороны инвестиционной ценности (когда стоимость может быть рассмотрена в контексте долгосрочных перспектив либо когда нам необходимо учитывать краткосрочные будущие выгоды или риски, связанные с активами) или проблемы прогнозирования цен.

Прогнозирование точного значения цен финансовых инструментов большинством ученых и практиков представляется невозможным. В ряде работ показано, что корреляции между временными рядами и ценами являются не экономически и не статистически значимыми. В большинстве работ, связанных с прогнозированием цен, обсуждается *гипотеза эффективного рынка* (efficient market hypothesis, ЕМН). Согласно данной гипотезе, вся существенная информация немедленно и в полной мере отражается на рыночных ценах активов. На эффективном рынке мгновенно происходит коррекция цен, которые становятся справедливыми, не оставляя участникам рынка арбитражных возможностей. Для реализации данных предположений участники рынка должны быть однородны в своих установках и однородно интерпретировать поступающую информацию, мгновенно корректируя свои решения при поступлении новой информации.

Поскольку в реальной экономике подобной однородности и мгновенности не существует, цены ведут себя хаотично и подчиняются закону нормального распределения Гаусса. На концептуальном уровне, в случае нашего предположения о существовании объективной стоимости, сама хаотичность движения является теперь проявлением недоступности измерения реальной стоимости. Цены, установленные на финансовых рынках, являются символическими выражениями реальной стоимости базовых активов (и стоимости ожидаемого денежного потока). Но само реальное — это то, чего мы никогда не можем достигнуть, и то, от чего мы не можем избавиться в процессе символизации ценообразования. Иными словами, реальная стоимость объективна, но недоступна для измерения в случае доминирования классических рыночных отношений над «межмашинными транзакциями».

В частности, продавец акции считает, что в будущем цена акции упадет (т. е. текущая цена превышает стоимость), а покупатель акции полагает, что цена вырастет (т. е. текущая стоимость превышает цену). По сути, это фундаментальное несоответствие между ценой и стоимостью позволяет «множеству ценовых образований» сосуществовать и торгам дает возможность состояться. Ни продавец, ни покупатель не могут «соприкоснуться со стоимостью напрямую». Оба используют косвенные оценки истинной стоимости актива. Иначе говоря, стоимость «сопротивляется символизации».

Парадоксальная невозможность абсолютно точного ценообразования является условием возможности рынка. Торги возможны пока стоимость активов не определена однозначно.

В контексте нашего рассуждения о «межмашинной транзакции» целесообразно сформулировать *мысленный эксперимент*: если мы представим, что цифровая система, прошивающая всю экономику, навесит точный ценник на все компании на бирже, большая часть торгов их акциями просто прекратится. Несоответствие между ценой и стоимостью ведет к постоянному выяснению того, как они взаимосвязаны (отсутствует ли стоимость в цене или в некоторой степени присутствует). В результате этих выяснений и возникает рынок.

С точки зрения финансовых рынков «твердое» ядро стоимости оказывает тем самым *X*, который может быть реконструирован лишь задним числом на основе множества ценообразований. Представим трейдера, который купил

акции Роснефти за 1 млн долл., месяц спустя акции выросли на 3 %, и он их продает (задним числом мы определяем стоимость инвестиций 30 тыс. долл.). Но откуда берется эта стоимость? Можно указать на событие в деятельности Роснефти — скажем, обнаружение нового месторождения нефти. Но, возможно, ничего особенного не произошло, и рост цен связан исключительно со спекулятивными торгами. А возможно, просто ходили слухи о вероятном открытии нового месторождения, но спустя пару месяцев они оказались ничем не подкрепленными, т. е. даже из исключительно подробной информации о Роснефти мы никогда не сможем узнать наверняка, что на самом деле вызвало рост цены. Даже если мы знаем, что Роснефть нашла нефть, почему это должно привести в росту цены на 3 %, а не на 1,5 или 10 %. Суть в том, что у нас нет прямого доступа к стоимости Роснефти. Все что у нас есть — это «множество ценовых образований».

Для того чтобы понять, откуда в создаваемой нами теории цифровой экономики берется прямой доступ к стоимости и как формула (7) из чисто теоретического выражения соотношения ценности ресурсов в зависимости от того, как они объединились в «межмашинную транзакцию», становится практическим инструментом измерения объективной стоимости, нужно вернуться к базовым условиям эффективности рынков. А именно, однородности установок и интерпретации поступающей информации, а также мгновенности при корректировке принятия решений при поступлении новой информации.

Если быть более точным, для нас важна сильная форма эффективности, при которой стоимость рыночного актива полностью отражает всю информацию: прошлую (технический анализ) публичную и внутреннюю (инсайдерскую, известную узкому кругу лиц в силу служебного положения или иных обстоятельств). Очевидно, что отражение информации в этих трех измерениях возможно лишь в случае, когда множество «умных контрактов» в пространстве имитационного моделирования будут оптимизировать целевые функции контрагентов на основе полной информации (в том числе инсайдерской об их конкурентных преимуществах, о которых знает лишь алгоритм, а не конкурент). Параллельная оптимизация целей на основе полноты данных позволит предлагать наилучшие решения для всех участников платформы.

Практической реализацией подобной модели станут экономические платформы нового класса — так называемые *системы планирования и оптимизации ресурсов с искусственным интеллектом (ERP-ИИ)*, на практике использующие формулу (7) для установления ценности ресурсов в зависимости от реализуемых транзакций. Подробный анализ подобных систем реализован в других исследованиях автора данной статьи. Сейчас же важно сделать вывод о том, что цифровизация ведет не просто к более точному ценообразованию (или динамическому ценообразованию, как говорится в некоторых других работах), она строится на единицах измерения объективной стоимости, устраняя рынок как таковой.

Отношение между функциональностью ресурсов F и «межмашинными транзакциями», вытекающее из уравнения (7), показано на рисунке. Поскольку оно является линейным отношением и представлено прямой линией, ее пересечение с вертикальной осью — это f_0 ; ее наклон равен f_1 . Так как $f_1 < 1$, то и наклон этой линии меньше 1: равнозначно — эта линия имеет наклон, меньший чем 45° .

Теперь нам нужно определить «межмашинную транзакцию» T_m как

$$T_m \equiv R + I_f, \quad (8)$$

где R — доступные в рамках транзакции ресурсы. Переменная R является безразмерной величиной, поскольку для нас имеет значение не абсолютная величина литров, килограмм или сантиметров того или иного ресурса, а его

процентное соотношение с общим количеством необходимого для реализации транзакции ресурса; I_f — функциональная информация, описывающая процесс объединения ресурсов, придающий им конкретную функцию в рамках транзакции. Очевидно, что процентное соотношение R будет влиять на то, как ресурсы будут объединяться I_f . В некоторых случаях способы объединения не смогут нивелировать относительную недостаточность ресурса, и конкретная функция в рамках транзакции не сможет реализоваться.



Параметр f_1 — предельная ценность ресурсов. Он показывает, как дополнительный прирост R и функциональной информации I_f на 1 бит стоимости будет влиять на увеличение зависимой переменной F , отражающей значимость (стоимость) вступивших в транзакцию ресурсов для следующих «межмашинных транзакций».

При этом параметр f_0 обозначает то, чему равно значение F , если $T_m = 0$. Данное равенство выполняется в случае, если отсутствуют ресурсы (R) или функциональная информация (I_f), отвечающая за описание функции по объединению ресурсов.

С помощью функции функциональности ресурсов можно будет достаточно точно измерять эффективность процессов цифровизации. Если исходим из старой парадигмы рыночной экономики (принятия решений экономическими агентами в условиях неполноты информации), безусловно, имеют значение методики оценивания параметров f_0 и f_1 функции F . При использовании эконометрических (регрессионных) методов нужно изначально знать ряд значений для показателя F . Поскольку регрессионные методы являются частью более широкого класса методов машинного обучения, по нашему мнению, более вероятно, когда классификация «межмашинных транзакций», основываясь на их типах и значимости, может помочь в определении конкретных метрик для анализа ценности ресурсов, используемых в каждой категории транзакций. Далее, конкретное оценивание параметров функции F возможно на основе алгоритмов машинного обучения и анализе данных, которые будут оценивать ценность ресурсов на основе исторических данных о транзакциях, рыночных трендах и других факторах. Эти алгоритмы могут гибко адаптироваться к изменяющимся условиям экономической динамики.

В отличие от потребительской функции, естественным ограничением которой является то, что потребление — величина положительная независимо от уровня располагаемого дохода (ведь людям нужно питаться), для функции функциональности ресурсов такого ограничения нет, т. е. если $T_m = 0$, то и $F = 0$. Данное обстоятельство имеет важное теоретическое следствие, согласно которому *в экономике машин не имеет смысла говорить об отрицательных сбережениях*. Машинам не нужно ничего отдавать или заимствовать в случае, если отсутствует экономическая активность по объединению ресурсов в транзакции.

Для более детальной формализации межмашинной транзакции T_m нам необходимо более отразить специфику связей ресурсов. Для этого можно использовать Закон возрастания функциональной информации, сформулированный Майклом Л. Вонгом и другими авторами в рамках междисциплинарного исследования по выявлению общей математической закономерности в динамике любых сложных динамических систем, к которым относится и экономика. «Сейчас, когда мы вступаем в новый смелый мир искусственного интеллекта, закон функциональной информации, или того, как информация влияет на физические системы, может оказаться действительно важным для понимания того, как эти системы искусственного интеллекта будут развиваться, взаимодействовать с нами и как они будут влиять на общество», — отмечал Вонг [6].

Определим функциональную информацию I_f , описывающую процесс объединения ресурсов как

$$I_f = -\log_2 \frac{N_f}{N}, \quad (9)$$

где I_f — это функциональная информация (количество информации, необходимой для описания функции системы) в битах; N_f — число конфигураций ресурсов, которые выполняют заданную функцию в рамках транзакции; N — общее число возможных конфигураций ресурсов в рамках транзакции.

В данном случае для нас важно уточнить, почему мы используем логарифмирование, а не просто отношение двух показателей без логарифма. Для этого нужно вернуться к «гипотезе эффективного рынка» и фундаментальной роли случайности для рыночной экономики. Математически «гипотеза эффективного рынка» означает, что соответствующие случайные процессы, определяющие поведение цен, являются марковскими, т. е. их будущие значения не зависят от значений в предыдущие моменты времени, и поэтому будущие цены активов невозможно предсказать, основываясь только на прошлых значениях цен. Технический инвестиционный анализ полностью игнорирует «гипотезу эффективного рынка» и поэтому нередко проваливается в своих прогнозах. Теоретический образ экономики «межмашинных транзакций», предложенный нами, основан на анализе трех измерений информации (а не только на прошлых значениях цен) и поэтому, в идеале, устраняет случайность из экономики. Но это лишь в теории. На практике возможно говорить лишь об определенной доле (пусть и очень высокой) «межмашинных транзакций» в создании стоимости. Это значит, что случайность в практикоориентированных моделях следует учитывать.

Определяя конфигурацию формулы (9), мы исходим из классического представления о том, что *информация случайного события вычисляется как минус логарифм вероятности этого события*. Также мы исходим из вполне логичного предположения, что *конфигурация ресурсов для выполнения полезной функции является маловероятным событием*. Даже появление примитивных орудий труда потребовало применения разума, действия которого противоположны по направлению энтропии. При этом появление самого разума — это миллиарды лет слепых эволюционных комбинаций. Поэтому появление примитивных орудий труда и уж тем более конфигурации ресурсов с полезной экономической функцией — это крайне маловероятные события.

Поскольку логарифм в формуле (9) идет с основанием 2, то очевидно, что информация измеряется в битах: ведь один бит соответствует количеству информации, необходимой для разрешения между двумя равновероятными вариантами (например, «да» или «нет»).

Конкретизируя формальные аспекты используемого логарифма, отметим, что мы вводим отрицательный логарифм, потому что вероятности конфигураций ресурсов (аргумент логарифма) находятся в диапазоне от 0 до 1 (включительно). Поскольку логарифм значений от 0 до 1 отрицателен, использование

отрицательного знака перед выражением логарифма сделает значение положительным. Таким образом, *информация всегда будет выражаться положительными числами, что более удобно.*

Из формулы (9) следует, чем менее вероятно какое-то событие, тем больше информации оно несет или, по-другому, *тем больше бит требуется для передачи информации о таком событии.* И наоборот, чем более вероятно какое-то событие, тем меньше информации. Например, если событие маловероятно (например, выиграть в лотерею), то получение этой информации будет иметь большую значимость по сравнению с чем-то, что происходит почти всегда (например, дождь в дождливый сезон).

В этой связи основное свойство логарифма в контексте измерения вероятности конфигураций ресурсов в «межмашинных транзакциях» заключается в том, что в простое отношение двух показателей N_f/N без логарифма ведет к тому, что уменьшение числителя N_f (конфигурации ресурсов) ведет к уменьшению результата всего выражения, а значит, и самой функциональной информации (количества бит, необходимого для описания функции системы). Причем на практике ситуация противоположна описанной, и уменьшение числа конфигураций ресурсов, которые выполняют заданную функцию, ведет к росту функциональной информации. Подобная зависимость наиболее оптимально описывается с помощью логарифма.

На примере видно, что отрицательный двоичный логарифм от меньшего числа дает в результате большее значение $-\log_2(0,001) = 9,965784285$, чем отрицательный двоичный логарифм от большего числа $-\log_2(0,5) = 1$.

Таким образом, подставив значение I_f в формулу (8) получим следующее уравнение для «межмашинной транзакции».

$$T_m = R + (-\log_2 \frac{N_f}{N}). \quad (10)$$

Заменяя T_m в уравнении (7), получаем детализированное представление функции функциональности ресурсов F :

$$F = f_0 + f_1 R + (-\log_2 \frac{N_f}{N}). \quad (11)$$

Главный количественный вывод, необходимый для измерения эффективности процессов цифровизации, заключается в том, что приведенная формула показывает: *функциональная информация тем выше, чем меньше конфигураций системы способны выполнять заданную функцию.* Например, функциональная информация жизни достаточно велика, поскольку только небольшая часть всех возможных комбинаций атомов может образовывать живые организмы [6]. По аналогии с данным примером функциональная информация транзакций, реализуемых системой сильного и общего искусственного интеллекта (ИИ), будет выше, чем функциональная информация транзакций, реализуемых большим количеством систем и сервисов специального и слабого ИИ. Также следует обратить внимание, если ни одна конфигурация системы (транзакций) не способна выполнить определенную функцию, то функциональная информация, соответствующая этой функции, не определена, независимо от того, насколько сложна структура состояния системы (транзакций).

Можно ожидать, что формула (9) для функциональной информации будет расширена для включения в нее параметров, определяющих окружающую среду. В нашем случае к подобной окружающей среде можно отнести контекст реализации «межмашинных транзакций».

Формализованная запись подобных представлений крайне важна с точки зрения понимания позитивных направлений цифровизации экономики и их последующей количественной оценки.

Детализация подобных представлений должна отталкиваться от Закона возрастания функциональной информации, который утверждает, что система будет эволюционировать, если множество различных конфигураций системы (транзакций) будет подвергаться отбору по одной или нескольким функциям.

Майкл Л. Вонг отмечает, что в целом существует три вида функций. Самой базовой функцией является стабильность. Например, только стабильные конфигурации атомов и молекул выбираются для продолжения. Также выбираются для сохранения динамические системы с постоянным источником энергии (биологическая и минеральные системы взаимодействуют между собой, создавая жизнь). В отличие от первого вида, данный вид функций, относимый к динамическим системам, характерен для экономики, системы и подсистемы которой крайне зависимы от постоянного источника ресурсов (материальных, финансовых, интеллектуальных). Третьим видом функции является способность хранить, передавать и обрабатывать данные, т. е. информация. Несмотря на то что данный вид функций характерен и для традиционной экономики (ведь традиционные экономические субъекты также взаимодействуют с помощью обмена информацией), он является более характерным для цифровой экономики, поскольку последняя превращает информацию в полноценный фактор производства. В этой связи особые свойства информации (идемпотентность) начинают перевешивать свойства остальных факторов, изменяя таким образом базовые законы экономики [6].

В целом сложные системы состоят из множества различных элементов или компонентов (атомы, молекулы клетки, институциональные экономические единицы), которые могут быть упорядочены и переупорядочены. Компоненты подвергаются процессам, которые образуют различные конфигурации. Только небольшая часть конфигураций сохраняется в процессе, называемом «отбор по функции».

Если в результате такого отбора по функции системы приходят к состояниям большего упорядочения, разнообразия и сложности по мере возрастания функциональной информации, тогда можем говорить об *эволюции экономической системы*. При этом *деградация экономической системы*, напротив, сопровождается ростом упорядоченности (ростом количества конфигураций для выполнения функции, если говорить о функции власти и экономических регуляторов, то такими конфигурациями являются социальные институты) за счет уменьшения разнообразия и/или сложности.

Таким образом, принимая во внимание данные четко сформулированные критерии эволюции и деградации экономической системы, можно будет, опираясь на результаты моделирования, принимать заблаговременные и комплексные меры по развитию цифровизации.

Закключение. Математические модели анализа экономических процессов являются мощным инструментом выявления причинно-следственных связей и прогнозирования процессов. При этом результаты моделирования, которые получены с учетом ориентира на установки и принципы старых теорий, как правило, оказываются далеко неоднозначными и достаточно быстро теряют практическую ценность.

Предложенные методы, подходы модели позволяют встать на путь возвращения взаимосвязи экономической теории и практики. Еще в 1980-х годах революция в области компьютеров сосредоточилась на повышении производительности отдельных задач, таких как обработка текста и управление производственными операциями. Однако предшествующие деловые процессы в основном остались неизменными. В 1990 г. ученый-менеджер Майкл Хаммер опубликовал статью «Переорганизация работы: не автоматизируйте, уничтожьте». В статье, которая появилась в Harvard Business Review, Хаммер утверждал, что повышение производительности не произойдет от использования автомати-

зации для улучшения существующих процессов. Полный потенциал цифровизации в этом случае может быть раскрыт лишь на основе анализа и переработки рабочих процессов и бизнес-процессов для улучшения обслуживания клиентов и сокращения операционных издержек. Это означает, что по мере изменения экономической практики в данную сторону поведенческие шаблоны и взаимодействия могут быть более точно описаны и смоделированы с использованием таких новых теоретических подходов и моделей, как измененная потребительская функция, учитывающая новые условия и экономические отношения под влиянием системных технологий цифровизации.

Кроме того, цели моделирования и адекватного описания отношений в цифровой экономике позволили нам реализовать *более широкую трактовку транзакции*, поскольку понимание последней в качестве передачи прав собственности на имущество или услугу, сопровождаемой заключением договора, уже не соответствует потребностям экономики в условиях нарастающего объема «межмашинных транзакций».

Таким образом, в качестве модифицированной потребительской функции, моделирующей экономическую действительность в условиях нарастающего объема «межмашинных транзакций», является *функция функциональности ресурсов*. В отличие от потребительской функции, естественным ограничением которой является то, что потребление — величина положительная независимо от уровня располагаемого дохода (ведь людям нужно питаться), для функции функциональности ресурсов такого ограничения нет, т. е. если $T = 0$, то и $F = 0$. Данное обстоятельство позволило нам сделать важные теоретические выводы, согласно которым *в экономике машин не имеет смысла говорить об отрицательных сбережениях*. Машинам не нужно ничего отдавать или заимствовать в случае, если отсутствует экономическая активность по объединению ресурсов в транзакции.

Опираясь на Закон возрастания функциональной информации, сформулированный Майклом Л. Вонгом, а также на предложенную нами функцию функциональности ресурсов, обогатится не только современная экономическая теория, но и практика. Так, в теоретическом измерении современная экономика обогатится четким концептуальным критерием отличия цифровой экономики от постиндустриальной экономики и экономики услуг, информационной и сетевой экономики, которые в значительной степени не отражали реальную ситуацию на рынках, не объясняли логику принятия ключевых экономических решений на микро- и макроуровне. Данный критерий заключается в учете особого характера «межмашинных транзакций» (из доли и качества — использование алгоритмов искусственного интеллекта) и того, как они повлияют на классическое понимание распределения как процесса определения доли, количества, пропорции участия каждого члена общества в произведенном продукте.

Поскольку стоимость продукта по большей части будет формироваться за счет владения ресурсами и «межмашинных транзакций», а не реального вклада участников производства, которым нужны денежные выплаты, понятие распределения в работе существенно корректируется. Распределение в контексте парадигмы цифровой экономики будет в большей степени соответствовать увеличению или уменьшению функциональности ресурсов. В некотором смысле увеличение функциональности ресурсов будет эквивалентно понятию прибыли как дохода на капитал, поскольку фактически будет обозначать приоритет в использовании ресурсов, активов, идей и подходов конкретных фирм при выстраивании целостной цепочки создания ценности.

Касательно практической плоскости использования результатов исследования можно отметить, что с помощью функции функциональности ресурсов можно будет (при наличии данных о количестве интеллектуальных «межма-

шинных транзакций», а также количестве конфигураций, которые используются для выполнения функции) достаточно точно и оперативно измерять эффективность процессов цифровизации на макроуровне.

Литература и электронные публикации в Интернете

1. Козырев, А. Н. Цифровизация, математические методы и системный кризис экономической науки / А. Н. Козырев // Цифровая экономика. — 2019. — № 4 (8). — С. 5–20.
2. Kozurev, A. N. Cifrovizacija, matematicheskie metody i sistemnyj krizis jekonomicheskoj nauki [Digitalization, Mathematical Methods and the Systemic Crisis of Economic Science] / A. N. Kozurev // Cifrova ja jekonomika. — 2019. — № 4 (8). — P. 5–20.
3. Экономическая теория : учеб. пособие / С. И. Лилимберг [и др.]. — Костанай : Костанайс. фил. ФГБОУ ВО «ЧелГУ», 2021. — 150 с.
3. Фролова, Т. А. Экономическая теория : конспект лекций / Т. А. Фролова. — Таганрог : ТТИ ЮФУ, 2009. — 152 с.
4. Frolova, T. A. Jekonomicheskaja teori ja [Economic Theory] : konspekt lekcij / T. A. Frolova. — Taganrog : TTIJuFU, 2009. — 152 p.
4. Попов, Е. В. Транзакционная функция / Е. В. Попов // Общество и экономика. — 2007. — № 9-10. — С. 212–225.
5. Popov, E. V. Transakcionnaja funkci ja [Transactional function] / E. V. Popov // Obshhestvo i jekonomika. — 2007. — N 9-10. — P. 212–225.
5. Макроэкономика : учеб. пособие / Р. М. Кундакян [и др.]. — Казань : Издательство Казан. ун-та, 2015. — 276 с.
6. On the roles of function and selection in evolving systems [Electronic resource] / Michael L. Wong [et al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, PNAS. — October 16, 2023. — N 120 (43). — Mode of access: <https://doi.org/10.1073/pnas.2310223120>. — Date of access: 08.07.2024.

VITALI DZIAMIARAU

MATHEMATICAL MODELS FOR ANALYZING DIGITAL ECONOMY

Author affiliation. Vitali DZIAMIARAU (vitaly.demirov@gmail.com), Belarus Institute for Strategic Research (Minsk, Belarus).

Abstract. The author attempts to formulate basic elements of the new theory of digital economy, including its conceptual framework and instrumental means for measuring major processes of the new economic reality. A formal understanding of changes in the laws and principles of economics with digital transformation is based on the modification of consumer function and a new view of the transaction and the cycle of products, goods, and services in the form of reproductive processes. The adaptation of Michael L. Wong's Law of Increasing Functional Information to a fundamental mathematical model of the analysis of digitalization of economic processes at the macrolevel suggested by the author will make it possible to achieve high accuracy in evaluation of the perspective of digitalization (positive complication or degradation of the economic system) and, based on the modeling results, to take early and comprehensive measures to enhance positive and minimize negative effects of digitalization of the economy.

Keywords: mathematical models; digital economy; distribution; transaction; consumer function; transaction function; resource functionality function; Law of Increasing Functional information.

*Статья поступила
в редакцию 17. 09. 2024 г.*