

УДК: 330.4; 331.5

Экономико-математическая модель для анализа сбалансированности спроса и предложения инженерно-технических специалистов

Е. В. Кочеткова

Центральный экономико-математический институт,
Россия, 117418, г. Москва, Нахимовский проспект, 47

E-mail: k.v.kochetkova@gmail.com

*Получено 16.08.2021, после доработки — 24.10.2021.
Принято к публикации 26.10.2021.*

Проблема отсутствия сбалансированности спроса и предложения на рынке труда специалистов высшей и средней квалификации не только приводит к потерям человеческого капитала, но также в значительной мере препятствует инновационному и научно-технологическому развитию. Предварительный анализ показал, что во многом несбалансированность спроса и предложения труда инженерно-технических специалистов в России связана с процессом деиндустриализации и снижения престижности инженерной профессии, что привело к увеличению доли специалистов, не работающих по полученной специальности.

В работе предложена макроэкономическая модель, которая позволяет проводить сценарные прогнозы, а также с помощью решения оптимизационных задач определить условия достижения сбалансированности спроса и предложения труда инженерно-технических специалистов на среднесрочную перспективу. Модель состоит из 14 блоков, включая блоки для анализа спроса и предложения труда инженерно-технических специалистов, а также блоки для моделирования выпуска в промышленности, секторе услуг, экономике в целом, динамики инвестиций и основных фондов.

Результаты расчетов свидетельствуют о возможности существования сбалансированности спроса и предложения труда инженерно-технических специалистов при реализации сценариев одновременного роста доли инвестиций в основные фонды промышленности и относительной заработной платы в промышленности, а также показывают, что достижению сбалансированности способствует снижение оттока кадров из специальности, что также не противоречит выводам, полученным в результате экономического анализа. Следует отметить, что снижение доли специалистов, не работающих по специальности, может быть результатом как роста относительной заработной платы в промышленности и количества рабочих мест, так и реализации мероприятий по улучшению условий труда и повышению привлекательности профессии. Обобщая полученные результаты, в случае самого простого сценария, не учитывающего дополнительные меры по улучшению качества рабочих мест и повышению престижности профессии, для достижения сбалансированности требуются несколько менее высокие темпы роста инвестиций в промышленность, чем в сценариях, предусматривающих рост численности занятых инженерно-технических специалистов за счет увеличения доли работающих по специальности. В случае когда предполагается постепенное снижение доли не работающих по специальности инженерно-технических специалистов, возникает необходимость, вероятно, более высоких инвестиционных затрат в промышленности для привлечения специалистов и создания новых рабочих мест, а также дополнительных мер по повышению престижности профессии.

Ключевые слова: инженерно-технические специалисты, спрос на труд, предложение труда, моделирование, выпуск специалистов, сбалансированность спроса и предложения

UDC: 330.4; 331.5

Modeling of the supply–demand imbalance in engineering labor market

E. V. Kochetkova

Central Economics and Mathematics Institute,
47, Nakhimovsky prospect, Moscow, 117418, Russia

E-mail: k.v.kochetkova@gmail.com

Received 16.08.2021, after completion – 24.10.2021.

Accepted for publication 26.10.2021.

Nowadays the situation of supply-demand imbalances in the professionals' labor markets causes human capital losses as far as hampers scientific and innovation development. In Russia, supply-demand imbalances in the engineering labor market are associated with deindustrialization processes and manufacturing decline, resulted in a negative public perception of the engineering profession and high rates of graduates not working within the specialty or changing their occupation.

For analysis of the supply-demand imbalances in the engineering labor market, we elaborated a macroeconomic model. The model consists of 14 blocks, including blocks for demand and supply for engineers and technicians, along with the blocks for macroeconomic indicators as industry and service sector output, capital investment. Using this model, we forecasted the perspective supply-demand imbalances in the engineering labor market in a short-term period and examined the parameters of getting supply-demand balance in the medium-term perspective.

The results obtained show that situation of more balanced supply and demand for engineering labor is possible if there is simultaneous increase in the share of investments in fixed assets of manufacturing and relative wages in industry, besides getting to balance is facilitated by a decrease of the share of graduates not working by specialty. It is worth noting that a decrease in the share of graduates not working by specialty may be affected whether by the growth of relative wages in industry and number of vacancies or by the implementation of measures aimed at improving the working conditions of the engineering workforce and increasing the attractiveness of the profession. To summarize, in the case of the simplest scenario, not considering additional measures of working conditions improvement and increasing the attractiveness of the profession, the conditions of supply-demand balance achievement implies slightly lower growth rates of investment in industry than required in scenarios that involve increasing the share of engineers and technicians working in their specialty after graduation. The latter case, where a gradual decrease in the proportion of those who do not work in engineering specialty is expected, requires, probably, higher investment costs for attracting specialists and creating new jobs, as well as additional measures to strengthen the attractiveness of the engineering profession.

Keywords: engineering and technical professionals, labor demand, labor supply, model, graduates, supply-demand imbalance, engineering workforce

Citation: *Computer Research and Modeling*, 2021, vol. 13, no. 6, pp. 1249–1273 (Russian).

Введение

В настоящее время во всем мире особое внимание уделяется проблемам рынка труда квалифицированных специалистов, в особенности инженерно-технических, научных кадров, специалистов сферы инфокоммуникационных технологий. Исследования стороны спроса свидетельствуют о неудовлетворенной потребности в кадрах, ссылаясь на трудности в поиске кадров соответствующей квалификации и профессионально-квалификационные несоответствия. В то же время со стороны предложения отмечается возможный риск избыточной подготовки кадров, даже в таких направлениях, как инженерно-технические специальности [Варшавская, Котырло, 2019; Smith, 2017; Salzman, Benderly, 2019]. Отдельные аспекты несбалансированности проявляются в дефиците специалистов определенных профессий и квалификаций, несоответствии качества образования молодых специалистов требованиям работодателей, высокому оттоку кадров в другие отрасли и профессии, особенно в отрасли профессиональных услуг, консалтинг, сферу инфокоммуникационных технологий.

Проблема несоответствия спроса и предложения труда инженерно-технических специалистов (ИТС) в России также актуальна [Капелюшников, 2011; Гимпельсон, Капелюшников, Лукьянова, 2007]. В значительной степени формированию несбалансированности в России способствовали такие факторы, как разрушение промышленного производства в 1990-х гг., снижение престижности инженерного труда, массовый уход инженеров в другие профессии. Несмотря на то что экономический рост 2000-х гг. и расширение сферы высшего образования стимулировали некоторое увеличение подготовки специалистов инженерно-технических направлений, этого не было достаточно для восстановления сбалансированности спроса и предложения труда ИТС [Рывкина, Коленникова, 2007]. Для настоящего времени характерна высокая доля инженерно-технических специалистов, не работающих по специальности после выпуска. Так, в [Серова, Степуть, 2013] отмечено, что именно значительная доля выпускников технических направлений подготовки, не работающих по специальности, является одной из вероятных причин длительно сохраняющегося неудовлетворенного спроса работодателей на ИТС при высоких значениях численности подготавливаемых специалистов. В качестве фактора оттока специалистов в другие отрасли и ухода из профессии следует отметить неравенство в оплате труда ИТС в различных отраслях, а также более низкую оплату труда по сравнению с оплатой труда специалистов других профессий эквивалентной квалификации. Это контрастирует с повышенным спросом на ИТС, который существует не только в традиционных отраслях, но также и в активно расширяющихся новых благодаря влиянию цифровизации.

Все это определяет актуальность разработки моделей и подходов для осуществления сценарного прогнозирования возможной степени сбалансированности спроса и предложения труда ИТС. Таким образом, целью настоящей работы является разработка макроэкономической модели и последующий анализ условий достижения сбалансированности спроса и предложения труда ИТС в среднесрочном периоде.

Показатель сбалансированности спроса и предложения труда инженерно-технических специалистов

Ввиду отсутствия общепризнанного статистического показателя дефицита или избытка рабочей силы возникает необходимость в определении показателей, которые позволяют оценить сбалансированность спроса и предложения специалистов.

Согласно подходу, предложенному в [Коровкин и др., 2012], сбалансированность рынка труда можно рассматривать через призму согласованности спроса на рабочую силу и ее предложения, оценивая спрос как количество вакансий, а предложение труда — как количество безработных (число потенциальных работников).

Другой подход, представленный в работах [Сигова, 2010; Гуртов, Питухин, Серова, 2007; Гуртов, Питухин, 2017], предполагает рассматривать сбалансированность спроса и предложения как соответствие дополнительного объема спроса и дополнительного объема предложения. Дополнительный спрос, по определению [Сигова, 2010], является частью потенциального спроса и показывает количество вакансий на рабочие места, которые не существуют в начальный момент планирования, но могут появиться через определенный промежуток времени. Соответственно, дополнительное предложение, являясь компонентом потенциального предложения труда, может быть определено через приток трудовых ресурсов на рынок труда в будущий период времени, включающий число выпускников образовательных учреждений, трудовых мигрантов, безработных, граждан, уволенных из вооруженных сил, лиц, занимавшихся домохозяйством, и другие категории граждан. В случае отсутствия согласованности потенциального спроса и потенциального предложения на рынке труда возникает состояние неравновесия, характеризующееся дефицитом или излишком рабочей силы, что свидетельствует о несбалансированности рынка труда. Для оценки степени несбалансированности в [Сигова, 2010] предложен показатель, представляющий отношение дополнительного предложения к дополнительному спросу («модифицированный показатель напряженности на рынке труда»).

В данной работе под сбалансированностью спроса и предложения труда ИТС понимается такое состояние рынка труда, когда объем дополнительного спроса на труд ИТС может быть уравновешен объемом предложения труда, определяемого численностью выпускников с учетом доли молодых специалистов, работающих по специальности после выпуска. Таким образом, анализ сбалансированности спроса и предложения труда предполагает сопоставление величин дополнительного спроса и предложения труда ИТС.

Для проведения расчетов дополнительный спрос определяется как ежегодная дополнительная потребность в работниках, то есть прирост численности занятых в связи с экономическим ростом, а также потребность в работниках для замещения вакантных мест в связи с естественным движением, то есть с учетом коэффициентов естественного выбытия,

$$DET_t = ET_t - (1 - u)ET_{t-1}, \quad (1)$$

где DET_t — дополнительный спрос на труд ИТС, ET_t — численность занятых ИТС в экономике, $u = 0,033$ — коэффициент, характеризующий дополнительную потребность, связанную с выбытием кадров и появлением вакантных мест.

Аналогичный подход для оценки дополнительного спроса на специалистов применен в работе [Гуртов, Питухин, Серова, 2007]. Коэффициент u введен аналогично коэффициентам естественной ротации и выбытия из-за смены вида деятельности, например, как в работе [Гуртов, Серова, Степуть, 2011], но без конкретизации отдельных видов выбытия с учетом оценок, приведенных в других работах, где для специалистов различных специальностей этот коэффициент примерно составляет 3–4 % (см. [Гуртов, Серова, Степуть, 2011; Gurtov, Shchegoleva, 2018; Гуртов, Серова, Степуть, 2010]). В данной работе он был рассчитан на основе данных Росстата [О численности...] о доле вакантных мест в среднесписочной численности персонала за 2008–2018 гг. как средневзвешенное доли потребности в работниках для замещения вакантных мест по профессионально-квалификационным подгруппам.

Учитывая, что число выпускников образовательных учреждений составляет значительную часть дополнительного предложения труда, совокупный ежегодный прирост предложения на рынке квалифицированного труда оценивается на основе данных о выпуске специалистов (подобный подход реализован в работах, например, [Гуртов, Серова, Степуть, 2010; Жаров, Щеглова, 2014]), в данном случае предложение труда ИТС оценивалось как выпуск специалистов со

средним и высшим инженерно-техническим образованием с учетом доли специалистов, работающих по полученной специальности:

$$SGE_t = c_t GE_t, \quad (2)$$

где SGE_t — предложение труда ИТС, GE_t — численность выпуска ИТС, c_t — доля молодых специалистов, работающих по специальности после выпуска из вуза/ссуза.

По данным Росстата [Итоги выборочного обследования. . .], за период 2013–2017 гг. основная работа была связана с полученной профессией для 69–73 % выпускников инженерно-технических специальностей, получивших высшее профессиональное образование, и 50–53 % выпускников инженерно-технических специальностей, получивших среднее профессиональное образование, то есть в целом среднее значение доли работавших не по полученной профессии ИТС достигала около 40 % (38 % по состоянию на 2017 г.).

Под сбалансированностью спроса и предложения в данной работе рассматривается такое состояние рынка труда ИТС, при котором дополнительная потребность в ИТС может быть обеспечена за счет предложения труда ИТС ($DET_t \approx SGE_t$). Из этого определения следуют два используемых в работе показателя: 1) показатель, полученный как соотношение оценок объема дополнительного спроса на ИТС (DET_t) и предложения труда ИТС, образованного численностью выпускников (SGE_t): SGE_t/DET_t (аналогично «модифицированному показателю напряженности на рынке труда» в работе [Сигова, 2010]), используемый при проведении сценарных прогнозов; 2) при решении оптимизационных задач в качестве целевой функции была выбрана сумма квадратов разности оценок объема дополнительного спроса на ИТС (DET_t) и предложения труда ИТС (SGE_t): $\sum_t (DET_t - SGE_t)^2$.

Макроэкономическая модель для анализа сбалансированности спроса и предложения труда инженерно-технических специалистов

Подходы к моделированию спроса и предложения труда специалистов

Основные подходы к прогнозированию потребности в кадрах включают нормативный подход и моделирование. Пожалуй, наиболее распространены для прогнозирования потребности в специалистах по уровню образования балансовые и матричные типы моделей. В работах [Гуртов, Питухин, Серова, 2007; Васильев и др., 2006] разработана методология прогнозирования потребности в кадрах для России, основанная на матричных моделях, которая позволяет в том числе определять и потребность в ИТС на перспективу. Ограничениями матричных моделей являются необходимость доступности большого объема данных, описывающих или позволяющих рассчитать вероятности перехода между состояниями, а также отклонения, возникающие при прогнозировании уже на среднесрочную перспективу в связи с предположением о постоянстве профессионально-квалификационной структуры занятых в экономике. Альтернативой является подход к разработке динамических замкнутых моделей, обозначенный впервые в работах 1970-х гг. [Freeman, 1976], а также имитационных моделей (например, [Laurence, Karnon, 2016]). Динамические модели рынка труда специалистов представляют собой систему уравнений, в которой используются в качестве отдельных блоков модели численности занятых специалистов и выпуска по соответствующей специальности. При этом, учитывая временной лаг подготовки кадров соответствующей квалификации, динамика движения к равновесию на рынке труда в данных моделях оказывается паутинообразной, то есть подстройка спроса и предложения происходит постепенно в течение некоторого периода времени. При построении моделей данного типа предполагается, что численность занятых специалистов определяется прежде всего динамикой выпуска специалистов из учебных заведений [Blank, Stigler, 1957], и при этом предложение

труда специалистов в значительной степени взаимосвязано со спросом на рынке труда, причем влияние оказывают не только факторы, определяющие предложение труда, но также и спрос на данную категорию специалистов в предыдущие периоды [Tuckman, 1988]. В работе [Freeman, 1976] было также показано, что циклические колебания предложения труда инженеров, проявляющиеся в виде дефицита и избытка ИТС, определяются, помимо изменения заработной платы, также циклическими колебаниями макроэкономических показателей. Однако разработанные ранее замкнутые динамические модели рынка труда специалистов в меньшей мере учитывали макроэкономическую динамику, используя в качестве эндогенной переменной лишь изменение уровня оплаты труда. Это обуславливает необходимость разработки макроэкономических моделей с дополнительными блоками, позволяющими оценить спрос и предложение труда ИТС.

Таким образом, приведенный в работе подход призван дополнить известные подходы к моделированию рынка труда ИТС, рассматривая спрос и предложение труда ИТС во взаимосвязи с другими макроэкономическими показателями, а также динамикой специалистов других направлений подготовки.

Уравнения модели

Модель состоит из 14 блоков, включающих блоки спроса и предложения труда ИТС, выпуска в промышленности и секторе услуг, экономике в целом, совокупного потребления, динамики инвестиций. Центральным блоком является производственная функция для экономики в целом, дополнительно моделируются с помощью производственных функций выпуск промышленности и сектора услуг, являющиеся экзогенными переменными для блоков спроса и предложения труда ИТС. Оставшиеся сектора (включающие строительство, сельское хозяйство) не представлены в модели. Также, например, в работах [Rahman, Khatoon, 2011; Srivastava, 2013] выпуск укрупненных секторов моделируется с помощью производственных функций, макромоделю дополнительно включают блоки переменных, оказывающих влияние на макроэкономическую динамику, например, объема совокупного потребления, инвестиций и др.

Спрос на труд ИТС в данной модели был определен как ежегодная дополнительная потребность в работниках, то есть прирост численности занятых ИТС в связи с экономическим ростом, а также потребности в работниках для замещения вакантных мест в связи с естественным движением, то есть с учетом коэффициентов естественного выбытия. Для этого численность занятых ИТС была получена с помощью многофакторной эконометрической модели, факторами которой являются доля выпуска инженерно-технических специалистов из учреждений профессионального образования, а также относительный уровень заработной платы в промышленности, секторе с наиболее высокой долей спроса на труд ИТС.

Совокупный ежегодный прирост предложения на рынке квалифицированного труда оценивается на основе данных о выпуске специалистов вузами и ссузами. Особенностью разработанной макромоделю является нелинейная динамическая модель выпуска ИТС с учетом подготовки по другим специальностям. Поскольку проведенный анализ динамики выпуска групп специалистов инженерно-технических, социально-гуманитарных, естественно-научных направлений подготовки (включая физические, химические, биологические науки), специальностей образования и здравоохранения, а также культуры и искусства в России в 1995–2018 гг. свидетельствует о произошедших изменениях в динамике доли инженерно-технических и социально-гуманитарных специалистов, что связано как со структурными сдвигами в экономике, так и изменениями профессионально-квалификационной структуры спроса на труд, то в данном случае используется модель динамики выпуска специалистов инженерно-технических и социально-гуманитарных специальностей.

При построении макромоделю частично были использованы результаты, полученные в работе [Freeman, 1976], где было показано, что динамика рынка труда ИТС может быть представ-

лена с помощью рекурсивной паутинообразной модели (recursive cobweb model). В [Freeman, 1976] переходной процесс подстройки спроса и предложения ИТС является следствием длительного периода подготовки кадров ИТС (4–6 лет), который учитывается при моделировании предложения труда. В данной работе на предложение труда ИТС оказывает влияние динамика промышленности с лагом, равным средневзвешенному периоду подготовки кадров специалистов.

Выходными переменными модели являются численность выпуска ИТС (GE_t), численность занятых ИТС (ET_t), спрос на труд ИТС (DET_t), предложение труда ИТС (SGE_t). Экзогенные переменные включают численность занятых в экономике (L_t), численность выпуска специалистов со средним и высшим профессиональным образованием по всем специальностям и направлениям подготовки (G_t), долю инвестиций в ОФ экономики в ВВП (a_t), долю инвестиций в ОФ добывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики (aiq_t), долю инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики (aim_t), долю инвестиций в ОФ распределения газа, воды и электроэнергии в инвестициях в ОФ экономики (aid_t), долю инвестиций в ОФ сектора услуг в инвестициях в ОФ экономики (as_t), уровень загрузки производственных мощностей (Z_t), долю молодых специалистов, продолжающих работать по специальности после выпуска (c_t).

Блок-схема модели приведена на рис. 1.

Блоки модели описываются следующими уравнениями.

1. Спрос на труд (дополнительная потребность в) ИТС:

$$DET_t = ET_t - (1 - u)ET_{t-1}, \tag{1}$$

где DET_t — спрос на труд ИТС, ET_t — численность занятых ИТС в экономике, $u = 0,033$ — коэффициент, характеризующий дополнительную потребность, связанную с выбытием кадров и появлением вакантных мест.

2. Предложение труда ИТС с учетом оттока кадров:

$$SGE_t = c_t GE_t, \tag{2}$$

где SGE_t — предложение труда ИТС, c_t — доля молодых специалистов, работающих по специальности после выпуска из вуза/ссуза, GE_t — численность выпуска ИТС.

3. Численность выпуска ИТС:

$$\frac{\Delta ge_t}{ge_{t-1}} = c_1 + c_2 ge_{t-1} + c_3 \Delta ge_{t-1} + c_4 gs_{t-1} + c_5 \frac{\Delta Yi_{t-5}}{Yi_{t-6}} + c_6 D1_t + c_7 D2_t, \tag{3a}$$

$$\frac{\Delta gs_t}{gs_{t-1}} = c_8 + c_9 ge_{t-1} + c_{10} gs_{t-1} + c_{11} \frac{\Delta Ys_{t-6}}{Ys_{t-7}}, \tag{3б}$$

$$GE_t = ge_t G_t, \tag{3в}$$

где ge_t — доля выпускников инженерно-технических специальностей в общем выпуске, gs_t — доля выпускников социально-гуманитарных специальностей в общем выпуске, Yi_t — объем производства в промышленности, $\Delta Yi_{t-5} = Yi_{t-5} - Yi_{t-6}$, Ys_t — валовая добавленная стоимость сектора услуг, $\Delta Ys_{t-6} = Ys_{t-6} - Ys_{t-7}$, G_t — численность выпуска специалистов со средним и высшим профессиональным образованием по всем специальностям и направлениям подготовки, $D1_t$ — фиктивная переменная, равная 1 для 2013 и 2014 гг. и 0 в остальных случаях; $D2_t$ — фиктивная переменная, равная 1 для 2018 г. и 0 в остальных случаях.

В системе уравнений (3а), (3б) параметры c_4 и c_9 определяют возможность специалистов при выборе специальности поменять решение в пользу другого направления. Параметры c_2 и c_{10} учитывают рост конкуренции за вакансии при насыщении предложения труда работниками

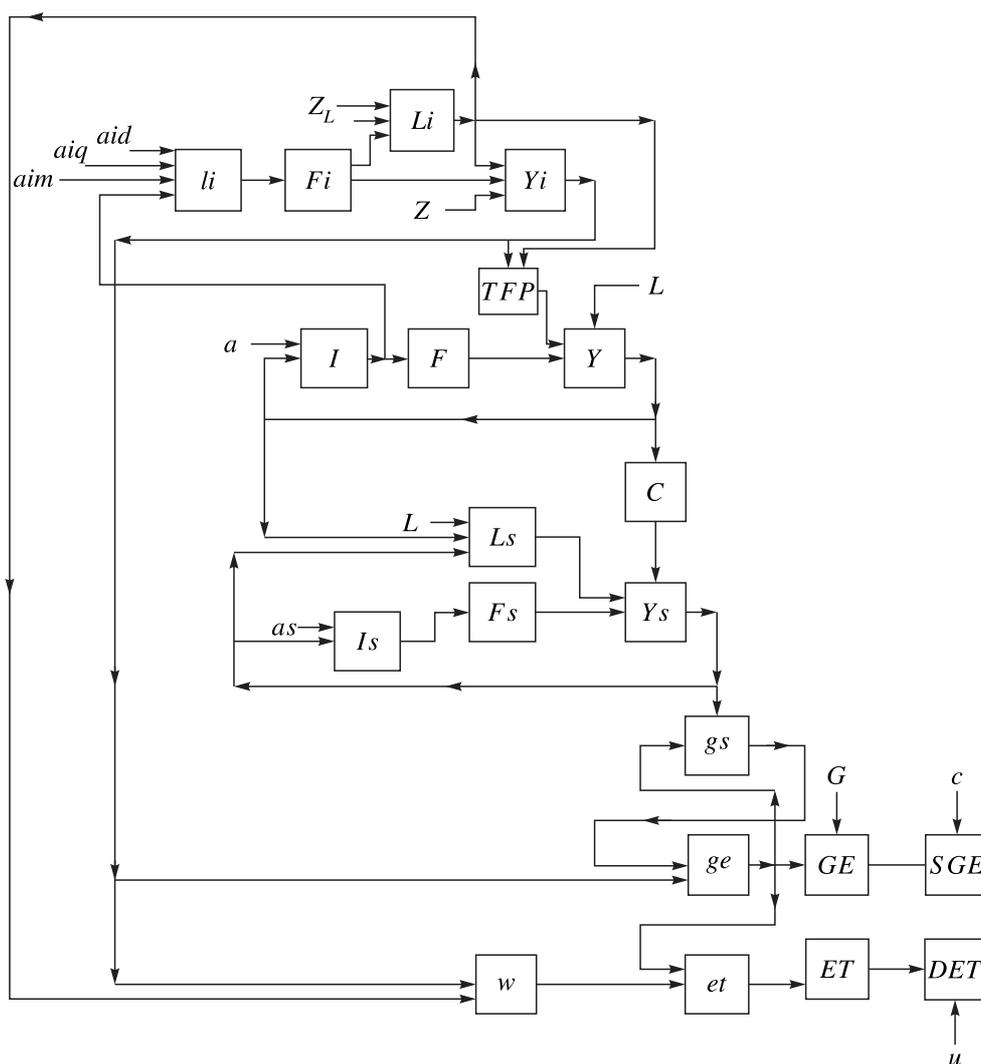


Рис. 1. Блок-схема макроэкономической модели для анализа сбалансированности спроса и предложения труда инженерно-технических специалистов. Обозначения: DET_t — спрос на труд инженерно-технических специалистов (ИТС), ET_t — численность занятых ИТС в экономике; u — коэффициент, характеризующий дополнительную потребность, связанную с выбытием кадров и появлением вакантных мест; SGE_t — предложение труда ИТС с учетом оттока кадров, c_t — доля молодых специалистов, работающих по специальности после выпуска из вуза/ссуза; GE_t — численность выпуска ИТС, ge_t — доля выпускников инженерно-технических специальностей в общем выпуске, gs_t — доля выпускников социально-гуманитарных специальностей в общем выпуске, Y_i — объем производства в промышленности, Y_s — валовая добавленная стоимость сектора услуг, G_t — численность выпуска специалистов со средним и высшим профессиональным образованием по всем специальностям и направлениям подготовки, et_t — доля численности занятых ИТС в общей численности занятых в экономике, w_t — отношение средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности, a_t — доля инвестиций в основные фонды (ОФ) экономики в ВВП, aiq_t — доля инвестиций в ОФ добывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, aim_t — доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, aid_t — доля инвестиций в ОФ распределения газа, воды и электроэнергии в инвестициях в ОФ экономики, as_t — доля инвестиций в ОФ сектора услуг в ОФ экономики, Z_t — уровень загрузки производственных мощностей в промышленности, Fi_t — ОФ промышленности, Li_t — численность занятых в промышленности, Y_t — ВВП, F_t — ОФ экономики, L_t — численность занятых в экономике, TFP_t — совокупная производительность факторов производства, Fs_t — ОФ в секторе услуг, Ls_t — численность занятых в секторе услуг, C_t — совокупные расходы на потребление, I_t — инвестиции в ОФ экономики, Ii_t — инвестиции в ОФ промышленности, Is_t — инвестиции в ОФ сектора услуг

данной специальности, а также влияние мнения сверстников (peer effect, см., например, [Ryoo, Rosen, 2004]). Предполагается, что поступающие на инженерно-технические специальности руководствуются при выборе специальности представлениями об изменении спроса на рабочую силу со стороны промышленности: положительный темп прироста промышленного производства ($\Delta YI_{t-5}/YI_{t-6} > 0$) свидетельствует о возможном росте спроса на специалистов данного профиля, что увеличивает поток абитуриентов. Аналогичная ситуация характерна для специалистов социально-гуманитарного профиля, ориентирующихся на возможный рост сектора услуг ($\Delta YS_{t-6}/YS_{t-7}$). Запаздывание величин $\Delta YI_{t-5}/YI_{t-6}$ и $\Delta YS_{t-6}/YS_{t-7}$ отражает средневзвешенную продолжительность срока подготовки специалистов (за 1995–2015 гг.), которая равна 5 годам для инженерно-технических специальностей (с учетом 3-4-летней подготовки в системе СПО и сохранения на многих инженерных специальностях специалитета 5-6 лет) и 6 годам для социально-гуманитарных (с учетом постепенного перехода на Болонскую систему «бакалавриат + магистратура» и значительной доли выпускников, получавших дипломы специалиста и магистра в данной группе специальностей). Фиктивные переменные ($D1_t$ и $D2_t$) были введены для учета изменений в методологии статистической отчетности и других внешних факторов.

4. Численность занятых ИТС:

$$et_t = c_{12}ge_t + c_{13}w_t + c_{14}D3_t, \tag{4a}$$

$$ET_t = et_t L_t, \tag{4б}$$

где et_t — доля численности занятых ИТС в общей численности занятых в экономике, w_t — отношение средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности, $D3_t$ — фиктивная переменная, равная 1 для 2016 г. и 0 в остальных случаях, для учета изменений в методологии статистической отчетности по профессионально-квалификационным группам.

5. Производственная функция промышленности:

$$Yi_t = c_{15}(Fi_t Z_t)^{c_{16}}(Li_t)^{1-c_{16}}, \tag{5}$$

где Z_t — уровень загрузки производственных мощностей в промышленности, Fi_t — основные фонды промышленности, Li_t — численность занятых в промышленности.

6. Производственная функция экономики:

$$Y_t = c_{17}F_t^{c_{18}}L_t^{1-c_{18}}, \tag{6a}$$

$$d \ln TFP_t = c_{19} + c_{20}d \ln \left(\frac{Yi_t}{Li_t} \right), \tag{6б}$$

где Y_t — ВВП, F_t — ОФ экономики, L_t — численность занятых в экономике, TFP_t — совокупная производительность факторов производства.

7. Производственная функция сектора услуг:

$$Ys_t = c_{21}F_s t^{c_{22}}L_s t^{1-c_{22}}C_t^{c_{23}}, \tag{7}$$

где Ys_t — валовая добавленная стоимость в секторе услуг, $F_s t$ — основные фонды в секторе услуг, $L_s t$ — численность занятых в секторе услуг, C_t — совокупные расходы на потребление.

8. Численность занятых в промышленности:

$$li_t = c_{24}li_{t-1} + c_{25}(Fi_{t-1}Z_{t-1}), \tag{8a}$$

$$Li_t = li_t L_t. \tag{8б}$$

9. Численность занятых в секторе услуг:

$$ls_t = c_{26} \frac{Ys_{t-1}}{Y_{t-1}} + c_{27} li_t + c_{28} D4_t, \quad (9a)$$

$$Ls_t = ls_t L_t, \quad (9b)$$

где $D4_t$ — фиктивная переменная, равная 1 для 2015 и 2016 гг. и 0 в остальных случаях, связанная с учетом кризиса 2014–2015 гг., не отразившегося на снижении доли занятых в сфере услуг.

10. Основные фонды (ОФ) в экономике:

$$F_t = c_{29} F_{t-1} + c_{30} I_t, \quad (10a)$$

$$I_t = a_t Y_{t-1}, \quad (10b)$$

где I_t — инвестиции в основные фонды.

11. Основные фонды (ОФ) промышленности:

$$Fi_t = c_{31} Fi_{t-1} + c_{32} Ii_t, \quad (11a)$$

$$Ii_t = ai_t I_t, \quad (11b)$$

где Ii_t — инвестиции в ОФ промышленности.

12. Основные фонды сектора услуг:

$$Fs_t = c_{33} Fs_{t-1} + c_{34} Is_t, \quad (12a)$$

$$Is_t = as_t I_t, \quad (12b)$$

где Is_t — инвестиции в ОФ сектора услуг.

13. Потребление:

$$C_t = c_{35} + c_{36} Y_t. \quad (13)$$

14. Отношение средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности:

$$w_t = c_{37} + c_{38} \frac{Yi_t}{Li_t}. \quad (14)$$

Источниками статистической информации для оценки параметров моделей были данные Росстата; численность занятых ИТС была оценена по данным обследований Росстата «О численности и потребности организаций в работниках по профессиональным группам» [О численности. . .] и «Сведения о распределении численности работников по размерам заработной платы» [Сведения. . .]. Включение отдельных профессиональных групп в категорию ИТС было проведено с учетом методологии стандартной классификации профессий (аналогично используемой Бюро статистики труда США и Международной организацией труда); при этом в узкую группу инженерных работников не включались специалисты в области естественных наук, математики, компьютерных наук, социальных наук, а также управленческие кадры соответствующей профессиональной квалификации. В численности ИТС были учтены ИТС высшего уровня квалификации и архитекторы, техники и технические специалисты среднего уровня квалификации, а также ряд групп операторов на производстве и техников на транспорте, квалификация которых предполагает профессиональное техническое образование. По причине недостаточно подробных статистических данных по численности специалистов по профессиональным группам в период 1991–2005 гг. в России для периода 2000–2005 гг. была проведена экстраполяция доли ИТС в общей численности занятых, основанная на предположении об относительной стабильности

доли ИТС в численности занятых специалистов, далее для периода 2005–2018 гг. рассматривалась численность ИТС, полученная агрегированием численности отдельных групп специалистов, а также с помощью интерполяции для отдельных лет, для которых не было данных.

Оценка параметров моделей была произведена по данным для разных временных интервалов в связи с неполной доступностью данных по различным показателям, а также в связи с отбором лучших моделей в соответствии со статистическими критериями и точностью результатов прогноза для 2017–2018 гг. В частности, оценка параметров уравнения (3а) произведена по данным 2000–2018 гг., (3б) — по данным 1998–2015 гг., блоки (4)–(6) и (14) были оценены по данным 2000–2016 гг., (7)–(9) — по данным 1999–2016 гг., (10) — по данным 1992–2016 гг., (11) — по данным 2003–2016 гг., (12) — по данным 2001–2015 гг., (13) — по данным 1997–2015 гг.

Оценки параметров уравнений (3а), (3б) были получены методом максимального правдоподобия для системы одновременных уравнений, уравнения (4а), (14) — методом наименьших квадратов, уравнения (5)–(13) — обобщенным методом наименьших квадратов и методом максимального правдоподобия, критерием отбора моделей являлась минимальная среднеквадратическая ошибка. Результаты эконометрического оценивания параметров уравнений представлены в таблице 1а в приложении.

Результаты моделирования и апробация модели

Результаты моделирования выпуска и численности занятых ИТС свидетельствуют о достаточно высокой точности разработанной модели: среднеквадратическая ошибка для рассматриваемого периода 2000–2016 гг. для численности выпуска ИТС (GE_t) — 2,9 %, для численности занятых ИТС (ET_t) — 2,6 %; среднеквадратическая ошибка постпрогноза для 2017–2018 гг. для численности выпуска ИТС (GE_t) — 1,5 %, для численности занятых ИТС (ET_t) — 1,3 % (см. также рис. 2).

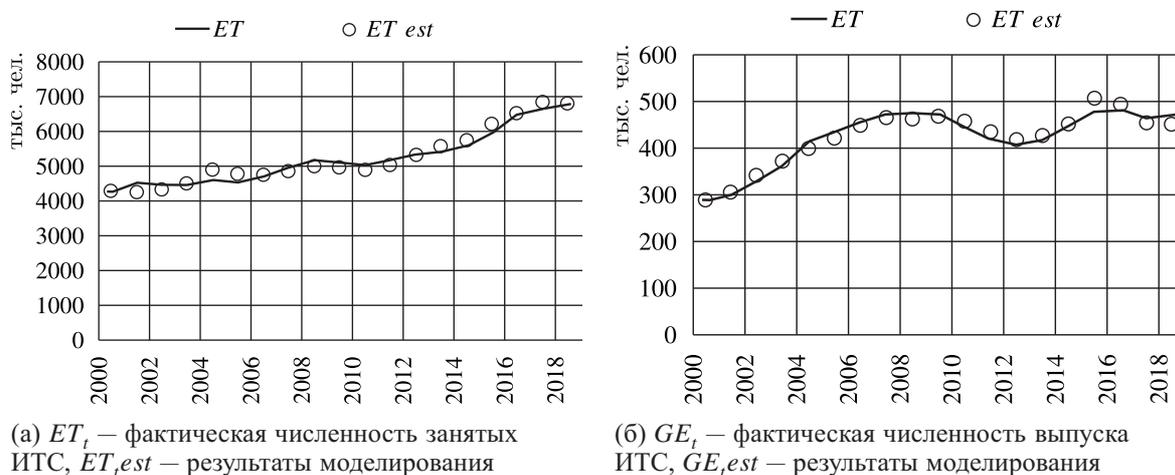


Рис. 2. Фактические и полученные в результате моделирования с использованием макромоделей (1)–(14) значения численности занятых инженерно-технических специалистов (ET_t) и численности выпуска по инженерно-техническим специальностям (GE_t), тыс. чел., 2000–2018 гг.

Предложенная макро модель может быть использована для сценарного анализа сбалансированности спроса и предложения труда ИТС на краткосрочную перспективу. Например, был осуществлен анализ сбалансированности спроса и предложения труда ИТС при различных сценариях экономического развития, приведенных в прогнозе социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2024 г. Минэкономразвития (МЭР) [Прогноз. . .]. Экзогенными переменными для проведения расчетов по сценариям были темп прироста ВВП, темп

прироста промышленных производств, численность занятых. При расчете численности выпуска специалистов ИТС данные по численности выпуска специалистов в целом были взяты из прогноза ИС РАН до 2030 г. [Шереги и др., 2015]. При проведении расчетов темпы роста численности занятых в 2020–2021 гг. были скорректированы и сглажены в сторону понижения, по сравнению с приведенными в прогнозе МЭР, в связи с неблагоприятной эпидемиологической обстановкой и отсутствием официальных статистических оценок на момент расчетов. Основные показатели для сценариев представлены в таблице 1.

Таблица 1. Значения макроэкономических показателей, соответствующие базовому, консервативному и целевому сценариям согласно прогнозу МЭР, 2020–2024 гг. Источник: [Прогноз. . .] и расчеты автора

Показатель	Сценарий	2020	2021	2022	2023	2024
ВВП, темп прироста, к предыдущему году, %	1 (консервативный)	1,1	1,9	2,3	2,5	2,5
	2 (базовый)	1,7	3,1	3,2	3,3	3,3
	3 (целевой)	2,0	3,1	3,2	3,3	3,3
Промышленные производства, темп прироста, к предыдущему году, %	1 (консервативный)	1,7	1,8	2,0	2,2	2,2
	2 (базовый)	2,4	2,6	2,9	3,0	3,1
	3 (целевой)	2,8	2,8	3,0	3,2	3,3
Численность занятых, млн чел.	1 (консервативный)	71,9	72,3	72,6	72,9	73,1
	2 (базовый)	71,9	72,3	72,8	73,3	73,9
	3 (целевой)	71,9	72,3	72,8	73,3	73,9

В качестве показателя степени сбалансированности спроса и предложения труда ИТС для сценарного анализа использовалось соотношение полученных оценок объема дополнительного спроса на ИТС (DET_t) и предложения труда (SGE_t) ИТС, образованного численностью выпускников: (SGE_t/DET_t). Значения данного показателя менее 1 свидетельствовали о возможном дефиците подготавливаемых кадров, в то время как значения, превышающие 1, — о вероятности роста безработицы среди ИТС и потерь кадрового потенциала ИТС.

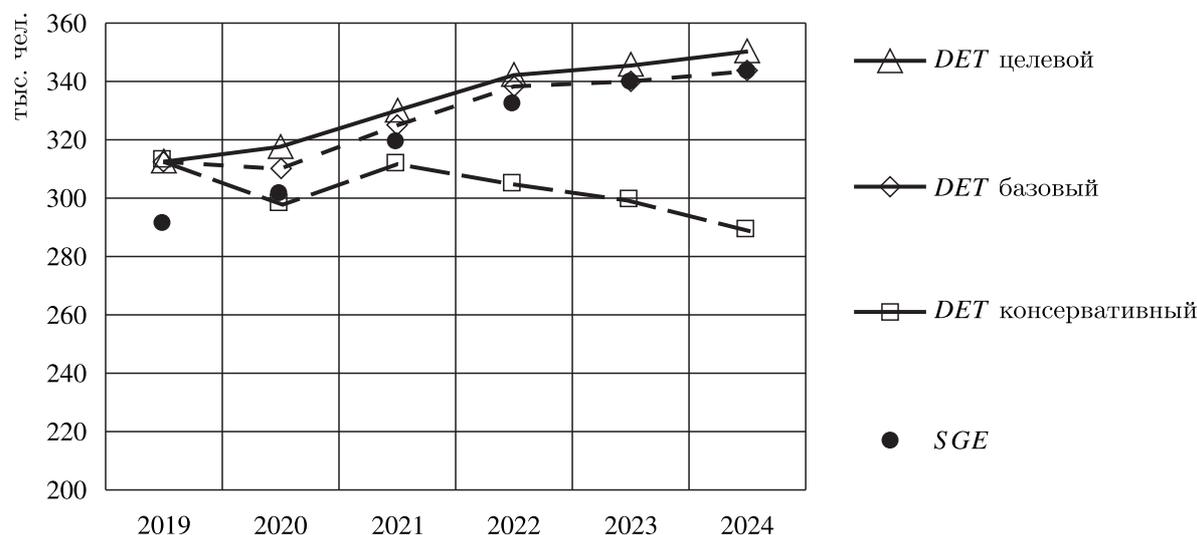


Рис. 3. Динамика показателей спроса на труд ИТС (DET) и предложения труда ИТС (SGE) для целевого, базового и консервативного сценариев, рассчитанных с использованием модели (1)–(14)

Результаты проведенного сценарного анализа показывают (см. рис. 3), что для консервативного сценария, характеризующегося относительно более низкими темпами промышленного развития, возможно сохранение некоторого превышения предложения труда ИТС (выпуска мо-

лодых специалистов) над спросом даже с учетом высокой доли молодых специалистов, не работающих по специальности после окончания профессионального образования, что создает угрозу потери человеческого капитала и роста несбалансированности. В то же время для базового и целевого сценариев (при темпах прироста ВВП и промышленного производства, равных 2,5–3 % и 1,8–2,2 % соответственно), незначительно отличающихся друг от друга; соответственно, в краткосрочном периоде возможно достижение ситуации сбалансированности спроса и предложения труда ИТС все еще при сохранении высокого уровня оттока кадров.

Помимо сценарного анализа и прогнозирования, разработанная макроэкономическая модель позволяет осуществлять анализ условий достижения сбалансированности спроса и предложения труда ИТС с помощью решения оптимизационных задач.

Определение условий сбалансированности спроса и предложения труда ИТС с помощью решения оптимизационных задач

С целью определения условий достижения сбалансированности спроса (DET_t) и предложения (SGE_t) ИТС с помощью разработанной модели (1)–(14) были сформулированы и решены (для периода 2020–2030 гг.) три оптимизационные задачи.

Во всех задачах критерием оптимизации является минимум суммы квадратов разности оценок дополнительного спроса и предложения труда ИТС: $\sum_t (DET_t - SGE_t)^2 \rightarrow \min$.

При этом в задаче 1 параметром оптимизации является темп прироста доли инвестиций в ОП в инвестициях в ОФ экономики в целом ($dLn(aim_t)$).

В задаче 2 параметрами оптимизации являются темп прироста доли инвестиций в ОП в инвестициях в ОФ экономики в целом ($dLn(aim_t)$), соотношение средней заработной платы в промышленности и средней заработной плате в финансовой деятельности (w_t).

В задаче 3 параметрами оптимизации являются темп прироста доли инвестиций в ОП в инвестициях в ОФ экономики в целом ($dLn(aim_t)$), темп прироста отношения средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности ($dLn(w_t)$), доля молодых специалистов, продолжающих работать по специальности после выпуска (c_t). При этом введено ограничение на долю молодых специалистов, продолжающих работать по специальности после выпуска (c_t), исходя из предположения, что максимально возможное снижение оттока учитывает сохранение минимального порога в 20 % специалистов, не работающих по специальности (в связи с продолжением образования, наличием естественной безработицы или по другим причинам).

Задача 1 формулируется следующим образом:

$$\sum_t (DET_t - SGE_t)^2 \rightarrow \min_{dLn(aim_t)}, \tag{15a}$$

$$(aiq_t + aim_t + aid_t) + as_t \leq A, \tag{16a}$$

$$A = 0,91, \tag{16b}$$

$$dLn(aim_t) \geq 0, \tag{17}$$

$$DET_t = ET_t - (1 - u)ET_{t-1}, \tag{1}$$

$$SGE_t = c_t GE_t, \tag{2}$$

$$c_t = 0,62, \tag{18a}$$

$$\frac{\Delta ge_t}{ge_{t-1}} = c_1 + c_2 ge_{t-1} + c_3 \Delta ge_{t-1} + c_4 gs_{t-1} + c_5 \frac{\Delta Y_{t-5}}{Y_{t-6}} + c_6 D1_t + c_7 D2_t, \tag{3a}$$

$$\frac{\Delta gs_t}{gs_{t-1}} = c_8 + c_9 ge_{t-1} + c_{10} gs_{t-1} + c_{11} \frac{\Delta Y_{t-6}}{Y_{t-7}}, \tag{3b}$$

$$GE_t = ge_t G_t, \quad (3B)$$

$$et_t = c_{12}ge_t + c_{13}w_t + c_{14}D3_t, \quad (4a)$$

$$ET_t = et_t L_t, \quad (4b)$$

$$Yi_t = c_{15}(Fi_t Z_t)^{c_{16}}(Li_t)^{1-c_{16}}, \quad (5)$$

$$Y_t = c_{17}F_t^{c_{18}}L_t^{1-c_{18}}, \quad (6a)$$

$$d \ln TFP_t = c_{19} + c_{20}d \ln \left(\frac{Yi_t}{Li_t} \right), \quad (6b)$$

$$Ys_t = c_{21}F_t^{c_{22}}L_t^{1-c_{22}}C_t^{c_{23}}, \quad (7)$$

$$li_t = c_{24}li_{t-1} + c_{25}(Fi_{t-1}Z_{t-1}), \quad (8a)$$

$$Li_t = li_t L_t, \quad (8b)$$

$$ls_t = c_{26} \frac{Ys_{t-1}}{Y_{t-1}} + c_{27}li_t + c_{28}D4_t, \quad (9a)$$

$$Ls_t = ls_t L_t, \quad (9b)$$

$$F_t = c_{29}F_{t-1} + c_{30}I_t, \quad (10a)$$

$$I_t = a_t Y_{t-1}, \quad (10b)$$

$$Fi_t = c_{31}Fi_{t-1} + c_{32}Ii_t, \quad (11a)$$

$$Ii_t = ai_t I_t, \quad (11b)$$

$$Fs_t = c_{33}Fs_{t-1} + c_{34}Is_t, \quad (12a)$$

$$Is_t = as_t I_t, \quad (12b)$$

$$C_t = c_{35} + c_{36}Y_t, \quad (13)$$

$$w_t = c_{37} + c_{38} \frac{Yi_t}{Li_t}. \quad (14)$$

Ограничения задачи 1, помимо уравнений модели (1)–(14), были определены следующим образом:

- 1) суммарная доля инвестиций в ОФ промышленности и секторе услуг от инвестиций в ОФ экономики в целом останется неизменной на уровне 2016 г., равной 91 %;
- 2) доля инвестиций в основные фонды обрабатывающей промышленности в инвестициях в основные фонды экономики в целом на протяжении рассматриваемого периода изменится с некоторым постоянным положительным темпом $d \ln(aim_t)$.

Доля ИТС, работающих по специальности после выпуска (c_t), задана постоянной величиной, и предполагается, что она сохраняется на уровне 2016 г., равном около 62 %.

Задача 2 формулируется следующим образом:

$$\sum_t (DET_t - SGE_t)^2 \rightarrow \min_{d \ln(aim_t), w_t}, \quad (15b)$$

$$(aiq_t + aim_t + aid_t) + as_t \leq A, \quad (16a)$$

$$A = 0,91, \quad (16b)$$

$$d \ln(aim_t) \geq 0, \quad (17)$$

$$DET_t = ET_t - (1 - u)ET_{t-1}, \quad (1)$$

$$SGE_t = c_t GE_t, \quad (2)$$

$$d \ln c_t = 0,05, \quad (18b)$$

$$\frac{\Delta ge_t}{ge_{t-1}} = c_1 + c_2 ge_{t-1} + c_3 \Delta ge_{t-1} + c_4 gs_{t-1} + c_5 \frac{\Delta Y_{t-5}}{Y_{t-6}} + c_6 D1_t + c_7 D2_t, \quad (3a)$$

$$\frac{\Delta gs_t}{gs_{t-1}} = c_8 + c_9 ge_{t-1} + c_{10} gs_{t-1} + c_{11} \frac{\Delta Y_{t-6}}{Y_{t-7}}, \quad (3b)$$

$$GE_t = ge_t G_t, \quad (3b)$$

$$et_t = c_{12} ge_t + c_{13} w_t + c_{14} D3_t, \quad (4a)$$

$$ET_t = et_t L_t, \quad (4b)$$

$$Y_{it} = c_{15} (F_{it} Z_t)^{c_{16}} (L_{it})^{1-c_{16}}, \quad (5)$$

$$Y_t = c_{17} F_t^{c_{18}} L_t^{1-c_{18}}, \quad (6a)$$

$$d \ln TFP_t = c_{19} + c_{20} d \ln \left(\frac{Y_{it}}{L_{it}} \right), \quad (6b)$$

$$Y_{st} = c_{21} F_{st}^{c_{22}} L_{st}^{1-c_{22}} C_t^{c_{23}}, \quad (7)$$

$$li_t = c_{24} li_{t-1} + c_{25} (F_{t-1} Z_{t-1}), \quad (8a)$$

$$Li_t = li_t L_t, \quad (8b)$$

$$ls_t = c_{26} \frac{Y_{st-1}}{Y_{t-1}} + c_{27} li_t + c_{28} D4_t, \quad (9a)$$

$$Ls_t = ls_t L_t, \quad (9b)$$

$$F_t = c_{29} F_{t-1} + c_{30} I_t, \quad (10a)$$

$$I_t = a_t Y_{t-1}, \quad (10b)$$

$$F_{it} = c_{31} F_{it-1} + c_{32} I_{it}, \quad (11a)$$

$$I_{it} = ai_t I_t, \quad (11b)$$

$$F_{st} = c_{33} F_{st-1} + c_{34} I_{st}, \quad (12a)$$

$$I_{st} = as_t I_t, \quad (12b)$$

$$C_t = c_{35} + c_{36} Y, \quad (13)$$

$$w_t = c_{37} + c_{38} \frac{Y_{it}}{L_{it}}. \quad (14)$$

Ограничения задачи 2, помимо уравнений модели (1)–(14), включают ограничения задачи 1, при экзогенно заданном темпе прироста доли молодых специалистов, продолжающих работать по специальности после выпуска (c_t).

Задача 3 формулируется следующим образом:

$$\sum_t (DET_t - SGE_t)^2 \rightarrow \min_{d \ln(aim_t), c_t, d \ln(w_t)}, \quad (15b)$$

$$(aiq_t + aim_t + aid_t) + as_t \leq A, \quad (16a)$$

$$A = 0,91, \quad (16b)$$

$$d \ln(aim_t) \geq 0, \quad (17)$$

$$DET_t = ET_t - (1 - u)ET_{t-1}, \quad (1)$$

$$SGE_t = c_t GE_t, \quad (2)$$

$$c_t \leq 0,80, \quad (18b)$$

$$\frac{\Delta ge_t}{ge_{t-1}} = c_1 + c_2 ge_{t-1} + c_3 \Delta ge_{t-1} + c_4 gs_{t-1} + c_5 \frac{\Delta Y_{t-5}}{Y_{t-6}} + c_6 D1_t + c_7 D2_t, \quad (3a)$$

$$\frac{\Delta gs_t}{gs_{t-1}} = c_8 + c_9 ge_{t-1} + c_{10} gs_{t-1} + c_{11} \frac{\Delta Y_{t-6}}{Y_{t-7}}, \quad (3b)$$

$$GE_t = ge_t G_t, \quad (3b)$$

$$et_t = c_{12} ge_t + c_{13} w_t + c_{14} D3_t, \quad (4a)$$

$$ET_t = et_t L_t, \quad (4b)$$

$$Y_i_t = c_{15} (F_i_t Z_t)^{c_{16}} (L_i_t)^{1-c_{16}}, \quad (5)$$

$$Y_t = c_{17} F_t^{c_{18}} L_t^{1-c_{18}}, \quad (6a)$$

$$d \ln TFP_t = c_{19} + c_{20} d \ln \left(\frac{Y_i_t}{L_i_t} \right), \quad (6b)$$

$$Y_{s_t} = c_{21} F_{s_t}^{c_{22}} L_{s_t}^{1-c_{22}} C_t^{c_{23}}, \quad (7)$$

$$li_t = c_{24} li_{t-1} + c_{25} (F_{i_{t-1}} Z_{t-1}), \quad (8a)$$

$$Li_t = li_t L_t, \quad (8b)$$

$$ls_t = c_{26} \frac{Y_{s_{t-1}}}{Y_{t-1}} + c_{27} li_t + c_{28} D4_t, \quad (9a)$$

$$Ls_t = ls_t L_t, \quad (9b)$$

$$F_t = c_{29} F_{t-1} + c_{30} I_t, \quad (10a)$$

$$I_t = a_t Y_{t-1}, \quad (10b)$$

$$F_i_t = c_{31} F_{i_{t-1}} + c_{32} I_i_t, \quad (11a)$$

$$I_i_t = a_i_t I_t, \quad (11b)$$

$$F_{s_t} = c_{33} F_{s_{t-1}} + c_{34} I_{s_t}, \quad (12a)$$

$$I_{s_t} = a_{s_t} I_t, \quad (12b)$$

$$C_t = c_{35} + c_{36} Y_t, \quad (13)$$

$$w_t = c_{37} + c_{38} \frac{Y_i_t}{L_i_t}. \quad (14)$$

Экзогенными переменными при решении задач 1–3 являлись:

- численность занятых в экономике (L_t); прогнозные оценки были получены из прогноза МЭР до 2036 г.;
- численность выпуска специалистов со средним и высшим профессиональным образованием по всем специальностям и направлениям подготовки (G_t); прогнозные оценки были получены из [Шереги и др., 2015];
- доля инвестиций в ОФ экономики в ВВП (a_t); предполагалось, что данная величина возрастет до 25 % к 2024 г. и до 30 % к 2030 г.;
- уровень загрузки производственных мощностей (Z_t); предполагается неизменным на уровне 2016 г., равным 66,8 %.

Доля молодых специалистов, продолжающих работать по специальности после выпуска (c_t), предполагается неизменной на уровне 2016 г. в задаче 1, задается экзогенно (задача 2) и является параметром оптимизации в задаче 3.

Начальными условиями при решении задач являлись значения параметров доли инвестиций в ОП в инвестициях в ОП экономики в целом ($aim_t = 0,14$), добывающую промышленность ($aiq_t = 0,18$), производство и обеспечение газа, электроэнергии и воды ($aid_t = 0,06$), значение доли инвестиций в ОП экономики в ВВП ($a_t = 0,19$). Остальные начальные условия были получены по результатам моделирования с помощью макромоделей (1)–(14).

Ввиду того что модель выпуска ИТС содержит переменные с лагом в 5 и 6 лет, предполагается, что изменение темпов прироста показателей в 2020–2024 гг. оказывало влияние на сбалансированность спроса и предложения ИТС в период 2025–2030 гг.

Решение задач оптимизации было осуществлено с использованием метода обобщенного понижающего (приведенного) градиента (ОПГ, GRG2 — generalized reduced gradient) для решения нелинейных задач, реализованного в MS Excel.

Результаты расчетов и обсуждение

Результаты решения оптимизационных задач свидетельствуют о возможности существования ситуации сбалансированности спроса и предложения труда ИТС при реализации сценариев одновременного роста доли инвестиций в основные фонды промышленности и относительной заработной платы в промышленности с учетом возможного снижения оттока кадров из специальности.

В частности, в результате решения оптимизационной задачи 1 было показано, что достижение сбалансированности спроса и предложения труда ИТС, с учетом существующего уровня оттока из специальности (около 38 % в 2017 г.), может быть достигнуто при повышении доли инвестиций в ОП ОП в инвестициях в ОП экономики в целом с 14,2 % в 2019 г. до 17,7 % в 2030 г. при сохранении доли инвестиций в добывающие производства и производство и распределение газа, воды и электроэнергии на уровне 18,4 % и 6,4 % соответственно. В этом случае отношение средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности (w_t), согласно модели, должно возрасти с 0,43 в 2019 г. до 0,51 в 2030 г. (см. таблицу 2).

Результаты решения задачи 2 свидетельствуют о том, что достижение сбалансированности спроса и предложения ИТС при снижении оттока кадров ИТС из профессии хотя бы на 3 п.п. (до 35 % к 2030 г.) потребует роста отношения средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности (w_t) с 0,43 в 2019 г. до 0,52 в 2030 г. при увеличении доли инвестиций в ОП ОП до 27 % в 2030 г. (см. таблицу 3).

Результаты решения задачи 3 показывают, что в сложившихся условиях достижение сбалансированности спроса и предложения труда ИТС при росте спроса на ИТС может быть достигнуто при росте отношения средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности (w_t) с 0,43 в 2019 г. до 0,59 в 2030 г. и снижении оттока кадров в другие отрасли и специальности (с 38 % в 2019 г. до 20 % к 2030 г., см. таблицу 4).

Следует отметить, что снижение доли специалистов, не работающих по специальности, может быть результатом как роста относительной заработной платы в промышленности и количества рабочих мест, так и реализации мероприятий по улучшению условий труда ИТС и повышению привлекательности профессии.

Обобщая полученные результаты, отметим, что в случае самого простого сценария, не учитывающего дополнительные меры по улучшению качества рабочих мест и повышению престижности профессии, для достижения сбалансированности требуются несколько менее высокие темпы роста инвестиций в промышленность, чем в сценариях, предусматривающих рост численности занятых ИТС за счет увеличения доли работающих по специальности. В этом случае сбалансированность достигается в основном за счет роста относительного уровня оплаты труда

Таблица 2. Результаты решения оптимизационной задачи 1

	2019	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Темп прироста ВВП, % ($\Delta Y_t/Y_{t-1}$)	2,1	2,4	2,8	3,2	3,7	4,2	4,6
Доля инвестиций в ОФ ОП в инвестициях в ОФ экономики, % ($aim_t * 100\%$)	14,3	14,6	15,1	15,7	16,4	17,0	17,7
Доля инвестиций в ОФ в промышленности в выпуске промышленности, % (I_t/Y_t)	10,8	11,3	12,4	13,5	14,8	16,0	17,4
Доля инвестиций в ОФ промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % (I_t/I_t)	39,1	39,4	39,9	40,5	41,1	41,8	42,4
Темп прироста выпуска промышленности, % ($\Delta Y_{it}/Y_{it-1}$)	2,1	2,5	3,1	3,7	4,3	4,8	5,3
Доля ВДС промышленности в ВВП, % (Y_{it}/Y_t)	27,9	28,0	28,1	28,4	28,7	29,0	29,4
Доля ИТС, продолжающих работать по специальности после выпуска из вузов и сузов ($c_t * 100\%$)	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8
Доля численности занятых ИТС в общей численности занятых, % ($ET_t/L_t * 100\%$)	9,2	9,3	9,5	9,7	9,9	10,1	10,4
Отношение средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности (w_t)	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,49	0,51
Дополнительная потребность в ИТС, тыс. чел. (DET_t)		280,3	294,8	310,6	345,7	374,7	388,7
Выпуск ИТС с учетом оттока кадров из специальности, тыс. чел. (SGE_t)		286,3	314,8	325,7	338,7	364,0	385,7

Таблица 3. Результаты решения оптимизационной задачи 2

	2019	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Темп прироста ВВП, % ($\Delta Y_t/Y_{t-1}$)	2,1	2,4	3,0	3,6	4,3	5,0	5,6
Доля инвестиций в ОФ ОП в инвестициях в ОФ экономики, % ($aim_t * 100\%$)	14,3	15,1	17,0	19,0	21,3	23,8	26,7
Доля инвестиций в ОФ в промышленности в выпуске промышленности, % (I_t/Y_t)	10,8	11,5	12,9	14,6	16,4	18,4	20,7
Доля инвестиций в ОФ промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % (I_t/I_t)	39,1	39,9	41,7	43,8	46,1	48,6	51,5
Темп прироста выпуска промышленности, % ($\Delta Y_{it}/Y_{it-1}$)	2,1	2,6	3,4	4,2	5,1	6,0	6,9
Доля ВДС промышленности в ВВП, % (Y_{it}/Y_t)	27,9	28,0	28,2	28,5	29,0	29,5	30,2
Доля ИТС, продолжающих работать по специальности после выпуска из вузов и сузов ($c_t * 100\%$)	61,8	62,1	62,7	63,3	63,9	64,6	65,2
Доля численности занятых ИТС в общей численности занятых, % ($ET_t/L_t * 100\%$)	9,2	9,3	9,5	9,7	9,9	10,2	10,5
Отношение средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности (w_t)	0,43	0,44	0,45	0,46	0,48	0,50	0,52
Дополнительная потребность в ИТС, тыс. чел. (DET_t)		282,0	301,0	323,0	348,7	380,9	408,2
Выпуск ИТС с учетом оттока кадров из специальности, тыс. чел. (SGE_t)		287,8	319,6	333,9	350,9	381,2	408,4

Таблица 4. Результаты решения оптимизационной задачи 3

	2019	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Темп прироста ВВП, % ($\Delta Y_t / Y_{t-1}$)	2,1	2,4	2,9	3,4	4,0	4,6	5,2
Доля инвестиций в ОФ ОП в инвестициях в ОФ экономики, % ($aim_t * 100\%$)	14,3	14,9	16,2	17,6	19,1	20,7	22,5
Доля инвестиций в ОФ в промышленности в выпуске промышленности, % (I_i / Y_t)	10,8	11,4	12,7	14,1	15,7	17,3	19,2
Доля инвестиций в ОФ промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % (I_i / I_t)	39,1	39,7	41,0	42,3	43,9	45,5	47,3
Темп прироста выпуска промышленности, % ($\Delta Y_i / Y_{i,t-1}$)	2,1	2,6	3,3	4,0	4,8	5,5	6,2
Доля ВДС промышленности в ВВП, % (Y_i / Y_t)	27,9	28,0	28,2	28,4	28,8	29,3	29,8
Доля ИТС, продолжающих работать по специальности после выпуска из вузов и сузов ($c_t * 100\%$)	61,8	63,3	66,5	69,9	73,4	77,1	81,0
Доля численности занятых ИТС в общей численности занятых, % ($ET_t / L_t * 100\%$)	9,2	9,3	9,7	10,2	10,5	10,9	11,4
Отношение средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности (w_t)	0,43	0,43	0,46	0,50	0,52	0,55	0,59
Дополнительная потребность в ИТС, тыс. чел. (DET_t)		281,3	384,3	420,8	402,6	454,8	506,5
Выпуск ИТС с учетом оттока кадров из специальности, тыс. чел. (SGE_t)		293,5	339,0	368,4	402,6	454,8	506,5

в отрасли, однако проблема потери человеческого капитала в виде специалистов, не работающих по специальности, остается. В случае когда предполагается постепенное снижение доли не работающих по специальности ИТС, возникает необходимость, вероятно, более высоких инвестиционных затрат для привлечения специалистов и создания новых рабочих мест, а также дополнительных мер по повышению престижности профессии.

При разработке модели предполагалось, что в среднесрочном периоде устранение несбалансированности связано с ростом рабочих мест для ИТС и одновременным снижением величины существующего оттока кадров из специальности, вносящего вклад в уровень структурной безработицы (однако некоторая доля не работающих по специальности будет сохраняться по причинам выхода из трудовых ресурсов, получения образования, смены деятельности и др.). Следует отметить, что вопрос сбалансированности рынка труда в целом при изменениях в отдельных сегментах заслуживает проведения дальнейших исследований.

Заключение

Предложенная в работе макроэкономическая модель позволяет проводить предварительный сценарный анализ и прогнозирование, а также поиск условий сбалансированности спроса и предложения труда ИТС на среднесрочную перспективу с помощью постановки и решения оптимизационных задач. Так, с помощью расчетов с использованием данной модели было показано, что при сохранении инерционно низких темпов роста ВВП и промышленного производства в краткосрочной перспективе вероятна ситуация сохранения несбалансированности, при которой наблюдается высокий уровень оттока кадров из специальности. При этом в среднесрочной перспективе возможно достижение сбалансированности спроса и предложения труда ИТС при реализации сценариев одновременного роста инвестиций в обрабатывающие производства и повышения относительного уровня средней заработной платы в промышленности, что

необходимо учитывать при разработке и реализации промышленной и макроэкономической политики.

Экспертами также отмечается необходимость разработки стратегических предложений, которые могли бы способствовать снижению разрыва между спросом и предложением труда ИТС. В их числе развитие системы прогнозирования потребности в специалистах с участием вузов, государственного сектора и промышленности [Батоврин, 2013; Свирина, 2016; Delivering STEM. . . , 2018], организация инженерного образования, в том числе системы практик и стажировок [Astrov et al., 2021], предусматривающая также участие научно-производственных структур (технопарков, инновационных инкубаторов при сотрудничестве НИИ и вузов) [Тимофеев, Щеглов, 2019]. Актуальным становится обеспечение дополнительной профессиональной подготовки и переподготовки специалистов в условиях смены технологического уклада [Симоньянц, 2014], повышение статуса инженера, обеспечение социальных гарантий молодым специалистам и их семьям и повышение уровня заработной платы [Серова, Степуть, 2013].

В то же время для получения более точных оценок необходимо дополнительно учитывать и моделировать ряд показателей, к которым относятся как факторы спроса (например, показатели затрат на научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки, дифференциация спроса частного и общественного сектора [Sing et al., 2016], оказывающие влияние на общий спрос на труд ИТС), так и компоненты предложения труда, которые по причине нехватки данных иногда не могут быть учтены, в их числе миграционные потоки и профессиональная мобильность, теневая занятость, изменение норм выбытия со временем и др. [Laurence, Karnon, 2016]. Проблема исследования миграционных потоков специалистов, а также влияния несбалансированности спроса и предложения специалистов в других странах на мобильность специалистов в отечественной экономике также является малоизученной областью [Shimotsu, Majumdar, 2006].

Стоит отметить, что актуальной проблемой повышения качества моделей динамики трудовых ресурсов является получение более полных данных временных рядов по численности занятых в профессионально-квалификационном разрезе [Abel et al., 2020]. Отдельного внимания при моделировании занятости ИТС на национальном уровне для развитых и развивающихся стран заслуживают анализ и учет процессов деиндустриализации и реиндустриализации, а также развития сектора профессиональных услуг, моделирование влияния на занятость процессов аутсорсинга и офшоринга [Salzman, Lynn, 2009]. При этом, учитывая влияние престижности профессии на формирование предложения труда на долгосрочную перспективу, в целях прогнозирования может быть целесообразным учитывать экспертные оценки перспективной престижности профессий и направлений развития науки и технологий.

Список литературы (References)

- Батоврин В. К.* Современные тенденции в организации профессиональной подготовки инженерных кадров // Федерализм. — 2013. — № 3 (71). — С. 51–66.
Batovrin V. K. Sovremennye tendencii v organizacii professional'noj podgotovki inzhenernyh kadrov [Current trends in the organization of professional training of engineering staff] // Federalizm. — 2013. — No. 3 (71). — P. 51–66 (in Russian).
- Варшавская Е. Я., Котырло Е. С.* Выпускники инженерно-технических и экономических специальностей: между спросом и предложением // Вопросы образования. — 2019. — № 2. — С. 98–128. — DOI: 10.17323/1814-9545-2019-2-98-128
Varshavskaya E., Kotyrlo E. Vypuskniki inzhenerno-tekhnicheskikh i ekonomicheskikh spetsial'nostey: mezhdusprosom i predlozheniem [Engineering and Economics Graduates: Between Demand and Supply] // Voprosy obrazovaniya [Educational Studies]. — 2019. — No. 2. — P. 98–128 (in Russian).
- Васильев В. Н. и др.* Рынок труда и рынок образовательных услуг в субъектах Российской Федерации. — М.: Техносфера, 2006.
Vasil'ev V. N. et al. Rynok truda i rynek obrazovatel'nykh uslug v sub"ektakh Rossiiskoi Federatsii [The labor market and the market of educational services in the regions of the Russian Federation]. — М.: Tekhnosfera, 2006 (in Russian).

- Гимпельсон В. Е., Капелюшников Р. И., Лукьянова А. Л.* Спрос на труд и квалификацию в промышленности: между дефицитом и избытком // Экономический журнал Высшей школы экономики. — 2007. — Т. 11, № 2. — С. 163–199.
Gimpel'son V. E., Kapelyushnikov R. I., Luk'yanova A. L. Spros na trud i kvalifikatsiyu v promyshlennosti: mezhdru defitsitom i izbytkom [Demand for Labour in Russian Industry: Between Shortage and Excess] // Ekonomicheskii zhurnal Vysshei shkoly ekonomiki. — 2007. — Vol. 11, no. 2. — P. 163–199 (in Russian).
- Гуртов В. А., Питухин Е. А.* Прогнозирование потребностей экономики в квалифицированных кадрах: обзор подходов и практик применения // Университетское управление: практика и анализ. — 2017. — Т. 21 (4). — С. 130–161. — DOI: 10.15826/umpa.2017.04.056
Gurtov V. A., Pitukhin E. A. Prognozirovanie potrebnosti ekonomiki v kvalifitsirovannykh kadrakh: obzor podkhodov i praktik primeneniya [Forecasting the needs of the economy in qualified personnel: an overview of approaches and application practices] // Universitetskoe upravlenie: praktika i analiz [University Management: Practice and Analysis]. — 2017. — Vol. 21 (4). — P. 130–161. — DOI: 10.15826/umpa.2017.04.056 (in Russian).
- Гуртов В. А., Питухин Е. А., Серова Л. М.* Моделирование потребностей экономики в кадрах с профессиональным образованием // Проблемы прогнозирования. — 2007. — № 6. — С. 91–107.
Gurtov V. A., Pitukhin E. A., Serova L. M. Modelirovanie potrebnosti ekonomiki v kadrakh s professional'nym obrazovaniem [Modelling the demand of economics in qualified personnel] // Problemy prognozirovaniya [Studies on Russian Economic Development]. — 2007. — Vol. 6. — P. 91–107 (in Russian).
- Гуртов В. А., Серова Л. М., Степутьев И. С.* Приоритеты экономики: прогнозирование потребностей в кадрах с высшим профессиональным образованием // Университетское управление: практика и анализ. — 2011. — № 4. — С. 43–51.
Gurtov V. A., Serova L. M., Stepus' I. S. Prioritety ekonomiki: prognozirovanie potrebnosti v kadrakh s vysshim professional'nym obrazovaniem [The priority of economy: forecasting of needs which personnel with higher vocational education is considered] // Universitetskoe upravlenie: praktika i analiz [University Management: Practice and Analysis]. — 2011. — Vol. 4. — P. 43–51 (in Russian).
- Гуртов В. А., Серова Л. М., Степутьев И. С.* Прогнозирование потребности высокотехнологичных секторов экономики в кадрах с высшим профессиональным образованием. — М., 2010. (Экономика высшей школы: Аналитические обзоры по основным направлениям развития высшего образования / ФИРО; вып. 8).
Gurtov V. A., Serova L. M., Stepus' I. S. Prognozirovanie potrebnosti vysokotekhnologichnykh sektorov ekonomiki v kadrakh s vysshim professional'nym obrazovaniem [Forecasting the demand in qualified personnel for high-tech sectors of the economy]. — M., 2010. (Ekonomika vysshei shkoly: Analiticheskie obzory po osnovnym napravleniyam razvitiya vysshego obrazovaniya [Economics of higher education: Analytical reports on basic trends of development in higher education] / FIRO; iss. 8) (in Russian).
- Жаров В. С., Шеглова А. Н.* Методика прогнозирования спроса на специалистов в системе высшего профессионального образования региона // Экономический анализ: теория и практика. — 2014. — № 12 (361). — С. 47–56.
Zharov V. S., Shcheglova A. N. Metodika prognozirovaniya sprosa na spetsialistov v sisteme vysshego professional'nogo obrazovaniya regiona [Methodology for forecasting the demand for specialists in the regional higher education system] // Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika [Economic analysis: theory and practice]. — 2014. — No. 12 (361). — P. 47–56 (in Russian).
- Итоги выборочного обследования рабочей силы. — Росстат. Выпуски за 2013–2017 гг. — URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13265> (дата обращения: 26.10.2020).
Itogi vyborochnogo obsledovaniya rabochei sily [Results of a Sample Labor Force Survey]: 2013–2017. — Rosstat [Federal State Statistics Service]. — URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13265> (accessed: 26.10.2020) (in Russian).
- Капелюшников Р. И.* Спрос и предложение высококвалифицированной рабочей силы в России: кто бежал быстрее? / Препринты. ГУ ВШЭ. Сер. WP3 «Проблемы рынка труда». — 2011. — № 09.
Kapelyushnikov R. I. Spros i predlozhenie vysokokvalifitsirovannoi rabochei sily v Rossii: kto bezhal bystree? [The race between demand and supply of skilled labor in Russia: who is a winner?] // Working paper WP3/2011/09 Higher School of Economics. — Moscow: Publishing House of the Higher School of Economics, 2011 (in Russian).

- Коровкин А. Г., Долгова И. Н., Единак Е. А., Королев И. Б.* Согласование спроса на рабочую силу и ее предложения на региональных рынках труда: опыт анализа и моделирования // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. — 2012. — № 10. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/soglasovanie-sprosa-na-rabochuyu-silu-i-ee-predlozheniya-na-regionalnyh-rynkah-truda-opyt-analiza-i-modelirovaniya> (дата обращения: 29.03.2021).
- Korovkin A. G., Dolgova I. N., Edinak E. A., Korolev I. B.* Soglasovanie sprosa na rabochuyu silu i ee predlozheniya na regional'nykh ryнкakh truda: opyt analiza i modelirovaniya [Aligning Labor Demand and Supply in Regional Labor Markets: An Analysis and Modeling Experience] // Nauchnye trudy: Institut narodnokhozyaystvennogo prognozirovaniya RAN [Scientific Works of Institute of Economic Forecasting RAS]. — 2012. — No. 10. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/soglasovanie-sprosa-na-rabochuyu-silu-i-ee-predlozheniya-na-regionalnyh-rynkah-truda-opyt-analiza-i-modelirovaniya> (accessed: 29.03.2021) (in Russian).
- О численности и потребности организаций в работниках по профессиональным группам за 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018 гг. — ГКС [официальный сайт]. — URL: http://old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1245749635312 (дата обращения: 26.10.2020).
- O chislennosti i potrebnosti organizatsii v rabotnikakh po professional'nym gruppam [Number of employed and demand projections of employment in organizations]: 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018. — GKS [Federal State Statistics Service]. — URL: http://old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1245749635312 (accessed: 26.10.2020) (in Russian).
- Путухин Е. А., Гуртов В. А.* Математическое моделирование динамических процессов в системе «экономика – рынок труда – профессиональное образование». — СПб.: Изд-во СПбГУ, 2006.
- Pitukhin E. A., Gurtov V. A.* Matematicheskoe modelirovanie dinamicheskikh protsessov v sisteme «ekonomika – ryнок truda – professional'noe obrazovanie» [Mathematical modeling of dynamic processes in the system «economy – labor market – vocational education»]. — SPb.: Izd-vo SPbGU, 2006 (in Russian).
- Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2024 года. — URL: <http://economy.gov.ru/minec/activity/sections/macro/prognoz/2019093005> (дата обращения: 26.10.2020).
- Prognoz sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossiiskoi Federatsii na period do 2024 goda [Forecast of the socio-economic development of the Russian Federation for the period up to 2024]. — URL: <http://economy.gov.ru/minec/activity/sections/macro/prognoz/2019093005> (accessed: 26.10.2020) (in Russian).
- Рывкина Р. В., Коленникова О. А.* Кадровый кризис на промышленных предприятиях России // Социологические исследования. — 2007. — № 8 (280). — С. 52–57.
- Ryvkina R. V., Kolennikova O. A.* Kadrovyy krizis na promyshlennykh predpriyatiyakh Rossii [Personnel crisis at industrial enterprises in Russia] // Sotsiologicheskie issledovaniya [Sociological Studies]. — 2007. — Vol. 8 (280). — P. 52–57 (in Russian).
- Сведения о заработной плате работников в организациях по категориям персонала и профессиональным группам работников // Выборочные обследования. Росстат. <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/60671> (дата обращения: 26.10.2020).
- Svedeniya o zarabotnoi plate rabotnikov v organizatsiyakh po kategoriyam personala i professional'nym gruppam rabotnikov [Bulletin on wages of employees of organizations by categories of personnel and professional groups of workers] // Vyborochnye obsledovaniya [Sample surveys]. — Rosstat [Federal State Statistics Service]. — URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/60671> (accessed: 26.10.2020) (in Russian).
- Свирина Л. Н.* Новые тенденции взаимодействия университетов – предприятий – государства в сфере подготовки профессиональных кадров для высокотехнологичных секторов экономики // Вестник Института экономики РАН. — 2016. — № 4. — С. 94–104.
- Svirina L. N.* Novye tendentsii vzaimodeistviya universitetov – predpriyatii – gosudarstva v sfere podgotovki professional'nykh kadrov dlya vysokotekhnologichnykh sektorov ekonomiki [New trends in the interaction between universities – enterprises – state in the training of professionals for high-tech sectors of the economy] // Vestnik Instituta ekonomiki RAN [Bulletin of the IE RAS]. — 2016. — No. 4. — P. 94–104 (in Russian).
- Серова Л. М., Степунь И. С.* Актуальные проблемы подготовки и трудоустройства кадров инженерно-технического профиля в Российской Федерации // Материалы Десятой Всероссийской научно-практической конференции «Спрос и предложение на рынке труда и рынке образовательных услуг в регионах России» 30–31.10.2013 г. —

URL: http://www.labourmarket.ru/i_confs/conf10/book/iconf10_book1.pdf#page=225 (дата обращения: 26.10.2020).

Serova L.M., Stepus' I.S. Aktual'nye problemy podgotovki i trudoustroistva kadrov inzhenerno-tekhnicheskogo profilya v Rossiiskoi Federatsii [Actual problems of training and employment of engineering personnel in the Russian Federation] // *Materialy Desyatoi Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Spros i predlozhenie na rynke truda i rynke obrazovatel'nykh uslug v regionakh Rossii»* [Proceedings of the 10th All-Russian Scientific and Practical Conference «Supply and Demand in the Labor Market and the Market of Educational Services in the Regions of Russia»] 30–31.10.2013. — URL: http://www.labourmarket.ru/i_confs/conf10/book/iconf10_book1.pdf#page=225 (accessed: 26.10.2020) (in Russian).

Сигова С. В. Повышение сбалансированности российского рынка труда // Социальная политика и социальное партнерство. — 2010. — № 5. — С. 24–31. — URL: <http://openbudgetrf.ru/doc/76/> (дата обращения: 13.08.2021). *Sigova S. V.* Povyshenie sbalansirovannosti rossiiskogo rynka truda [Improving the balance of the Russian labor market] // *Sotsial'naya politika i sotsial'noe partnerstvo* [Social policy and social partnership]. — 2010. — No. 5. — P. 24–31. — URL: <http://openbudgetrf.ru/doc/76/> (accessed: 13.08.2021) (in Russian).

Симоньянц Р. П. Проблемы инженерного образования и их решение с участием промышленности // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Баумана. — 2014. — № 3. — С. 394–419. — URL: <http://technomagelpub.elpub.ru/jour/article/view/562/564> (дата обращения: 12.08.2021).

Simon'yants R. P. Problemy inzhenernogo obrazovaniya i ikh reshenie s uchastiem promyshlennosti [Problem of engineering education and their decision involving industry] // *Nauka i obrazovanie* [Science and Education]. — 2014. — No. 3. — P. 394–419. — URL: <http://technomagelpub.elpub.ru/jour/article/view/562/564> (accessed: 12.08.2021) (in Russian).

Тимофеев В. И., Щеглов Д. К. Актуальные вопросы совершенствования системы высшего профессионального образования в контексте современных требований рынка труда // Инновации. — 2019. — № 10 (252). — С. 61–67. — DOI: 10.26310/2071-3010.2019.252.10.007

Timofeev V.I., Shcheglov D.K. Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya sistemy vysshego professional'nogo obrazovaniya v kontekste sovremennykh trebovaniy rynka truda [Actual issues of improvement of the higher professional education system in the context of modern labor market requirements] // *Innovatsii* [Innovations]. — 2019. — No. 10 (252). — P. 61–67. — DOI: 10.26310/2071-3010.2019.252.10.007 (in Russian).

Шереги Ф. Э., Арефьев А. Л., Ключарев Г. А., Тюрина И. О. Численность обучающихся, педагогического и профессорско-преподавательского персонала, число образовательных организаций Российской Федерации. (Прогноз до 2020 года и оценка тенденций до 2030 года). — М.: Институт социологии РАН, Центр социального прогнозирования и маркетинга, 2015.

Sheregi F.E., Aref'ev A.L., Klyucharev G.A., Tyurina I.O. Chislennost' obuchayushchikhsya, pedagogicheskogo i professorsko-prepodavatel'skogo personala, chislo obrazovatel'nykh organizatsii Rossiiskoi Federatsii [The number of students, teaching and teaching staff, the number of educational institutions of the Russian Federation]. (Prognoz do 2020 goda i otsenka tendentsii do 2030 goda [Forecast to 2020 and assessment of trends until 2030]). — Moscow: Institute of Sociology RAS, Center for Social Forecasting and Marketing, 2015 (in Russian).

Abel G.A. et al. Workforce predictive risk modelling: development of a model to identify general practices at risk of a supply?demand imbalance // *BMJ Open* 2020. — 2018. — Vol. 10 (e027934). — doi: 10.1136/bmjopen-2018-027934

Astrov V. et al. How do Economies in EU-CEE Cope with Labour Shortages? // *The Vienna Institute for International Economic Studies Wiener Institut für Internationale Wirtschaftsvergleiche*. — 2021. — Research Report 452. — URL: <https://wiiw.ac.at/how-do-economies-in-eu-cee-cope-with-labour-shortages-dlp-5641.pdf> (accessed: 12.08.2021).

Blank D.M., Stigler G.J. The Demand and Supply of Scientific Personnel. — New York: National Bureau of Economic Research, 1957. — P. 29–30. — URL: <http://www.nber.org/books/blan57-1> (accessed: 26.10.2020).

Delivering STEM (science, technology, engineering and mathematics) skills for the economy // *Comptroller and Auditor General Report*. — UK National Audit Office, 2018. —

- URL: <https://dera.ioe.ac.uk/31299/1/Delivering-STEM-Science-technology-engineering-and-mathematics-skills-for-the-economy.pdf> (accessed: 12.08.2021).
- Freeman R. B.* A cobweb model of supply and starting salary of new engineers // *Industrial and new relations review*. — 1976. — Vol. 29 (2). — P. 236–248.
- Gurtov V. A., Shchegoleva L. V.* Forecasting the Economic Need for Personnel with Higher Scientific Qualifications // *Studies on Russian Economic Development*. — 2018. — Vol. 29, no. 4. — P. 415–422.
- Jnitova V., Elsayah S., Ryan M.* Review of simulation models in military workforce planning and management context // *The Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology*. — 2017. — Vol. 14 (4). — P. 447–463. — DOI: 10.1177/1548512917704525
- Laurence C. O., Karnon J.* Improving the planning of the GP workforce in Australia: a simulation model incorporating work transitions, health need and service usage // *Human Resources in Health*. — 2016. — Vol. 14, no. 13. — <https://doi.org/10.1186/s12960-016-0110-2>
- Rahman M. M., Khatoon R.* A Small Macroeconometric Model of the Bangladesh Economy. — 2011. — URL: [https://www.research.manchester.ac.uk/portal/en/publications/a-small-macroeconometric-model-of-the-bangladesh-economy\(ea10526f-a213-4f10-adfd-545e86b6a0ff\)/export.html#export](https://www.research.manchester.ac.uk/portal/en/publications/a-small-macroeconometric-model-of-the-bangladesh-economy(ea10526f-a213-4f10-adfd-545e86b6a0ff)/export.html#export) (accessed: 26.10.2020).
- Ryoo J., Rosen S.* The Engineering Labor Market // *Journal of Political Economy*. — 2004. — Vol. 112, no. 1. — P. 110–140.
- Salzman H., Benderly B. L.* STEM Performance and Supply: Assessing the Evidence for Education Policy // *Journal of Science Education and Technology*. — 2019. — Vol. 28. — P. 9–25. — DOI: 10.1007/s10956-018-9758-9
- Salzman H., Lynn L.* The «New» Globalization of Engineering: How the Offshoring of Advanced Engineering Affects Competitiveness and Development // *Economics, Management, and Financial Markets*. — 2009. — Vol. 4 (1). — P. 11–46. — DOI: 10.7282/T39P33C3
- Shimotsu K., Majumdar S.* Enrollment Responses To Labour Market Conditions: A Study Of The Canadian Market For Scientists And Engineers. — Working Paper 1105, Economics Department, Queen’s University, 2006. — URL: https://www.econ.queensu.ca/sites/econ.queensu.ca/files/qed_wp_1105.pdf (accessed: 12.08.2021).
- Sing M. C. P., Love P. E. D., Edwards D. J., Liu J.* Dynamic Modeling of Workforce Planning for Infrastructure Projects // *Journal of Management in Engineering*. — 2016. — Vol. 32 (6). — DOI: 10.1061/(asce)me.1943-5479.0000463
- Smith E.* Shortage or surplus? A long-term perspective on the supply of scientists and engineers in the US and the UK // *Review of Education*. — 2017. — Vol. 5 (2). — P. 171–199.
- Srivastava D. K.* A Macro-Econometric Model of the Indian Economy Based on Quarterly Data (Version January 2013). — URL: <http://www.mse.ac.in/wp-content/uploads/2016/09/Draft-Report-Quarterly-Model-M11-2013.pdf> (accessed: 26.10.2020).
- Tuckman H. P.* Supply, Human Capital, and the Average Quality Level of the Science and Engineering Labor Force // *Economics of Education Review*. — 1988. — Vol. 7, no. 4. — P. 405–421.

Приложение

Таблица 1а. Оценки параметров модели модели для анализа сбалансированности спроса и предложения инженерно-технических специалистов, уравнения (1)–(14) (пояснения — в тексте)

№ уравнения	Зависимая переменная		Фактор	Оценка параметра	t-статистика	R ²	F	DW	RMSE, %
3а	$\Delta ge_t/ge_{t-1}$	c_1	const	42,660	1,958	0,76	6,34	2,15	2,0
		c_2	ge_{t-1}	-1,509	-2,684				
		c_3	Δge_{t-1}	1,010	1,116				
		c_4	gs_{t-1}	-0,195	-0,790				
		c_5	$\Delta Yi_{t-5}/Yi_{t-6}$	0,169	1,127				
		c_6	D1	11,965	4,103				
		c_7	D2	4,756	0,302				
3б	$\Delta gs_t/g_{s_{t-1}}$	c_8	const	59,357	7,277	0,76	12,66	2,4	1,8
		c_9	ge_{t-1}	-1,100	-5,344				
		c_{10}	gs_{t-1}	-0,676	-6,464				
		c_{11}	$\Delta Ys_{t-6}/Ys_{t-7}$	0,081	1,003				
4а	et_t	c_{12}	ge_{t-1}	0,088	2,06	0,93	—	0,86	3,7
		c_{13}	w_t	0,134	5,10				
		c_{14}	D3	0,674	2,02				
5	$Ln[Yi_t/Li_t]$	c_{15}	const	2,476	4,794	0,86	94,77	0,72	1,4
		c_{16}	$Ln[Fi_t/Z_t/Li_t]$	0,734	9,735				
6а	$Ln[Y_t/L_t]$	c_{17}	const	3,763	5,657	0,59	15,25	1,53	3,3
		c_{18}	$Ln[F_t/L_t]$	0,368	3,905				
6б	$dLnTFP_t$	c_{19}	const	-0,005	-0,834	0,74	43,47	1,56	1,4
		c_{20}	$Ln[Yi_t/L_t]$	0,677	6,593				
7	$Ln[Ys_t/Ls_t]$	c_{21}	const	-6,698	-10,331	0,96	172,71	0,85	1,0
		c_{22}	$Ln[Fs_t/Ls_t]$	0,563	2,875				
		c_{23}	$Ln[C_t]$	0,525	5,561				
8а	li_t	c_{24}	li_{t-1}	0,915	32,712	0,99	—	1,80	1,5
		c_{25}	$Fi_{t-1}Z_{t-1}$	2,616	2,343				
8а	ls_t	c_{26}	ls_{t-1}	0,465	3,912	0,93	—	1,53	1,9
		c_{27}	Ys_{t-1}/Y_{t-1}	0,523	4,498				
		c_{28}	D4	2,786	3,521				
10а	F_t	c_{29}	F_{t-1}	0,973	181,482	0,96	—	—	5,9
		c_{30}	I_t	0,572	9,654				
11а	Fi_t	c_{31}	Fi_{t-1}	0,906	7,056	0,91	—	—	7,9
		c_{32}	I_t	0,935	1,003				
12а	Fs_t	c_{33}	Fs_{t-1}	0,978	26,964	0,92	—	—	13,2
		c_{34}	Is_t	0,774	1,408				
13	C_t	c_{35}	const	-232,398	-0,200	0,97	443,96	1,22	4,5
		c_{36}	Y_t	0,698	21,070				
14	w_t	c_{37}	const	24,446	10,593	0,70	37,60	1,05	4,4
		c_{38}	Yi_t/Li_t	0,008	6,132				