УДК 51-77+330.4 DOI: http://doi.org/10.25728/pu.2022.6.2

БИНАРНАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ РЕСТРУКТУРИЗАЦИЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЯДРА ЭКОНОМИКИ

В.Б. Гусев

Аннотация. Предметом исследования являются многоотраслевая модель технологического ядра экономической системы, математические методы ее анализа, а также расчета плана реструктуризации технологического ядра. В качестве формализованного критерия эффективности структурных инноваций предложен показатель продуктивности технологического ядра экономики. Формализована постановка оптимизационной задачи поиска сбалансированного состояния, доставляющего экстремум показателю продуктивности с помощью плана изменения индексов выпуска и цен. Разработан метод эквивалентного преобразования модели с учетом достигнутых значений показателей. Доказан ряд утверждений о свойствах равновесного и сбалансированного состояний. Это позволило построить многоэтапный процесс расчета траектории, приближающей экономическую систему к сбалансированному состоянию. Анализ многоотраслевой модели экономики позволил сравнить неуправляемый и управляемый режимы развития. Неуправляемый режим имитирует состояние рыночной экономики и характеризуется отсутствием централизованного управления экономикой, устойчивостью и относительно низкими показателями роста ВВП. Управляемый режим предполагает применение методологии стратегического планирования. Показано, что с применением планирования продуктивность экономики РФ может существенно возрасти уже на первых этапах реализации плана. Предложенная методология формирования индикативного плана математически обоснована. Приведены численные примеры ее реализации на реальных статистических данных. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности развития институтов централизованного стратегического планирования для развития технологической инфраструктуры экономики РФ. Такие институты особенно актуальны в ситуации военной операции и беспрецедентных внешних санкций.

Ключевые слова: технологическое ядро экономики, управляемый режим развития, экстремум продуктивности, равновесие системы, сбалансированное состояние, эквивалентное преобразование модели, индикативное стратегическое планирование, план реструктуризации.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире применение странами однотипных технологических процессов приводит к неоднозначным результатам: душевой ВВП одной страны может существенно отличаться от душевого ВВП другой страны. В определенной степени такое различие объясняется структурными особенностями экономики этих стран. «Применительно к России все в большей степени приходит осознание того, что основные ограничения экономического роста в стране обусловлены структурой экономики: это неэффективная структура производства, непродуктивная структура доходов, отсталая структура экспорта, нерациональная региональная структура размещения производительных сил» [1].

Экономика РФ сталкивается с кризисными явлениями разного уровня. На микроуровне это неблагоприятные условия ведения бизнеса в производственной сфере, перекос в сторону торговли и услуг, непродолжительное время жизни малых предприятий, значительная доля банкротств. На макроуровне это низкий темп роста ВВП, критическая зависимость экономики от экспорта нефти и газа, неустойчивость валютного курса, малая доля обрабатывающего и высокотехнологичного секторов промышленности, недостаточный рост ее основных фондов, зависимость от внешних санкций, малая эффективность механизмов управления. На внешнем уровне это военная операция и экономические санкции.

На совершенствование механизмов управления экономикой нацелены: Федеральный закон «О стратегическом планировании в Российской Федерации» от 28.06.2014 года № 172-ФЗ, Указ Президента РФ от 21.07.2020 № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» и Указ Президента РФ от 08.11.2021 № 633 «Об утверждении Основ государственной политики в сфере стратегического планирования в Российской Федерации». Они предусматривают «внедрение современных методов прогнозирования, моделирования, индикативного планирования, балансовых расчетов и информационных технологий».

Также в документах отмечено, что:

- «Основными инструментами системы стратегического планирования являются индикативное планирование, предусматривающее формирование комплекса согласованных показателей, характеризующих состояние и цели социально-экономического развития и обеспечения национальной безопасности, а также проведение балансовых расчетов и разработка на их основе мер для достижения поставленных целей и их ресурсной обеспеченности».
- «Научно-методологическое обеспечение стратегического планирования осуществляется специализированным научным центром с участием научных организаций и федерального государственного бюджетного учреждения "Российская академия наук"».

Рассматриваемая методология стратегического планирования в качестве целевого критерия использует показатель производительности ее технологического ядра, называемый «продуктивностью». Она включает в себя методы расчета динамики комплекса объемных и стоимостных параметров развития экономики, нацеленные на рост ее продуктивности в рамках существующих технологических ограничений.

1. ИНДИКАТОРЫ И ПЛАНЫ СТАБИЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

Предметом анализа является эффективное использование существующего технологического потенциала экономической системы и определение путей его развития. Один из путей ускорения экономического роста может заключаться в поиске предпочтительной структуры параметров экономической деятельности и путей реализации этой структуры. Как показывают расчеты, такая возможность обоснована [2].

Рассматриваются модели и методы управления, направленные на стабильное самодостаточное развитие технологического ядра экономики. Для этой цели используется замкнутая модель «затраты – выпуск» Леонтьевского типа [3], определяющая зависимость затрат от выпуска.

Кризисные явления и внешние экономические санкции требуют эффективных мер по их парированию, в частности, путем трансформации внутренних механизмов хозяйственной деятельности. *Технологическим ядром* экономической системы будем называть совокупность доступных для наблюдения и измерения видов экономической деятельности, достаточную для адекватного представления состояния этой системы. Расчеты показывают [2], что имеющийся потенциал технологического ядра экономики допускает существенное увеличение его продуктивности по сравнению с настоящим уровнем. Реализация этого потенциала может с избытком компенсировать возможный объем потерь от внешних санкций.

Исследуемая модель технологического ядра позволяет рассмотреть два способа организации воспроизводства, соответствующие управляемому и неуправляемому режимам. Оба способа приводят в пределе к состояниям равновесия, когда структура цен и объемов выпуска стабилизируется, а доли прироста по всем видам продукции и услуг одинаковы. Суть неуправляемого режима заключается в том, что каждая отрасль или вид деятельности распоряжается только средствами, составляющими долю их собственной добавленной стоимости. В случае этого режима реализуется состояние равновесия с наименьшей величиной продуктивности. В случае управляемого режима воспроизводства реализуется состояние равновесия с наибольшим значением продуктивности. Суть этого режима заключается в том, что для каждой отрасли или вида деятельности формируется поэтапный (индикативный [4]) план изменения структуры объемов выпуска и цен. При этом средства на реализацию плана могут перераспределяться между отраслями.

Модель воспроизводства [2, 5] многопродуктовой системы позволяет определить показатель продуктивности экономической системы (индекс воспроизводства выпуска) как функцию структурных пропорций выпусков и цен на производимые продукцию и услуги отраслей. Максимизация этого показателя, отображающего соотношение выпуска и затрат, позволяет рассчитать сбалансированную структуру выпусков и цен, соответствующую равновесному режиму воспроизводства, а также поэтапный план достижения этой цели.

Поскольку различные экземпляры модели экономики имеют разную продуктивность, будем рассматривать задачу выбора модели с наибольшим значением продуктивности. Специфика задачи планирования состоит в том, что максимум (потенциал) продуктивности технологического ядра экономической системы может достигаться разными путями: только изменением структуры выпуска отраслей, только изменением структуры цен, либо совместным изменением структур выпуска и цен.

Однако практический интерес представляет именно случай совместного изменения объемов выпуска и цен на продукцию, поскольку эти параметры связаны рыночными механизмами и изменяются совместно: увеличение объема выпуска ведет к относительному уменьшению цены и наоборот.

2. ОБЪЕМНЫЕ УСЛОВИЯ ВОСПРОИЗВОДСТВА

Предполагается, что заданы Z_{ij} – прямые затраты продукции или услуг отрасли j на выпуск продукции или услуг вида i, V_j – выпуски благ (продукции и услуг) вида j. На основе этих данных вычисляются a_{ij} – коэффициенты удельных затрат:

$$a_{ij} = Z_{ij} / V_j \,. \tag{1}$$

Модель «затраты – выпуск» может быть представлена соотношением

$$V_i(t) = \gamma_i \sum_{j=1}^{n} a_{ij} V_j(t),$$

где γ_i – индекс воспроизводства отрасли i.

Если полагать, что полные затраты благ равны их выпуску в предыдущем периоде, то системный индекс воспроизводства γ определяется минимальным по всем видам благ индексом воспроизводства $\gamma = \min_i \gamma_i$.

Формулировка оптимизационной задачи для структуры выпусков V_i с критерием максимума индекс воспроизводства выпуска γ имеет вид

$$\max_{\gamma, \mathbf{V}} \gamma, \tag{2}$$

с технологическим ограничением на выпуски продукции

$$V_i(t) \geq \gamma \sum_{j=1}^{n} a_{ij} V_j(t)$$

и удельными затратами a_{ij} продукта j на выпуск i. Если матрица $\mathbf{A} = [a_{ij}]$ невырожденная, решение задачи поиска решения для системы выпусков совпадает с собственным вектором матрицы $\mathbf{A}$. Действительно, поскольку число неравенств в ограничении совпадает с размерностью вектора объемов выпуска, решение задачи билинейного программирования достигается на равенстве

$$V_i(t) = \gamma \sum_{j=1}^{n} a_{ij} V_j(t), \tag{3}$$

т. е. совпадает с собственным вектором матрицы $\mathbf{A}$.

Выпуски, удовлетворяющие условию (3) в натуральных показателях, являются *равновесными*.

Ограничение на динамику выпусков может быть представлено в виде

$$\theta V_i(t-1) \geq V_i(t) \geq \mu V_i(t-1),\ i = 1, \ldots, n. \tag{4}$$

Здесь $0 < \mu \leq 1 < \theta$.

Выпуски, удовлетворяющие условиям (3), (4), будем называть *сбалансированными*.

Если значение коэффициента прямых затрат a определить из соотношений

$$\min_{a, \mathbf{V}} a,$$

$$a V_i(t) = \sum_{j=1}^{n} a_{ij} V_j(t),$$

то в равновесном режиме имеем:

$$a = 1/\gamma.$$

Равновесные выпуски, соответствующие собственному вектору $\mathbf{x}$ матрицы $\mathbf{A}$ с максимальным собственным значением, не являются оптимальными для задачи (2)–(4).

3. СТОИМОСТНЫЕ УСЛОВИЯ ВОСПРОИЗВОДСТВА

В задаче (2) предполагается, что технология производства за один цикл не изменяется, т. е. натуральные коэффициенты удельных затрат постоянны. Решение этой задачи не зависит от цен на блага, однако ее реальное применение затруднено тем обстоятельством, что для крупных производственных систем измерения производятся, как правило, в стоимостных показателях.

Если значения коэффициентов удельных затрат определяются на основе стоимостных показателей, а не натуральных, как в формуле (1), т. е.

$$a^c{}_{ij} = Z^c_{ij} / V^c_j = Z_{ij} P_i / (V_j P_j) = a_{ij} P_i / P_j \,,$$

где V^c_j – объем выпуска в стоимостном выражении, P_j – цена продукции отрасли j, то задача балансировки структуры показателей для производственного цикла примет вид

$$\max_{\gamma,\mathbf{V}^c} \gamma, \tag{5}$$

$$V_i^c(t) \geq \gamma \sum_{j=1}^{n} a_{ij}^c V_j^c(t). \tag{6}$$

Выпуски в стоимостном выражении, удовлетворяющие условиям (5), (6) при фиксированных ценах являются *равновесными*. При таких объемах выпуска индексы воспроизводства отраслей одинаковы.

Здесь допускается изменение как натуральных объемов, так и цен. По смыслу задача (5), (6) не эквивалентна задаче (2), (3), поскольку критерий и ограничение на объемы выпуска имеют новое содержание. Кроме того, значения стоимостных показателей удельных затрат первоначально могут быть определены лишь на предыдущем этапе $t - 1$. Но после изменения цен они также изменятся. Поэтому для уточнения этих показателей требуется определить, как могут измениться цены.

Рассмотрим задачу балансировки ценовой структуры для производственного цикла. Объемы благ оцениваются в натуральных единицах. С другой стороны, общая стоимость V^c_i выпускаемого блага i есть сумма стоимостей всех составляющих по технологическому циклу при цене P_j на j-е благо на данном этапе, умноженная на коэффициент прироста стоимости за период цикла (рентабельность) r_i:

$$V_i^c(t) = r_i \sum_j Z_{ji}(t) P_j. \tag{7}$$

Используя это соотношение в стоимостном выражении и соотношение (1), получим:

$$V_i^c(t) = V_i(t) P_i = r_i \sum_{j=1}^{n} a_{ji} V_i(t) P_j \,.$$

Считая, что коэффициент воспроизводства определяется минимальной по перечню благ рентабельностью, получим оптимизационную задачу для структуры цен

$$\max_{r,\mathbf{p}} r\,, \tag{8}$$

$$P_i(t) \geq r \sum_{j=1}^{n} a_{ji} P_j(t). \tag{9}$$

Цены, удовлетворяющие условиям (8), (9) при фиксированных выпусках, являются *равновесными*. При таких ценах значения рентабельности для всех отраслей одинаковы. Дополнительное ограничение имеет вид:

$$\theta P_i(t-1) \geq P_i(t) \geq \mu P_i(t-1),\ i = 1,\ldots,\ n.$$

Левая часть этого ограничения представляет требование ограниченного убывания цен, а также требование на ограничение темпов инфляции до уровня θ по видам благ. Такие цены, также удовлетворяющие условию (9), будем называть *сбалансированными*.

4. СОВМЕСТНАЯ БАЛАНСИРОВКА ВОСПРОИЗВОДСТВА ВЫПУСКА И ЦЕН

Утверждение 1. *Максимальные значения критериев γ и r для задач* (2), (3) *и* (8), (9) *совпадают, а векторы решений* **V** *и* **P** *неоднозначны и определены с точностью до скалярного множителя.*

Доказательство этого утверждения приведено в приложении.

Для расчета собственного вектора и собственного числа положительной шуровской матрицы **A** удобно воспользоваться итерационной процедурой

$$\mathbf{x}^0 = (1, 1,\ldots, 1),$$

$$\mathbf{x}^{k+1} = \mathbf{A}\mathbf{x}^k / \|\mathbf{x}^k\|,\ k = 0, 1, 2, \ldots \tag{10}$$

Собственное число матрицы **A**, вычисляемое как предельное значение $\|\mathbf{x}^k\|$, наибольшее среди всех ее собственных чисел [6]. Процесс (10) имитирует неуправляемый режим воспроизводства для технологического ядра экономики, если интерпретировать $\mathbf{x}^k$ как вектор индексов выпуска или цен для момента k.

Утверждение 2. *Пусть* **A** *– неотрицательная матрица, максимальное по модулю собственное значение которой* a, $|a| < 1$. *Собственный вектор* **x** *этой матрицы удовлетворяет уравнению*

$$\mathbf{A}\mathbf{x} = a\mathbf{x}.$$

Поиск собственного вектора **x** с максимальным собственным значением производится с помощью итеративной процедуры

$$\mathbf{x}^{k+1} = \mathbf{A}\mathbf{x}^k / \|\mathbf{x}^k\|,$$

где k – номер итерации. Останов процедуры осуществляется по условию $\|\mathbf{x}^{k+1} - \mathbf{x}^k\| < \varepsilon$, где ε – заданная точность вычислений (например, ε = 0,001). При этом собственное число a матрицы **A** определяется как

$$a = \lim_{k\to\infty} \|\mathbf{x}^k\|.$$

Доказательство этого утверждения приведено в приложении.

Объемы выпуска и цены, полученные с помощью такого алгоритма, являются равновесными.

Для поиска вектора выпусков, максимизирующего оценку продуктивности π технологического ядра, будем применять процедуру градиентного спуска.

Обозначим: $\mathbf{I}$ – единичный вектор, $\mathbf{E}$ – диагональная единичная матрица, h – величина шага,

$$a(\mathbf{x}) = \|\mathbf{Ax}\| / \|\mathbf{x}\|.$$

Процедура минимизации на прямоугольной области

$$\min_{\mu \le x_i \le \theta,\ i=1,..n} a\ (\mathbf{x})$$

методом градиентного спуска имеет вид

$$\mathbf{x}^{k+1} = \mathbf{x}^k + h(a(\mathbf{x}^k)\mathbf{E} - \mathbf{A}^{\mathrm{T}})\mathbf{I} / \|\mathbf{x}^k\|,$$

где k – номер итерации.

С другой стороны, полученное экстремальное решение может не быть сбалансированным.

Утверждение 3. *Пусть*

$$a(\mathbf{x}) = \|\mathbf{Ax}\| / \|\mathbf{x}\|.$$

Можно подобрать шаг h такой, что процедура минимизации

$$\min_{\mu \le \mathbf{x} \le \theta} a(\mathbf{x}),$$

использующая метод проекции градиента и имеющая вид

$$x_i^{k+1} = \min(\theta, \max(\mu, z_i^k), i = 1, n,$$

где

$$z^k_i = a(\mathbf{y}^k) \sum_j a_{ij} y^k_j,\ i = 1, n,$$

$$\mathbf{y}^k = \mathbf{x}^k + h(a(\mathbf{x}^k)\mathbf{E} - \mathbf{A}^{\mathrm{T}})\mathbf{I} / \|\mathbf{x}^k\|,$$

k – номер итерации, слабо сходится условному экстремуму.

Доказательство этого утверждения приведено в приложении.

Процесс оптимизации структуры выпусков порождает последовательность возрастающих оценок продуктивности технологического ядра, сопровождаемую последовательностью приращений выпусков некоторых отраслей. В то же время, приращение выпусков других отраслей не приводит к возрастанию оценки продуктивности. Скорость сходимости зависит от величины шага h: сначала при увеличении шага скорость увеличивается, а затем снижается.

Полученное решение является сбалансированным, но не равновесным.

Если иметь в виду, что измерение коэффициентов удельных затрат производится на предыдущем этапе цикла, то задачу балансировки ценовых пропорций в неравновесном режиме можно представить в виде

$$\left.\begin{aligned} &\max_{r,\mathbf{P}} r \\ &p_i(t) \ge r \sum_{j=1}^{n} a^c_{ji} p_j(t) \\ &\theta \ge p_i(t) \ge \mu,\ i = 1, ..., n \end{aligned}\right\} \qquad (11)$$

где $p_i(t) = P_i(t) / P_i(t-1)$ – индекс цены на продукт i.

Практическое применение рассматриваемого подхода предполагает этапный подход. Для каждого этапа при этом вводится дополнительное ограничение на степень отклонения от существующей структуры, соответствующее представлениям о допустимой скорости социально-экономических процессов.

Исходная информация задачи структурной балансировки формируется на основе анализа экономической статистики. Трудность заключается в том, что в ряде ситуаций (например, региональное или отраслевое планирование; сценарное прогнозирование) отсутствуют стандартные методики по сбору и обработке данных. В этих случаях предлагается совмещать статистические данные с экспертными оценками структуры затрат на единицу выпуска.

Если решение задачи балансировки (11) использовать для корректировки коэффициентов удельных затрат, то повторное ее решение даст индексы цен в интервале от μ до θ, а коэффициент роста r получит приращение тем меньшее, чем ближе решение к равновесному состоянию. При пересчете коэффициентов удельных затрат отрасли с малыми предельными ценами могут получить соответствующие приращения. Кроме того, обновленные коэффициенты прямых затрат можно использовать в задаче балансировки объемов (2), (3).

5. ИНДИКАТИВНЫЙ ПЛАН-ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ В ОБЪЕМНЫХ ПОКАЗАТЕЛЯХ

Одномоментно реализовать изменение структуры выпусков, сделав их равновесными, как правило, невозможно. Для того, чтобы определить наиболее рациональный план развития отрасли, можно воспользоваться постановкой задачи

$$\max_{\gamma,\mathbf{V}} \gamma,$$

$$V_i(t) \ge \gamma \sum_{j=1}^{n} a_{ij} V_j(t),$$

$$\theta V_i(t-1) \ge V_i(t) \ge \mu V_i(t-1),\ i = 1, ..., n,$$

с технологическим ограничением на выпуски продукции и условием роста выпусков с темпом θ на один такт плана.

Обозначим $\mathbf{D}$ диагональную матрицу с диагональю $V_1, V_2, ..V_n$; $\mathbf{C}$ – диагональную матрицу с диагональю $1/V_1, 1/V_2, ..., 1/V_n$.

При изменении объемов выпусков изменяются оценки удельных затрат a_{ij}. Для того, чтобы зафиксировать результаты V_i предыдущего такта, производится пересчет коэффициентов прямых затрат:

$$\overline{a_{ij}} = a_{ij} \cdot V_i / V_j \text{ или } \bar{\mathbf{A}} = \mathbf{DAC}.$$

Ранее было доказано

Утверждение 4 (утверждение 1 в работе [7]). *Если все $V_i \neq 0$, $i = 1, .., n$, то преобразованная матрица с коэффициентами $\overline{a_{ij}} = a_{ij} \cdot V_i / V_j$ имеет то же собственное значение, что и матрица* $\mathbf{A}$, *а собственный вектор равен исходному с точностью до деформации* $\mathbf{D}$.

Последнее преобразование не изменяет спектра матрицы прямых затрат (технологической матрицы) $\mathbf{A}$, а ее собственные векторы сохраняются с точностью до деформации $\mathbf{D}$. Повторяя процедуры поиска оптимального решения и пересчета матрицы прямых затрат от такта к такту, получим индикативный многотактовый план-прогноз совместного развития отраслей технологического комплекса экономики.

Процедура расчета индикативного плана использует величины абсолютных и относительных выпусков. На первом шаге вектор абсолютных выпусков $\mathbf{V}^0$ используется для перехода к относительным выпускам $\mathbf{v}^1$ путем преобразования технологической матрицы

$$\mathbf{A}^0 = \mathbf{D}^0\mathbf{A}\mathbf{C}^0, \text{ где } \mathbf{D}^0 = \mathrm{diag}(\mathbf{V}^0),\ \mathbf{C}^0 = (\mathbf{D}^0)^{-1}.$$

Далее решаются задачи поиска вектора относительных объемов выпуска $\mathbf{v}^k$

$$\mathbf{A}^k = \mathbf{D}^{k-1}\mathbf{A}^{k-1}\mathbf{C}^{k-1},$$

где $\mathbf{D}^i = \mathrm{diag}(\mathbf{v}^i)$, $\mathbf{C}^i = (\mathbf{D}^i)^{-1}$,

$$\left.\begin{aligned} &\max_{\mathbf{v}^i} \gamma, \\ &\mathbf{v}^k \geq \gamma^k \mathbf{A}^k \mathbf{v}^k, \\ &\mu\mathbf{I} \leq \mathbf{v}^k \leq \theta\mathbf{I},\ k = 1, 2... \end{aligned}\right\} \tag{12}$$

Вектор относительных выпусков $\mathbf{v}^k$, полученный в результате решения задачи (12) на этапе k, будем называть локально равновесным с технологическим ограничением на выпуски продукции и условием роста относительных выпусков с темпом θ, $\theta > 1$ на один такт плана, где $\mathbf{I}$ – единичный вектор. Тогда, если существует решение задач при $k \geq 1$, на такте k могут быть получены объемы индикативных выпусков в абсолютных единицах:

$$\mathbf{V}^k = \prod_{j=k}^{1} \mathrm{diag}(\mathbf{v}^j)\,\mathbf{V}^0.$$

Ранее было доказано

Утверждение 5 (утверждение 3 в работе [7]). *Последовательность $\mathbf{V}^k$ за конечное число тактов стремится к собственному вектору технологической матрицы* $\mathbf{A}$, *а оценка γ^k стремится к собственному числу этой матрицы.*

Замечание. При преобразовании технологической матрицы $\mathbf{A}$ с помощью деформации $\mathbf{D} = \mathrm{diag}(\mathbf{v}^*)$ решение задачи дальнейшего планирования после достижения вектора выпуска $\mathbf{v}^*$ становится тривиальным: $\mathbf{v} = c\mathbf{I}$, где $\theta \geq c \geq \mu$. То есть при достижении технологического равновесия дальнейшего изменения структуры выпусков не происходит.

6. КОМБИНИРОВАННЫЙ ПЛАН-ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ В ОБЪЕМНЫХ И ЦЕНОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЯХ

Изолированное индикативное изменение цен и объемов выпуска имеет малую практическую значимость, поскольку в реальности эти параметры изменяются одновременно. Равновесные объемы выпуска при фиксированных неравновесных ценах неустойчивы, как и равновесные цены при фиксированных объемах выпуска. Согласованная равновесная пара цен и объемов выпуска обладает устойчивостью, поскольку значения рентабельности r и индексов воспроизводства γ в этом случае одинаковы для всех отраслей, что в перспективе приводит к равномерному развитию экономической системы. Однако на начальных этапах ликвидации диспропорций отраслевые показатели изменяются весьма неравномерно.

Рассмотрим процесс расчета индикативной динамики объемных и ценовых показателей, приводящих к совместному равновесию выпусков и цен.

Процедуры преобразования матриц $\mathbf{A}$ и $\mathbf{A}^{\mathrm{T}}$ вида

$$\mathbf{A}^k = \mathbf{D}^{k-1}\mathbf{A}^{k-1}\mathbf{C}^{k-1}$$

и решения задач (10), (11) выполняются последовательно при заданной верхней границе $\theta > 1$ для рентабельности r и индекса воспроизводства γ. Здесь

$$\mathbf{D}^i = \mathrm{diag}(\mathbf{v}^i),\ \mathbf{C}^i = (\mathbf{D}^i)^{-1}$$

в задаче для объемов выпуска и

$$\mathbf{D}^i = \mathrm{diag}(\mathbf{p}^i)\ ,\ \mathbf{C}^i = (\mathbf{D}^i)^{-1}$$

в задаче для цен.

Расчет *дефлятора промежуточных затрат* для вектора индексов цен $\mathbf{p}$ на этапе k производится по формуле

$$d = \sum_{i,j} a_{ij}^k p_i^k \Big/ \sum_{i,j} a_{ij}^k .$$

Расчет *индекса промежуточных затрат* для вектора индексов выпуска $\mathbf{v}$ на этапе k производится по формуле

$$w = \sum_{i,j} a_{ij}^k v_j^k \Big/ \sum_{i,j} a_{ij}^k .$$

Продуктивность экономической системы π, определяемая как отношение добавленной стоимости к промежуточным затратам, связана с коэффициентом воспроизводства выпуска γ простым соотношением [7]

$$\pi = \gamma - 1.$$

Аналогичное соотношение имеет место для коэффициента рентабельности r:

$$\pi = r - 1.$$

В равновесном режиме в силу утверждения 1 оба значения совпадают.

7. РАСЧЕТ ПЛАНА ДЛЯ ПРОПОРЦИЙ ВЫПУСКА

При расчетах величины V_i интерпретируются как пропорции объемов выполняемых транспортных услуг, а ограничения на них в предположении неубывания имеют вид:

$$V_i(t) \geq 1,\ i = 1,\ldots,n.$$

Поскольку равновесные пропорции выпуска могут значительно отличаться от существующих, будем решать серию задач оптимизации при значении θ, близком к единице ($\theta = 1{,}2$). То есть в ограничении допускается не более, чем 20 %-е изменение пропорций в сторону роста. Для данных по многоотраслевой экономике РФ (Таблицы ресурсов и использования товаров и услуг Российской Федерации за 2019 год [8]) были получены кривые индикативной динамики 61 индекса выпуска при фиксированных ценах, приводящие через определенное число шагов к сбалансированной структуре цен. Для демонстрации приведены лишь несколько таких кривых (первая по порядку следования десятка кривых, отличных от константы, рис. 1).

Индикативная динамика показателя продуктивности представлена ниже. На рис. 2 показан

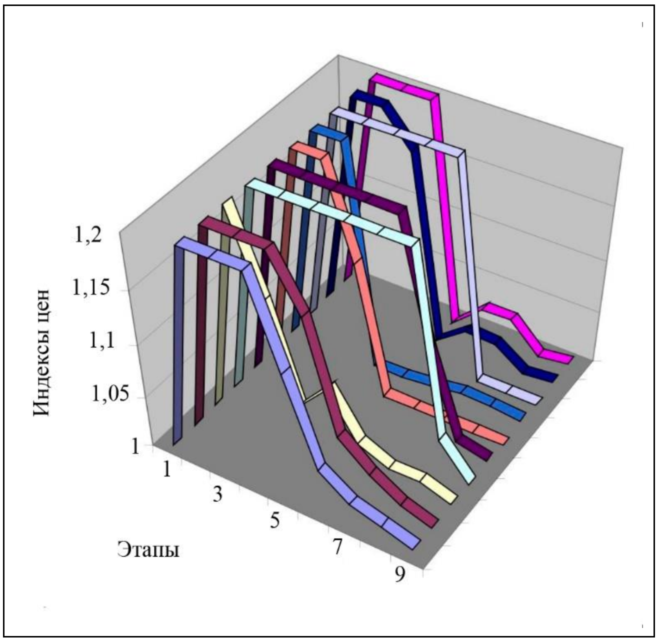

Рис. 1. Индикативная динамика индексов выпуска с верхней границей изменения 1, 2 для отраслей:
- продукция лесоводства, лесозаготовок и связанные с этим услуги;
- текстиль и изделия текстильные, одежда, кожа и изделия из кожи;
- бумага и изделия из бумаги;
- услуги печатные и услуги по копированию звуко- и видеозаписей, а также программных средств;
- средства лекарственные и материалы, применяемые в медицинских целях;
- изделия резиновые и пластмассовые;
- продукты минеральные неметаллические прочие;
- оборудование электрическое;
- машины и оборудование, не включенные в другие группировки;
- услуги по ремонту и монтажу машин и оборудования

Рис. 2. Изменение коэффициента продуктивности при многократной балансировке выпуска

график изменения коэффициента продуктивности при многократном повторении решения задачи (7) для данных по российской экономике, где верхний предел изменения индексов цен составлял 1,2, а продуктивность измерялась в процентах.

График дает представление о том, как далеко исходное состояние экономики (решение на шаге 1) от равновесного состояния (асимптота для многократно повторенного решения). Кроме того, по наклону кривой можно судить об устойчивости экономики. Чем ближе экономическая структура к равновесному состоянию, тем выше ее толерантность к изменениям цен. Как видно из рис. 1 и 2, чем ближе структура цен к сбалансированной, тем меньше за один этап изменяются цены и показатель продуктивности.

Отметим, что качественным отличием полученной динамики индексов выпуска по сравнению с результатами расчетов [7] по данным 2016 г. является то, что во втором случае индексы стабилизировались на верхнем ограничении 1,2, а в первом случае – на уровне единицы. Это объясняется тем, что равновесное состояние не является единственным и вызвано изменением алгоритма оптимизации. Во втором случае использовалось условие выбора минимального значения индекса. Ввиду неединственности оптимального решения оба алгоритма дают одинаковое значение экстремума целевой функции, но второй алгоритм приводит к значениям индексов, которые более предпочтительны с точки зрения реализации планов. Кроме того, динамика показателей продуктивности в первом случае выходит на планку при более низком уровне (112 % против 153 %). Объяснить это можно тем, что размерность задачи (число видов деятельности) во втором случае была 95 против 61, что уменьшает пространство выбора при расчете планов.

8. СОВМЕСТНАЯ СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЯДРА

Для получения индикативного плана, учитывающего совместное изменение объемов выпуска и цен, решается серия задач оптимизации при ограничении допускаемого изменения индексов в заданных границах. Если длительность этапа принята за год, выбор пределов изменения индексов выпуска определяется возможностью инвестирования в фондообразование за текущий год плана. Границы изменения индексов цен определяются исходя из требований допустимой инфляции или дефляции. Выбор единицы в качестве нижней границы индексов означает, что для отраслей в плане предусмотрено неуменьшение выпуска и цен.

Рассмотрим пример совместного планирования объемов выпуска и цен. Ниже показаны результаты расчетов для части продуктов ОКПД, ограниченной числом 10, и тех, значения индексов которых отличны от единицы.

Для данных по многоотраслевой экономике РФ [8] были получены кривые индикативной динамики 60 индексов выпуска и 60 индексов цен, приводящие через определенное число шагов к сбалансированной структуре, что соответствует магистральному принципу для оптимизационных моделей экономики [9]. Для получения численного результата применялся метод, изложенный выше. Стандартный программный пакет решения задач математического программирования [10–13] дает аналогичные результаты. План рассчитывается при ограничениях на изменение в интервале [1; 1,2] индексов выпуска (рис. 3) и цен (рис. 4). Для демонстрации приведены лишь несколько таких кривых (для каждой группы индексов первая по порядку следования десятка кривых, отличных от константы).

Из приведенных рисунков видно, что цены росли в тех отраслях, где план выпуска не увеличивался. То есть, принимая во внимание допустимую инфляцию, принцип рыночного механизма цен соблюдался.

На рис. 5 показан график изменения показателя коэффициента продуктивности при решении задачи поэтапного планирования для данных по российской экономике; продуктивность измерялась в процентах.

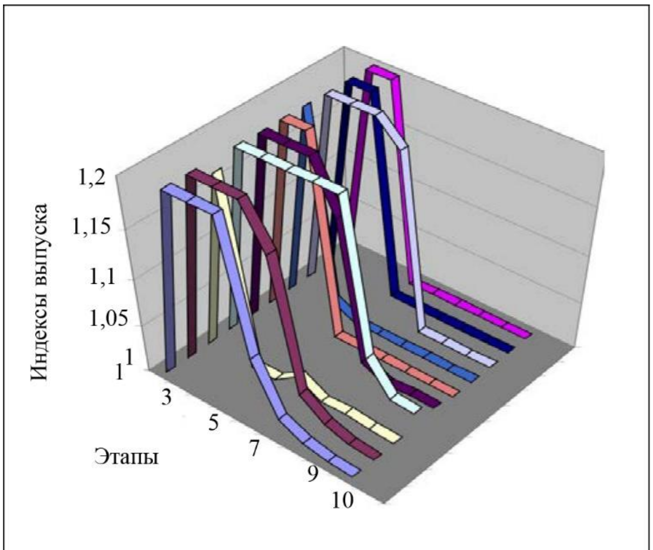

Рис. 3. Динамика индексов выпуска с диапазоном изменения [1; 1, 2] для отраслей:
- продукция лесоводства, лесозаготовок и связанные с этим услуги;
- текстиль и изделия текстильные, одежда, кожа и изделия из кожи;
- бумага и изделия из бумаги;
- услуги печатные и услуги по копированию звуко- и видеозаписей, а также программных средств;
- средства лекарственные и материалы, применяемые в медицинских целях;
- изделия резиновые и пластмассовые;
- продукты минеральные неметаллические прочие;
- оборудование электрическое;
- машины и оборудование, не включенные в другие группировки;
- услуги по ремонту и монтажу машин и оборудования

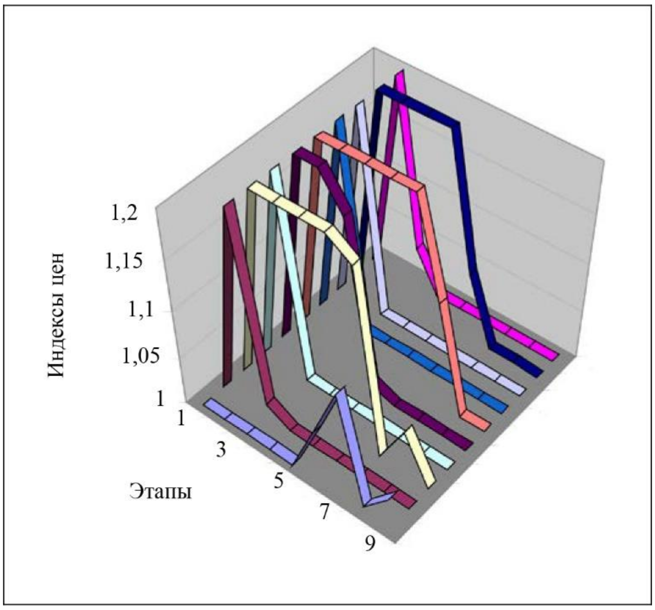

Рис. 4. Динамика индексов цен с диапазоном изменения [1; 1, 2] для отраслей:
- продукция лесоводства, лесозаготовок и связанные с этим услуги;
- текстиль и изделия текстильные, одежда, кожа и изделия из кожи;
- бумага и изделия из бумаги;
- услуги печатные и услуги по копированию звуко- и видеозаписей, а также программных средств;
- средства лекарственные и материалы, применяемые в медицинских целях;
- изделия резиновые и пластмассовые;
- продукты минеральные неметаллические прочие;
- оборудование электрическое;
- машины и оборудование, не включенные в другие группировки;
- услуги по ремонту и монтажу машин и оборудования

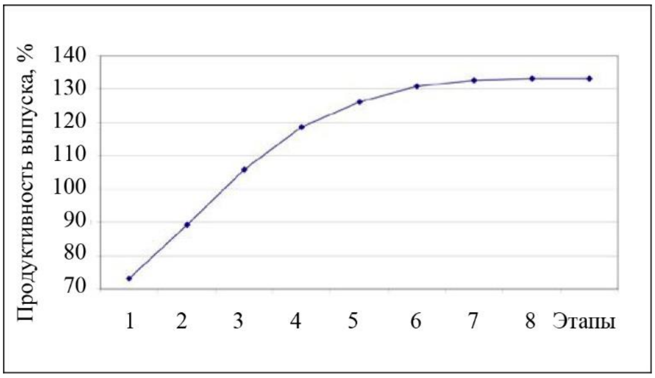

Рис. 5. Изменение показателя продуктивности при многоэтапной балансировке индексов выпуска и цен

График дает представление о том, как далеко исходное состояние экономики (решение на начальном шаге составляло 90 %) от равновесного состояния (асимптота для многократно повторенного решения близко к 190 %). Кроме того, по наклону кривой можно судить об устойчивости экономики.

Как видно из рис. 5, чем ближе структура цен к равновесной структуре, тем выше толерантность (устойчивость) экономики к изменениям цен. Из рис. 5 также следует, что наиболее эффективными являются несколько первых этапов индикативного плана. Кроме того, при сравнении с динамикой продуктивности для изолированного изменения объемов выпуска (см. рис. 2), видно, что предельный уровень продуктивности в случае совместного изменения цен и объемов выпуска выше. Это можно объяснить тем, что предельный уровень продуктивности при вариации только объемов выпуска соответствует экстремуму на допустимом множестве пространства параметров меньшей размерности, а при дополнительной вариации цен удается перейти к большему значению экстремума.

Изменение цен приводит к инфляции. Динамика дефлятора по всему перечню продукции и услуг приведена на рис. 6.

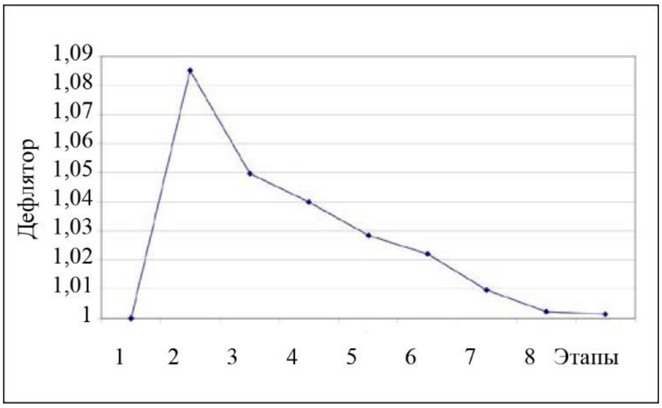

Рис. 6. Изменение дефлятора при многоэтапной балансировке индексов выпуска и цен

Для уменьшения пика дефлятора ограничение на рост цен на начальных этапах можно сделать более жестким. При этом рост продуктивности на этих этапах уменьшится.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены методы анализа механизмов управления развивающимися системами в кризисных ситуациях. На основе модели функционирования экономической системы в режиме автономности разработаны методы оценки показателей продуктивности в натуральном и стоимостном выражении. Рассмотрена процедура расчета индикативной динамики ценовых и объемных пропорций выпуска для автономного режима. Приведен пример результатов расчета для структуры межотраслевого баланса Российской Федерации.

Несмотря на имеющийся высокий потенциал развития, экономика РФ сталкивается с кризисными явлениями. Действие этих факторов обусловливает неполную реализацию потенциала технологического ядра экономики [5]. Приведенные результаты демонстрируют возможности повышения эффективности экономики, основанные на планомерной модификации структуры ее технологического ядра. Исходя из данных Росстата, возможный рост продуктивности экономики может быть превышен более чем в два раза. Практическая реализация такой возможности должна быть связана с разработкой стратегических планов развития экономики. Наряду с выбором приоритетных направлений развития технологического ядра она требует применения адекватных методов прогнозирования многоотраслевой динамики, учитывающих все основные аспекты хозяйственной деятельности: фондообразование, накопление, конечное потребление государства и домашних хозяйств, экспортно-импортные потоки [14, 15]. Планирование на новом уровне также предполагает использование соответствующих организационных и институциональных механизмов [16].

В отличие от директивного плана, индикативный план является рекомендательным. Если какие-либо отрасли отклоняются от плановых предписаний, план пересчитывается с учетом измененных обстоятельств. Новый план и оценки недополученной выгоды сообщаются участникам хозяйственной деятельности. В рамках фиксированных технологических переделов этап управляемой (в соответствии с индикативным планом) реструктуризации занимает ограниченное время. Добавочные средства на фондообразование и оплату труда могут быть получены либо за счет средств в пределах собственной добавленной стоимости отраслей, либо путем перераспределения средств отраслей. В последнем случае длительность периода реструктуризации может быть короче. После окончания реструктуризации стратегический план считается выполненным. Однако появление новых технологий, появление уточненных данных, корректировка ограничений на изменение структуры выпуска и цен могут потребовать разработки нового стратегического плана, что делает актуальным регулярную корректировку индикативного плана.

На стратегическом уровне принятия решений, относящемся к государственному и межгосударственному уровням, необходимо использовать адекватные оценки социально-экономического состояния национальной и мировой систем, а также последствий управляющих воздействий. Предметом оценивания являются:

– разбалансированность национального хозяйства,
– текущее и потенциальное состояние межотраслевого взаимодействия,
– принятие стратегических решений в состоянии нестабильности,
– планирование структурных инноваций.

Изложенные результаты иллюстрируют специфику предложенной методологии, предполагающей применение релевантного инструментария расчетов и анализа. Класс задач, рассмотренных выше, имеет ряд специфических особенностей. Реальный интерес в макроэкономических разработках рассматриваемого рода представляют модели большой размерности (перечень анализируемых видов экономической деятельности может исчисляться сотнями). Кроме того, для практического применения моделей технологического ядра требуется задействовать эффективные алгоритмы решения задач математического программирования рассматриваемого типа [10, 12, 17] и лингвистические средства управления расчетами, а также интегрировать их в рабочую среду [11, 13]. Необходимо располагать свободным доступом к актуальным верифицированным данным и современным информационным технологиям, включая соответствующую вычислительную среду и устройства интерфейса. Пример применения аналогичного инструментария открытого доступа (Thread Pool Executor of Akka) для обработки задач большой размерности приведен в статье [18].

ПРИЛОЖЕНИЕ

Д о к а з а т е л ь с т в о утверждения 1.

Действительно, максимальные значения критериев γ и r являются собственными значениями матриц $\mathbf{A}$ и $\mathbf{A}^{\mathrm{T}}$. Пусть $\mathbf{V}$ и $\mathbf{P}$ – решения задач (2) и (8) с ограничениями (3) и (9) соответственно. Поскольку эти ограничения однородны, рассматриваемые решения определены с точностью до множителя и, следовательно, неоднозначны.

Характеристические полиномы для обеих матриц совпадают, поскольку имеют одинаковый вид

$$L(\gamma) = (1-\gamma a_{11})(1-\gamma a_{22})...(1-\gamma a_{nn}) - \\ -a_{12}a_{21}(1-\gamma a_{33})... - a_{13}a_{31}(1-\gamma a_{22}) - ...,$$

$$L(r) = (1-r a_{11})(1-r a_{22})...(1-r a_{nn}) - \\ -a_{12}a_{21}(1-r a_{33})... - a_{13}a_{31}(1-r a_{22}) - ...,$$

где γ – собственное значение матрицы $\mathbf{A}$, r – собственное значение матрицы $\mathbf{A}^{\mathrm{T}}$. ♦

Д о к а з а т е л ь с т в о утверждения 2.

Действительно, рассмотрим преобразование $\mathbf{y} = \mathbf{A}\mathbf{x}/\|\mathbf{x}\|$. Разложим вектор $\mathbf{x}$ по собственным векторам $\mathbf{s}^i, i = 1,.., n$ матрицы $\mathbf{A}$, соответствующим собственным значениям λ_i:

$$\mathbf{x} = \sum_{i=1}^{n} b_i \mathbf{s}^i.$$

Тогда

$$\mathbf{Ax} = \sum_{i=1}^{n} b_i \mathbf{As}^i = \sum_{i=1}^{n} b_i \lambda_i \mathbf{s}^i$$

и

$$\mathbf{Ax} / \|\mathbf{x}\| = \frac{\sum_{i=1}^{n} b_i \lambda_i \mathbf{s}^i}{\left\| \sum_{i=1}^{n} b_i \mathbf{s}^i \right\|}.$$

Поскольку для спектра матрицы предполагается $|\lambda_i| < 1,\ i = 1,..., n$, то полученное преобразование – сжимающее, $\mathbf{s}^1$ – неподвижная точка этого преобразования, обладающая свойством притяжения.

Если начальное приближение имеет неотрицательные компоненты, то все последующие итерации дают такой же результат, как и полученный собственный вектор. Собственные векторы $\mathbf{s}^i$, соответствующие другим собственным значениям $\lambda_i,\ i \neq 1$ содержат отрицательные компоненты, поскольку они ортогональны $\mathbf{s}^1$. Поэтому, так как матрица **A** неотрицательная,

$$|\lambda_1| = \|\mathbf{As}^1\| / \|\mathbf{s}^1\| > \|\mathbf{As}^i\| / \|\mathbf{s}^i\| = |\lambda_i|,\ i \neq 1.$$

Таким образом, если отклоняться от равновесного вектора $\mathbf{s}^1$, величина оценки $\|\mathbf{Ax}\| / \|\mathbf{x}\|$ для $\mathbf{x} \neq \mathbf{s}^1$ будет уменьшена, а вследствие сжимаемости оператора, на следующих итерациях увеличится. Поэтому итеративный процесс сходится к вектору $\mathbf{s}^1$ и значению λ_1. ♦

Доказательство утверждения 3.

Действительно, градиент $a(\mathbf{x})$ имеет вид

$$\nabla_x a(\mathbf{x}^k) = -(a(\mathbf{x}^k)\mathrm{I} - \mathbf{A}^{\mathrm{T}}\mathbf{I}) / \|\mathbf{x}^k\|,$$

$\mathbf{z}^k$ является проекцией точки $\mathbf{y}^k$ на технологическое ограничение

$$\mathbf{y}^k = a\mathbf{Ay}^k,$$

$\mathbf{x}^{k+1}$ является проекцией точки $\mathbf{z}^k$ на ограничение

$$\mu \leq x_i \leq \theta,\ i = 1,..., n.$$

Поскольку $\nabla_x a(\mathbf{x}^k) \neq 0$, операторы проектирования монотонные, найдется шаг $h > 0$ такой, что последовательность $a(\mathbf{x}^k)$ является монотонно убывающей, а поскольку допустимая область является компактом, предельная точка $a(\mathbf{x}^*)$ ограничена и является условным экстремумом. ♦

ЛИТЕРАТУРА

1. *Узяков М.Н.* Проблемы экономических измерений и возможности структурного анализа // Проблемы прогнозирования. – 2020. – № 1 (178). – С. 3-4. [*Uzyakov, M.N.* Problems of Economic Measurements and Possibilities of Structural Analysis // Studies on Russian Economic Development. – 2020. – Vol. 31, no 1. – P. 3–4. (In Russian)]
2. *Гусев В.Б.* Равновесные модели многоресурсных саморазвивающихся систем // Проблемы управления. – 2007. – № 3. – С. 18–25. [*Gusev, V.B.* Equilibrium Models of Multi-Resource Self-Developing Systems // Control Sciences. – 2007. – No. 3. – P. 18–24. (In Russian)]
3. Леонтьев В.В. Экономические эссе. Теории, исследования, факты и политика. – М.: Политиздат, 1990. [Leontief, W.W. Essays in Economics. Theories, Theorizing, Facts, and Policies. – New York: Oxford University Press, 1966.]
4. Индикативное планирование и проведение региональной политики / М.Н. Абдикеев и др. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 368 с. [Indikativnoe planirovanie i provedenie regional'noi politiki / M.N. Abdikeev i dr. – M.: Finansy i statistika, 2007. – 368 s. (In Russian)]
5. *Гусев В.Б.* Модели автономного управления в развивающихся системах // Проблемы управления. – 2018. – № 6. – С. 2–17. [*Gusev, V.B.* Models of Autonomous Control in the Developing Systems // Control Sciences. – 2018. – No. 6. – P. 2–17. (In Russian)]
6. *Поляк Б.Т., Хлебников М.В., Рапопорт Л.Б.* Математическая теория автоматического управления. – М.: Издательство URSS, 2019. – 500 с. [*Polyak, B.T., Khlebnikov, M.V., Rapoport, L.B.* Matematicheskaya teoriya avtomaticheskogo upravleniya. – M.: Izdatel'stvo URSS, 2019. – 500 c. (In Russian)]
7. *Гусев В.Б.* Экстремальные характеристики модели технологического ядра крупномасштабной экономической системы // Проблемы управления. – 2021. – № 6. – С. 30–39. [*Gusev, V.B.* The Technological Core Model of a Large-Scale Economic System: Optimal Characteristics // Control Sciences. – 2021. – No. 6. – P. 25–33.]
8. *Таблицы* ресурсов и использования товаров и услуг Российской Федерации за 2019 год (в текущих ценах, млн. руб.) Опубликовано Росстатом 26 января 2022 года. https://rosstat.gov.ru/statistics/accounts [*Tablicy* resursov i ispol'zovaniya tovarov i uslug Rossijskoj Federacii za 2019 god (v tekushchih cenah, mln. rub.) Opublikovano Rosstatom 26 yanvarya 2022 goda. (In Russian)]
9. *Dorfman, R., Samuelson, P.A., Solow, R.M.* Linear Programming and Economic Analysis. – New York: McGraw-Hill, 1958.
10. *Fox, W.P., Burks, R.* Mathematical Programming: Linear, Integer, and Nonlinear Optimization in Military Decision-Making. In: Applications of Operations Research and Management Science for Military Decision Making. – New York: Springer, 2019. – P. 137–191.
11. *Mason, A.J.* OpenSolver – An Open Source Add-in to Solve Linear and Integer Progammes in Excel. – Operations Research Proceedings 2011, eds. Klatte, D., Lüthi, H.-J., Schmedders, K. – Berlin, Heidelberg: Springer. – 2012. – P. 401–406. – http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-29210-1_64.
12. *Bergstra, J., Bardenet, R., Bengio, Y., Kégl, B.* Algorithms for Hyper-parameter Pptimization // Proceedings of the 24th International Conference on Neural Information Processing Systems, ser. NIPS’11. – Red Hook, NY, USA: Curran Associates Inc., 2011. – P. 2546–2554.
13. *Doumic, M., Perthame, B., Ribes, E.,* et al. Toward an Integrated Workforce Planning Framework Using Structured Equations

// European Journal of Operational Research. – 2017. – Vol. 262, iss. 1. – P. 217–230.
14. *Самуэльсон, П.* Экономика. Т. 1. – М.: МГП «АЛГОН» ВНИИСИ, 1992. – 333 с. [*Samuelson, P.A.* Economics. – New York: McGraw-Hill, 1989.]
15. *Петров А.А., Поспелов И.Г., Шананин А.А.* Опыт математического моделирования экономики. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 544 с. [*Petrov, A.A., Pospelov, I.G., Shananin, A.A.* Opyt matematicheskogo modelirovaniya ekonomiki. – M.: Energoatomizdat, 1996. – 544 s. (In Russian)]
16. *Антипов В.И.* ГОСПЛАН. Вчера, сегодня, завтра. – М.: Концептуал, 2019. – 208 с. [*Antipov, V.I.* GOSPLAN. Vchera, segodnya, zavtra. – M.: Kontseptual, 2019. – 208 s. (In Russian)]
17. *Поляк Б.Т.* Введение в оптимизацию. – М.: Наука Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 384 с. [*Polyak, B.T.* Vvedenie v optimizatsiyu. – M.: Nauka Glavnvya redaktsiya fiziko-matematicheskoi literatury, 1983. – 384 s. (In Russian)]
18. *Hai, T.N., Tien, V.D., Csaba, R.* Optimizing the Resource Usage of Actor-Based Systems // Journal of Network and Computer Applications. – 2021. – Vol. 190:103143. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103143.

Статья представлена к публикации членом редкоколлегии В.В. Клочковым.

Поступила в редакцию 13.08.22,
после доработки 6.11.22.
Принята к публикации 23.11.22.

Владислав Борисович Гусев – канд. физ.-мат. наук, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва,
✉ gusvbr@ipu.ru.

A STRATEGIC MANAGEMENT MODEL FOR RESTRUCTURING THE TECHNOLOGICAL CORE OF AN ECONOMY

V. B. Gusev

Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

✉ gusvbr@ipu.ru

Abstract. This paper considers the multi-sector model of the technological core of an economy, mathematical methods for its analysis, and procedures for calculating an indicative plan to restructure the core. The productivity of this core is proposed as a formalized criterion (indicator) for the effectiveness of structural innovations. The following optimization problem is stated: find a balanced state maximizing productivity by planned changes in the output and price indices. An equivalent transformation method is developed for the model considering the achieved values of the indicators. Several propositions concerning the properties of equilibrium and balanced states are proved. As a result, a multistage procedure is constructed to calculate the trajectory bringing the economic system closer to a balanced state. The multi-sector model is analyzed to compare the uncontrolled and controlled modes of development. The uncontrolled mode simulates the state of a market economy: no centralized management of the economy, sustainability, and relatively low GDP growth rates. The controlled mode involves the strategic planning methodology. As shown below, due to indicative strategic planning, the productivity of Russia's economy can significantly increase even at the first plan implementation stages. The proposed indicative planning methodology is mathematically justified. Numerical examples of its implementation on real statistical data are given. According to the paper's results, centralized planning institutions should be established for developing the technological infrastructure of Russia's economy. Such institutions are of current importance due to the international economic and political situation.

Keywords: the technological core of an economy, controlled development mode, productivity optimum, equilibrium state, balanced state, equivalent transformation, indicative strategic planning, plan of restructuring.