

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРУКТУРНЫХ ИННОВАЦИЙ КРУПНОМАСШТАБНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Гусев В.Б.

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, д.65
gusvbr@mail.ru*

Аннотация: Разработана модель технологического ядра экономической системы, а также математические методы ее анализа, предложен формализованный критерий эффективности структурных инноваций технологического ядра экономики. Разработанная модель использует межотраслевой баланс национальных счетов экономики. Анализ модели заключается в расчете предпочтительной структуры выпусков и расчета планов поэтапного его развития.

Ключевые слова: структурные инновации, технологическое ядро, планы поэтапного развития

Введение

Процесс развития экономической системы в долгосрочном историческом плане всегда связан с качественными изменениями в составе и организации ее базовой компоненты – технологического ядра, включающего совокупность всех значимых видов хозяйственной деятельности и переделов. Хотя экономика в рамках традиционного уклада обладает свойством устойчивости, процесс развития носит нестационарный характер. Необходимым условием развития являются инновации. Так, по Йозеву Шумпетеру [1], полезное нововведение или технология, получая популярность, на начальном этапе освоения выводит систему из состояния равновесия, позволяя получать наибольшую прибыль, пока не распространится на всю систему, когда наступит новое равновесное состояние, при котором прибыль становится минимальной. Это влечет возникновение новой инновации, и так далее.

Инновации могут иметь разную природу – от внедрения новых технологий, основанных на неизвестных ранее явлениях и принципах до структурных изменений технологического ядра в рамках имеющихся, традиционных технологий. Последний тип инноваций возможен в случае, когда сложившиеся пропорции сфер хозяйственной деятельности не обеспечивают достаточно высоких макроэкономических показателей, например, таких, как у сопоставимых по условиям существования, но более успешных стран. В этом смысле можно говорить о диспропорциях технологического ядра. Помимо сравнительного анализа эти диспропорции можно определить с помощью анализа математической модели технологического ядра экономики, определения его оптимальной структуры.

Внедрению структурной инновации противодействует устойчивость сложившейся структуры технологического ядра. Эта устойчивость объясняется рутинным характером хозяйственной деятельности, отсутствием или неэффективностью крупномасштабных инвестиционных проектов. Преодоление устойчивого характера сложившихся диспропорций, переход к более перспективной структуре требует определенных структурных инноваций, обеспеченных проектными инвестиционными мероприятиями. В результате их реализации система переходит в новое устойчивое состояние с более предпочтительными макро характеристиками.

Рассматриваемый метод анализа использует модель технологического ядра многоотраслевой экономической системы. Под технологическим ядром здесь понимается совокупность видов продукции и услуг, видов экономической деятельности, затрат, соответствующих этим видам и прочих затрат, используемых Госкомстатом РФ при формировании межотраслевого баланса в системе национального счетоводства [2]. Для определения параметров структурных инноваций технологического ядра экономики требуется формализовать критерий эффективности этих инноваций, разработать модель технологического ядра, а также математические методы ее анализа. Разработанная модель соответствует системе национальных счетов, а ее основу составляет межотраслевой баланс. Анализ модели заключается в расчете предпочтительной структуры технологического ядра и определении параметров устойчивости его состояний.

1 Материалы и методы

1.1 Индикаторы эффективности структурных инноваций

Эффективность структурных инноваций можно оценивать относительным приростом добавленной стоимости в результате этих инноваций на единицу прямых затрат. Это позволяет в качестве критерия эффективности технологического ядра экономики применять его продуктивность – долю добавленной стоимости на единицу прямых затрат. Используя замкнутую модель затраты-выпуск

Леонтьевского типа [3], продуктивность технологического ядра экономической системы определим по аналогии с коэффициентом полезного действия в технике, как $\pi = Y/Z$, где Z – промежуточные затраты, Y – добавленная стоимость (ВВП), V – валовой выпуск. Обозначим материалоемкость $a = Z/V$, валовой выпуск $V = Y + Z$. Тогда $\pi = (V-Z)/Z = 1/a - 1$.

Поскольку различные состояния модели экономики имеют разную продуктивность, можно рассматривать задачу выбора модели с наибольшим значением продуктивности.

Потенциал продуктивности технологического ядра экономической системы определяется для модели экономики как $\pi^* = \max_{V,Z} \pi$.

С помощью модели воспроизводства [4] многопродуктовой системы определяется мультипликатор выпусков (показатель продуктивности экономической системы) как функция структурных пропорций выпусков и цен на производимые продукцию и услуги отраслей. Максимизация этого показателя, отображающего соотношение выпуска и затрат, определяет сбалансированную структуру выпусков и цен, соответствующую режиму воспроизводства, когда доли прироста по всем видам продукции и услуг одинаковы.

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

которые образуют технологическую матрицу A .

Модель затраты-выпуски может быть представлена следующим соотношением

$$Z_i(t) = \sum_{j=1}^n Z_{ij} = \sum_{j=1}^n a_{ij} V_j(t), \text{ или } Z = AV,$$

откуда стационарный процесс воспроизводства может быть представлен соотношением

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

где γ – мультипликатор выпусков отрасли i , который обозначает превышение выпуска отрасли над затратами. Обозначим γ – минимальный по отраслям мультипликатор,

$$\gamma = \min_i \gamma_i.$$

Формулировка оптимизационной задачи для вектора структуры выпусков V с критерием максимума минимального мультипликатора выпусков γ имеет вид: $\max_{V_i} \gamma$,

с технологическим ограничением на выпуски продукции: $V \geq \gamma AV$

Эта задача позволяет определить равновесную систему выпусков.

В постановке задачи, когда факторы: конечное потребление, экспорт и накопление формально входят в состав видов деятельности, стационарный режим допускает изменение долей выпуска на эти направления. В противном случае $\gamma_i - 1$ представляют собой доли выпуска отраслей, используемые на конечное потребление, экспорт и накопление. Для того, чтобы эти доли сохранялись равными исходным значениям $\bar{\gamma}_i - 1$, где

$$\bar{\gamma}_i = V_i(t_0) / \sum_{j=1}^n a_{ij} V_j(t_0) / \max_j \gamma_j,$$

оптимизационная задача для структуры выпусков V_i примет вид $\max_{V_i} \gamma$,

$$V_i(t) \geq \gamma \cdot \bar{\gamma}_i \sum_{j=1}^n a_{ij} V_j(t), \text{ или } V \geq \gamma \bar{A} V,$$

где $\bar{A} = \text{diag}(\bar{\gamma}) A$.

Утверждение 1

Если матрица A квадратная невырожденная, решением задачи поиска равновесной системы выпусков является собственный вектор матрицы A .

Условие роста выпусков имеет вид: $V(t) \geq V(t-1)$.

Показатель продуктивности может быть определен из решения этой задачи как $\pi^x = \gamma - 1$ и представляет долю добавленной стоимости в стоимости промежуточного потребления при равновесном режиме технологического развития экономической системы. Поскольку $\pi \leq \pi^x$, то всегда $\gamma \geq 1/a$; в равновесном режиме имеем: $a = 1/\gamma$.

Вычисление собственного вектора матрицы, соответствующего максимальному собственному значению λ обеспечивающего устойчивое равновесное состояние технологического ядра может производиться итеративным методом.

Утверждение 2

Пусть A – неотрицательная матрица, максимальное по модулю собственное значение λ которой, $|\lambda| < 1$. Собственный вектор x этой матрицы удовлетворяет уравнению

$$Ax = \lambda x.$$

Поиск собственного вектора x с максимальным по модулю собственным значением производится итеративной процедурой

$$\lambda^k = \|Ax^k\| / \|x^k\|, \quad x^{k+1} = \lambda^k Ax^k$$

где k – номер итерации. Останов процедуры осуществляется по условию

$$\|x^{k+1} - x^k\| < \varepsilon,$$

где ε – заданная точность вычислений ($\varepsilon=0,001$). При этом собственное число λ матрицы A оценивается как

$$\lambda = \lim_{k \rightarrow \infty} \lambda^k \quad \text{и} \quad x = \lim_{k \rightarrow \infty} x^k.$$

Этот результат показывает, что инерционный процесс воспроизводства технологического ядра имеет устойчивое равновесие с неподвижной точкой, равной собственному вектору x .

Показатель равновесия экономической системы: $u = \pi / \pi^x$ определяет степень близости системы к равновесному состоянию. Очевидно,

$$0 \leq u \leq 1, \quad \max u = 1.$$

1.2 Преобразование индексов выпусков

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

$$\bar{a}_{ij} = a_{ij} \cdot V_i / V_j$$

Рассматриваются операции преобразования технологической матрицы в текущих ценах к матрице в относительных ценах и обратно. Обозначим D – диагональную матрицу с диагональю V_1, V_2, \dots, V_n

$$D = \text{diag}(V);$$

C – диагональную матрицу с диагональю $1/V_1, 1/V_2, \dots, 1/V_n$. или $\bar{A} = DAC$.

Утверждение 3

Если все $V_i \neq 0, i = 1, \dots, n$, то преобразованная матрица с коэффициентами $\bar{a}_{ij} = a_{ij} \cdot V_i / V_j$ имеет то же собственное значение, что и матрица A , а собственный вектор равен исходному с точностью до мультипликатора D .

Будем называть это преобразование D технологической матрицы преобразованием *деформации*. Для перехода к ценам в относительной шкале (пропорциям цен) используется собственный вектор выпусков V^0 в абсолютной шкале путем деформации технологической матрицы

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

В таком случае собственный вектор технологической матрицы после деформации становится единичным. При этом собственное значение сохранится, а собственный вектор v^* матрицы A^1 в относительной шкале может быть приведен к абсолютной шкале преобразованием

$$V^* = \text{diag}(V^1) v^*.$$

При расчетах величин V_i интерпретируются как индексы объемов выполняемых услуг, а ограничения на них в предположении неубывания имеют вид

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

1.3 Индикативный план-прогноз внедрения структурных инноваций

Одномоментно реализовать изменение структуры выпусков, сделав их равновесными невозможно. Для того, чтобы определить наиболее рациональный план развития отрасли, можно воспользоваться следующей постановкой локальной задачи: $\max_{v_i} \gamma$, технологическим ограничением на выпуски продукции:

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

и условием роста выпусков с темпом $\theta > 1$ на один такт плана:

$$V_i(t) \leq \theta \cdot V_i(t-1), i = 1, \dots, n.$$

Повторяя процедуры поиска оптимального решения и пересчета матрицы прямых затрат от такта к такту, получим индикативный многоэтапный план-прогноз совместного развития отраслей технологического ядра экономики. Процедура расчета индикативного плана использует величины абсолютных и относительных выпусков. Если V^1 - вектор текущих цен, то на первом шаге для перехода к относительным выпускам v^1 используется деформация технологической матрицы

$$A^2 = \text{diag}(V^1)^{-1} A \text{diag}(V^1),$$

Соответствующим преобразованием осуществляется обратный переход для векторов промежуточных вычислений v

$$V = \text{diag}(V^1) v.$$

Далее решаются задачи поиска вектора относительных объемов выпуска v^i

$$\max_{v^i} \gamma,$$

технологическим ограничением на выпуски продукции:

$$v^k \geq \gamma^k A^k v^k,$$

и условием роста относительных выпусков с темпом θ , $\theta > 1$ на один такт плана:

$$I \leq v^k(t) \leq \theta \cdot I, k = 1, 2, \dots,$$

где I – единичный вектор. Тогда, для расчета индикативного план-прогноза совместного развития отраслей можно применить следующие утверждения.

Утверждение 4

Последовательность V^i за конечное число тактов стремится к собственному вектору технологической матрицы A , а оценка γ^i стремится к собственному числу этой матрицы.

Замечание

При преобразовании технологической матрицы A с помощью деформации матрицей $D = \text{diag}(v^*)$, решение задачи планирования становится тривиальным: $v = cI$, где $c \geq 1$. То есть, при достижении технологического равновесия дальнейшего изменения структуры выпусков не происходит.

Утверждение 5

Если существует решение локальных задач при $i \geq 1$, на такте i могут быть получены объемы индикативных выпусков в абсолютных единицах следующего вида:

$$V^i = \prod_{j=i}^1 \text{diag}(v^j) \cdot V^0$$

Утверждение 6

Если для всех этапов коэффициент θ постоянный, относительный прирост выпусков, начиная с некоторого такта, становится одинаковым. Это свойство аналогично магистральному свойству оптимизационных моделей экономической динамики [5].

Для поиска вектора выпусков, максимизирующего оценку продуктивности технологического ядра, будем применять процедуру градиентного спуска. Пусть A – положительная матрица, x -вектор с неотрицательными компонентами. Выразим материалоемкость $a = Z/V$ в терминах модели технологического ядра

$$a = \frac{\|Ax\|}{\|x\|},$$

где норма вектора вычисляется как среднее

$$\|x\| = \sum_{i=1}^n x_i / n$$

Оценка продуктивности может быть представлена в виде

$$\pi = 1/a - 1.$$

Утверждение 7

Обозначим I – единичный вектор, E – диагональная единичная матрица, h – величина шага,

Процедура минимизации $\min_{\mu \leq x \leq \theta} a(x)$

методом градиентного спуска имеет вид

$$x^{k+1} = \max(\mu I, \min(\theta I, x^k + h \frac{(aE - A^T)I}{\|x^k\|}, \frac{\|x^k\|}{\|Ax^k\|} Ax^k))$$

где k – номер итерации.

Выбор шага h определяет скорость сходимости процесса: чем он больше, тем больше скорость сходимости. Однако, безграничное увеличение h не ускоряет сходимости.

Процесс оптимизации структуры выпусков порождает последовательность возрастающих оценок продуктивности технологического ядра, сопровождаемая 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.

2 Расчет индикативного план-прогноза структурных инноваций

Ниже приведен график изменения коэффициента продуктивности технологического ядра при балансировке выпусков на последовательных этапах индикативного планирования, где нижняя граница пропорций выпусков равнялась 1, а верхний предел изменения пропорций выпусков изменялся с темпом $\theta = 1,5$ на этап.

Приведенные результаты позволяют оценить потенциал роста технологического ядра экономической системы. Они показывают, что изменение структуры выпусков позволяет существенно повысить показатель продуктивности.

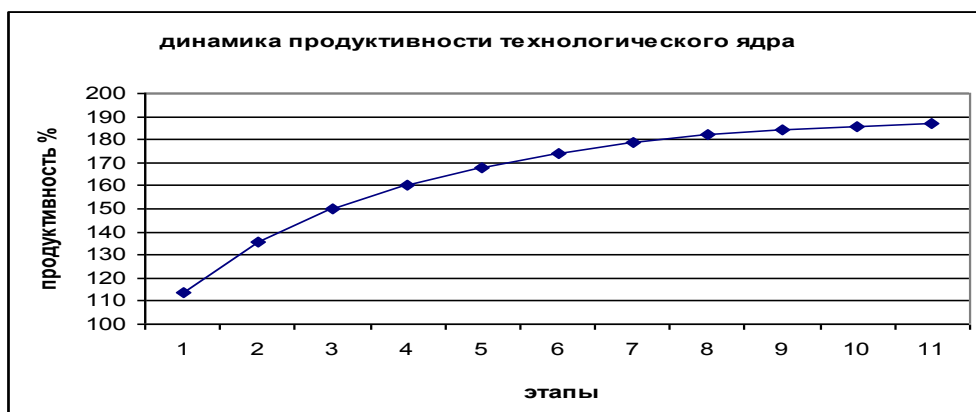


Рис.1. Изменение коэффициента продуктивности технологического ядра при оптимизации пропорций выпусков на последовательных этапах индикативного планирования.

Ниже приведен график индикативной динамики пропорций выпусков некоторых отраслей при решении задачи на последовательных этапах индикативного планирования для данных по Российской экономике. Границы изменения индексов [1 - 1.5], 18% роста (средняя величина индексов выпуска за этап).

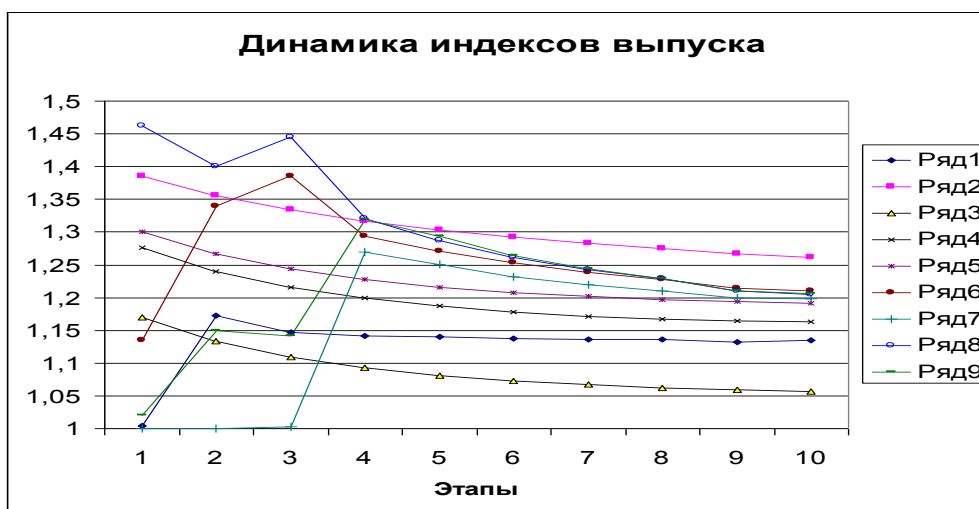


Рис.2. Индикативная динамика пропорций выпусков некоторых отраслей на последовательных этапах индикативного планирования для данных по Российской экономике.

- Ряд 1 Продукция сельского хозяйства
- Ряд 2 Услуги в области растениеводства и животноводства
- Ряд 3 Услуги, связанные с охотой, ловлей и разведением диких животных
- Ряд 4 Продукция лесоводства, лесозаготовок и связанные с этим услуги
- Ряд 5 Рыба и прочая продукция рыболовства и рыбоводства;
- Ряд 6 Уголь каменный и уголь бурый (лигнит); торф
- Ряд 7 Нефть, включая нефть, получаемую из битуминозных минералов; сланцы
- Ряд 8 Газ природный в газообразном или сжиженном состоянии, включая услуги по сжижению и регазификации природного газа для транспортирования
- Ряд 9 Услуги, связанные с добычей нефти и горючего природного газа, кроме геологоразведочных работ

Рисунки 1 и 2, демонстрируют магистральное свойство [5] модели развития технологического ядра Российской экономики, состоящее в том, что при достаточном времени функционирования выпуски продукции выходят на постоянный уровень.

Для того, чтобы оценить возможности реализации имеющегося потенциала технологического ядра, необходимо, в условия балансировки включить также ряд дополнительных условий: ограничение на трудовые и сырьевые ресурсы, затраты на конечное потребление, накопление,

фондообразование, экспортно-импортные потоки. Таким образом, полученная динамика индексов выпуска может служить оценкой верхней границы этих индексов.

Заключение

Несмотря на имеющийся высокий потенциал развития, современная экономика РФ сталкивается с кризисными явлениями. На макроуровне это низкий темп роста ВВП, критическая зависимость экономики от экспорта нефти и газа, неустойчивость и недооцененность валютного курса, малая доля обрабатывающей промышленности, зависимость от внешних санкций, неэффективность механизмов управления. Действие этих факторов обуславливает неполную реализацию потенциала технологического ядра экономики [6]. 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 и наряду с выбором приоритетных направлений развития технологического ядра, требует применения адекватных методов прогнозирования многоотраслевой динамики, учитывающих все основные аспекты хозяйственной деятельности: фондообразование, накопление, конечное потребление государства и домашних хозяйств, экспортно-импортные потоки [7, 8]. Планирование на новом уровне также предполагает использование соответствующих организационных механизмов [9].

Литература

1. *Шумпетер Й.* (1908). On the Concept of Social Value // Quarterly Journal of Economics. — 1908. — Vol. 23. — P. 213—232.
2. Базовые таблицы «затраты-выпуск» Российской Федерации за 2016 год (в текущих ценах, млн. руб.) Опубликовано Росстатом. 30 января 2020 года. rosstat.gov.ru/storage/mediabank/baz-tzv-2016.xlsx
3. *Леонтьев В.В.* Экономические эссе. Теории, исследования, факты и политика. (Essays in economics. Theories, theorizing, facts, and policies) Перевод на русский язык: *В.Г.Гребенников, И.И.Андреева, Ю.М.Дыханов, Н.В.Павлов, Н.А.Раннева.* Общая редакция перевода С.С. Шаталина и Д.В.Валового.(М.: Политиздат, 1990)
4. *Индикативное планирование и проведение региональной политики / В.Б. Гусев и др.* – М.: Финансы и статистика, 2007. – 368 с.
5. *Самуэльсон П., Дорфман Р., Солоу Р.* Linear Programming and Economic Analysis, 1958.
6. *Гусев В.Б.* Равновесные модели многоресурсных саморазвивающихся систем//Проблемы управления, №3 2007 г., стр. 18-25
7. *П. Самуэльсон.* Экономика. Том 1. М.: МГП «АЛГОН» ВНИИСИ, 1992, 333 с.
8. *Петров А.А., Поспелов И.Г., Шананин А.А.* Опыт математического моделирования экономики. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 544 с.
9. *Антипов В.И.* "ГОСПЛАН. Вчера, сегодня, завтра" - М.: Концептуал, 2019. - 208 с. УДК 338.27 ББК 65.053 ISBN 978 - 5 - 907172 - 17 - 3