

**Посвящается 100-летию со дня
рождения великого русского
лауреата Нобелевской премии по
химии Ильи Романовича Пригожина
(1917-2003)**

**Идеи И.Р. Пригожина в разработке
синергетической теории
экономической динамики**

9 февраля 2017 года

Теория диссипативных структур Пригожина

Структуры, способные самопроизвольно возникать и развиваться в активных, рассеивающих энергию средах в состояниях, далеких от равновесия, Пригожин предложил использовать понятие диссипативной структуры и разработал собственную обобщенную теорию самоорганизации таких структур, которую он называл по-разному: нелинейной неравновесной термодинамикой, наукой о сложном, теорией перехода от хаоса к порядку, но чаще всего – теорией диссипативных структур.

Теория диссипативных структур и синергетика

Пригожин предпочитал не пользоваться термином “синергетика”, хотя по своему внутреннему содержанию его исследования, бесспорно, относятся к синергетической теории эволюции и самоорганизации сложных систем.

“Синергетику” Г. Хакен определял как науку о самоорганизации или, более развернуто, о самопроизвольном возникновении и самоподдержании упорядоченных и временных и пространственных структур в открытых нелинейных неравновесных системах различной природы.

Ключевым для обоих подходов является понятие “самоорганизации”.

Самоорганизующиеся системы (СОС)

СОС должна удовлетворять следующим требованиям:

- 1) система д.б. сложной и открытой, т.е. состоять из множества элементов и обмениваться со средой веществом, энергией, информацией или товарами;
- 2) динамические процессы, происходящие в ней д.б. кооперативными, т.е. действия ее элементов д.б. согласованы друг с другом;
- 3) система д.б. нелинейной;
- 4) система д.б. далека от состояния равновесия, где в полной мере проявляется нелинейность;
- 5) система допускает качественные структурные изменения.

Рыночная экономика как СОС

Экономические системы рыночного типа являются открытыми СОС, управляемыми “невидимой рукой” Адама Смита.

Рыночные механизмы через закон спроса и предложения, законы конкурентной борьбы и переливы капитала образуют сеть обратных связей, которые делают систему способной к адаптации, т.е. к внутренней структурной перестройке элементов.

Рыночная экономическая система является нелинейной и неравновесной системой. Равновесие есть лишь ее кратковременное состояние. Рыночная экономика развивается, переходя от равновесного к неравновесному состоянию. Она может далеко отклоняться от равновесия.

Заблуждения современной экономической теории “мейнстрима”

В основе современной экономической теории лежат несколько устаревших принципов, которые уже не соответствуют современной экономической динамике.

Один из таких принципов – это положение об экономическом равновесии. Сама жизнь в течение последнего столетия показала, что достичь абсолютно устойчивого экономического равновесия невозможно!

Равновесные системы не способны к развитию и самоорганизации, поскольку подавляют любые отклонения от своего стационарного состояния, тогда как развитие и самоорганизация предполагают его качественные изменения.

Замечательные свойства неравновесной самоорганизации

Определяющим условием оптимального поведения рыночной экономики является ее неравновесная самоорганизация, функциональная устойчивость в неравновесных состояниях.

Рост всегда неустойчив, однако только растущая экономика может находиться в равновесии, причем в динамическом равновесии. Экономика похожа на велосипед: она может удерживать равновесие только во время движения!

Устойчивость экономики в неравновесии - это квазистабильное состояние. Но именно в таком состоянии и возможно “экономическое чудо” – лавинообразный рост!

Яркий пример: бурное развитие Китая последние 30 лет.

Цели и задачи современной экономической политики

Постоянный рост является главной целью современной экономики, поскольку без экономического роста нет повышения благосостояния населения. Вся мировая экономика последние десятилетия росла средними темпами 3-4% в год. Следовательно, основная задача экономической политики любого правительства состоит в обеспечении условий для динамичного роста.

Рост в современной капиталистической экономике сопровождается ростом неравенства доходов. Поэтому вторая по важности задача правительства – это обеспечение относительно равномерного распределения доходов в обществе, путем их рационального перераспределения.

Как выйти из экономического кризиса?

Еще в 30-е годы XX века великий экономист Йозеф Шумпетер утверждал, что только экономическая политика, нацеленная на постоянный динамичный рост, позволяет успешно преодолевать экономические кризисы и стагнации.

Президент России В.В. Путин абсолютно прав, провозглашая стратегическую цель перед правительством – добиться выхода на траекторию экономического роста с темпами, превышающими среднемировые, т.е. как минимум на 4-5 процентов в год.

Й. Шумпетер разработал инновационную теорию экономического развития и показал, что динамичный рост обеспечивается только за счет широкомасштабного внедрения инноваций.

**Общее нелинейное дифференциальное уравнение,
описывающее циклические колебания экономики
вокруг долгосрочного тренда.**

$$\frac{d^2 Y}{dt^2} + \left\{ \lambda + \alpha - \lambda \alpha v \left[1 - \chi \frac{4}{3} \left(v \frac{dY}{dt} \right)^2 \right] - \lambda (1-s) \frac{1}{\gamma^*} \frac{\partial \bar{Y}}{\partial L} \right\} \frac{dY}{dt} + \lambda \left[\alpha - s(1-s) \frac{\partial \bar{Y}}{\partial K} \right] Y +$$

$$+ \lambda (1-s) \left(\mu - \alpha \frac{a}{h} \right) K \frac{\partial \bar{Y}}{\partial K} - \lambda \alpha (1-s) \frac{b}{h} L \frac{\partial \bar{Y}}{\partial L} = \lambda \left(\frac{dA}{dt} + \alpha A \right)$$

Здесь мы имеем дело с двумя переменными: быстроменяющейся Y (содержащей циклические колебания вокруг тренда) и медленноменяющейся \bar{Y} (описывающей трендовую кривую).

Это обстоятельство позволяет их разделить путем применения метода усреднения Крылова-Боголюбова-Митропольского (КБМ).

Управляющие параметры: K – капитал, L – труд, A – технический прогресс.
Параметр порядка: V – мощность акселератора.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ РОСТА И ЦИКЛИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ РЕАЛЬНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

1. Уравнение описывающее трендовую траекторию развития

$$\frac{d^2 \bar{Y}}{dt^2} + \sigma \frac{d\bar{Y}}{dt} + \omega^2 \bar{Y} = \lambda \left(\frac{d\bar{A}}{dt} + \alpha \bar{A} \right) + \lambda (1-s)i \frac{dK}{dt} = F_1(t)$$

Здесь: $K(t)$ - производственный капитал, $\frac{dK}{dt} = A - \mu K$;
 $A(t)$ - автономные инвестиции, $A(t) = \bar{A}(t) + \varphi(t)$.

2. Уравнение циклических колебаний

$$\frac{d^2 y}{dt^2} - \left[\sigma_0 - \frac{4}{3} \alpha \lambda \lambda \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 \right] \frac{dy}{dt} + \omega^2 y = \lambda \left(\frac{d\varphi}{dt} + \alpha \varphi \right) = F_2(t),$$

3. Уравнение движения совокупного выпуска

$$Y(t) = \bar{Y}(t) + y(t) \text{ с учетом риска } v = v_0 - \frac{v_1}{2} \sin \omega t \quad \phi = \frac{2}{11} \quad (T = 11\pi \cong 35 \text{ лет})$$

Анализ решений нелинейного ДУ, описывающего циклические колебания

Нелинейное ДУ, описывающее циклические колебания экономики вокруг трендовой кривой долгосрочного роста имеет вид (25 б):

$$\frac{d^2 y}{dt^2} - \left[\sigma_0 - \frac{4}{3} \alpha \lambda v^3 \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 \right] \frac{dy}{dt} + \omega_0^2 \left[1 - \frac{s(1-s)}{\alpha} i \right] y = \varphi(t) \quad (29)$$

$$\text{где } \sigma_0 = - \left[\lambda + \alpha - \alpha \lambda v - \lambda(1-s) \frac{\beta}{\gamma} \right]; \quad \omega_0^2 = \lambda \alpha; \quad \beta = \frac{h}{b} - a$$

Численные значения параметров: $\lambda = 4$; $\alpha = 1$; $s = 0,25$; $i = 0,1$; $\beta = \frac{2}{3}$; $\gamma = 2,5$

Если ввести переменную $x = \frac{dy}{dt}$

то уравнение (29) сводится к системе двух ДУ первого порядка:

$$\begin{cases} \dot{y} = x, \\ \dot{x} = \left(\sigma_0 - \frac{4}{3} \alpha \lambda v^3 x^2 \right) x - \omega_0^2 \left[1 - \frac{s(1-s)}{\alpha} i \right] y + \varphi(t) \end{cases} \quad (30)$$

Прежде всего, рассмотрим фазовый портрет данной динамической систем методами качественного исследования ДУ.

Характеристическое уравнение линеаризованной системы: $p^2 - S_0 p + J_0 = 0$.

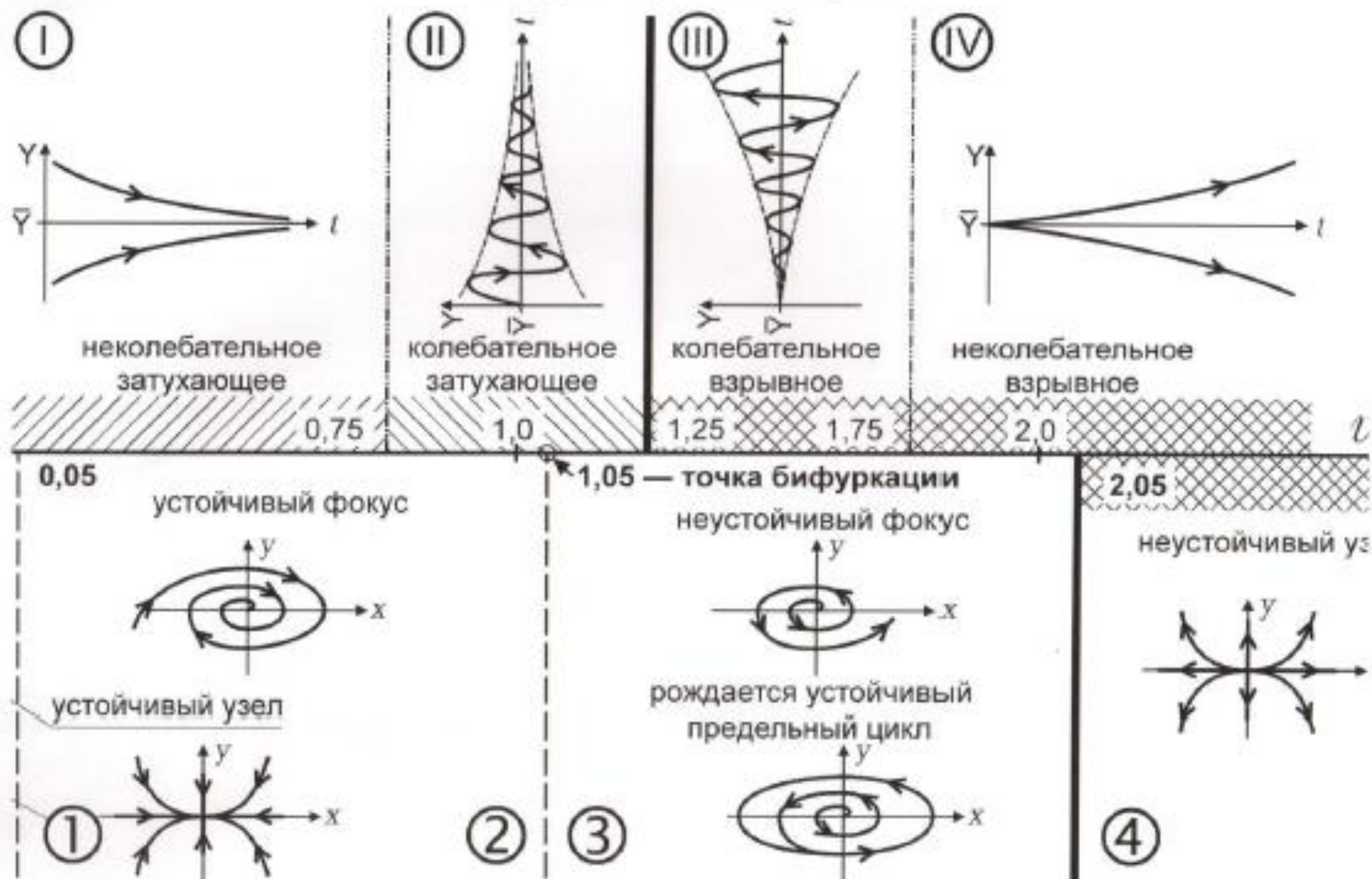
Корни: $p_{1,2} = \frac{1}{2}(S_0 \pm \sqrt{S_0^2 - 4J_0})$. Подставляя выражения для S_0 и J_0 получаем:

$$p_{1,2} = \frac{1}{2} \left\{ - \left[\lambda + \alpha - \alpha \lambda v - \lambda(1-s) \frac{\beta}{\gamma} \right] \pm \sqrt{ \left[\lambda + \alpha - \alpha \lambda v - \lambda(1-s) \frac{\beta}{\gamma} \right]^2 - 4\lambda\alpha } \right\}$$

Характер корней $P_{1,2}$ и состояния равновесия представлены в таблице 2.

Интервалы изменения мощности акселератора	Характер корней $P_{1,2}$	Состояния равновесия
$[0 < v \leq 0,05]$ $\frac{1}{\lambda\alpha} \left[\lambda + \alpha - 2\sqrt{\lambda\alpha} - \lambda(1-s) \frac{\beta}{\gamma} \right] \geq v > 0$	Вещественные и отрицательные	Устойчивый узел
$\frac{1}{\lambda\alpha} \left[\lambda + \alpha - \lambda(1-s) \frac{\beta}{\gamma} \right] > v > \frac{1}{\lambda\alpha} \left[\lambda + \alpha - 2\sqrt{\lambda\alpha} - \lambda(1-s) \frac{\beta}{\gamma} \right]$ $[0,05 < v < 1,05]$	Комплексные. Вещественная часть отрицательна	Устойчивый фокус
$[v = 1,05]$ $v = \frac{1}{\lambda\alpha} \left[\lambda + \alpha - \lambda(1-s) \frac{\beta}{\gamma} \right]$	Чисто мнимые	Точка бифуркации
$\frac{1}{\lambda\alpha} \left[\lambda + \alpha + 2\sqrt{\lambda\alpha} - \lambda(1-s) \frac{\beta}{\gamma} \right] > v > \frac{1}{\lambda\alpha} \left[\lambda + \alpha - \lambda(1-s) \frac{\beta}{\gamma} \right]$ $[1,05 < v < 2,05]$	Комплексные. Вещественная часть положительна	Неустойчивый фокус
$[v \geq 2,05]$ $v \geq \frac{1}{\lambda\alpha} \left[\lambda + \alpha + 2\sqrt{\lambda\alpha} - \lambda(1-s) \frac{\beta}{\gamma} \right]$	Вещественные и положительные	Неустойчивый узел

Характер влияния циклических колебаний системы на долговременный рост



Состояния равновесия экономической системы

ВЫВОДЫ:

1. Устойчивый долгосрочный экономический рост возможен в диапазоне мощностей акселератора $\theta < \nu < 1,05$. Причем, при значениях $\nu < 1,05$ любые шоки сглаживаются системой и она асимптотически стремится к устойчивому равновесию – либо к устойчивому узлу, либо к устойчивому фокусу.

2. В интервале значений $\nu > 1,05$ состояние равновесия неустойчиво и в системе устанавливается незатухающий колебательный режим, т.е. устойчивость состояния равновесия переходит к предельному циклу. Этот режим хорош тем, что благоприятствует структурным преобразованиям необходимым для освоения инноваций. В этом случае, при появлении инновационных шоков, экономическая система переходит к новому состоянию равновесия, т.е. происходит смещение траектории долгосрочного роста на более высокий уровень, обеспечивая увеличение темпов роста.

3. Долговременный экономический рост формируется под влиянием циклических колебаний деловой активности и управляется мощностью акселератора, зависящей от инновационной активности предпринимателей.

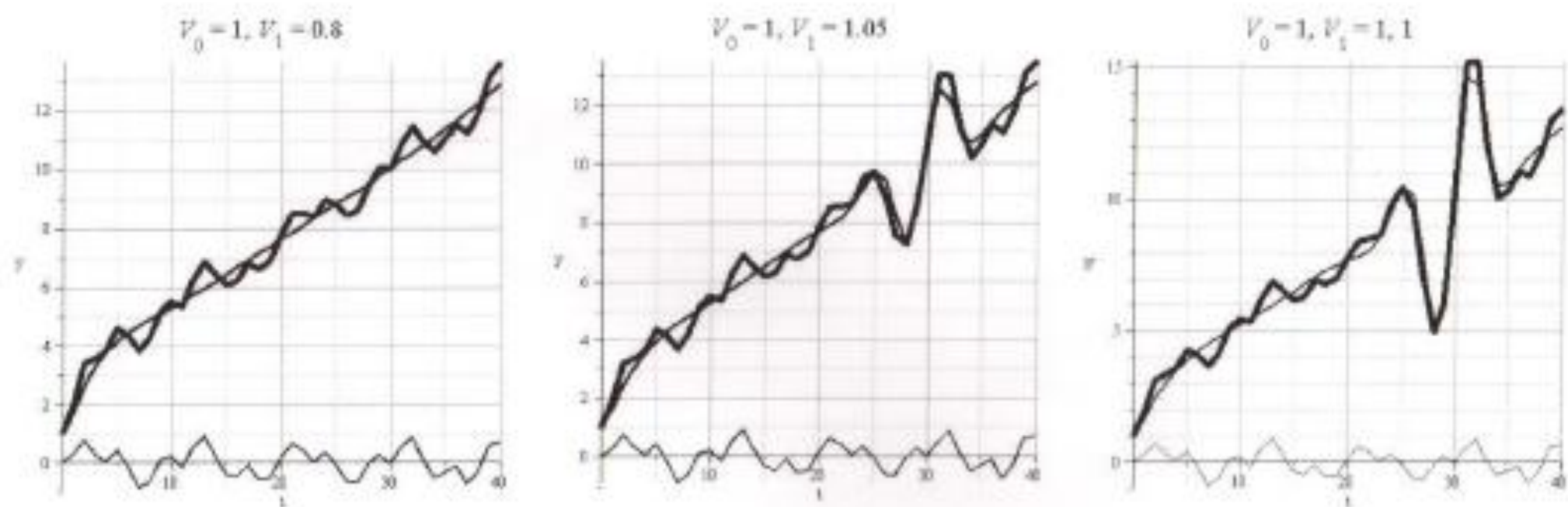


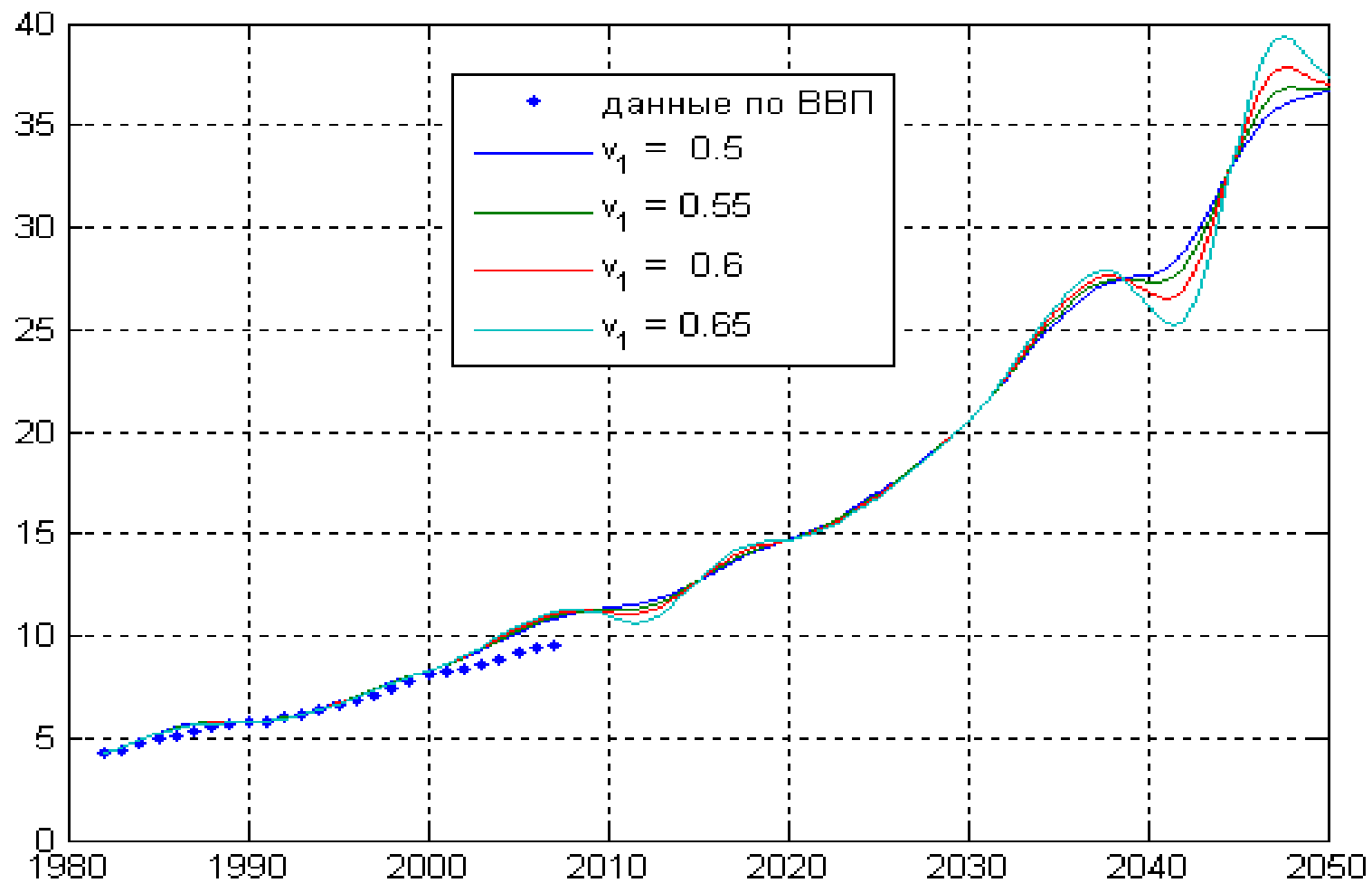
Рис. 1. Численные решения уравнений макроэкономической динамики

Пояснения к рис. 1:

1. Тренд (-) и циклические колебания (-) линиями средней толщины
2. Движение выпуска (-) толстыми линиями

ПРОГНОЗ ДИНАМИКИ ВВП США ДО 2050 Г.

$$v_0 = 1.3$$



Проблемы российской экономики

Экономическая политика правительства России нацелена на закрепление устойчивого равновесия. Ее главная цель – снижение уровня инфляции любыми средствами, что идет в ущерб цели экономического роста.

Указанные цели достигаются за счет жесткой денежно-кредитной политики. В результате, нехватка денежных запасов и отсутствие инноваций тормозят рост реальной экономики и загоняют ее в состояние длительной стагнации.

ПРОГНОЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО И ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СЦЕНАРИЕВ РАСШИРЕНИЯ СИСТЕМЫ НИОКР

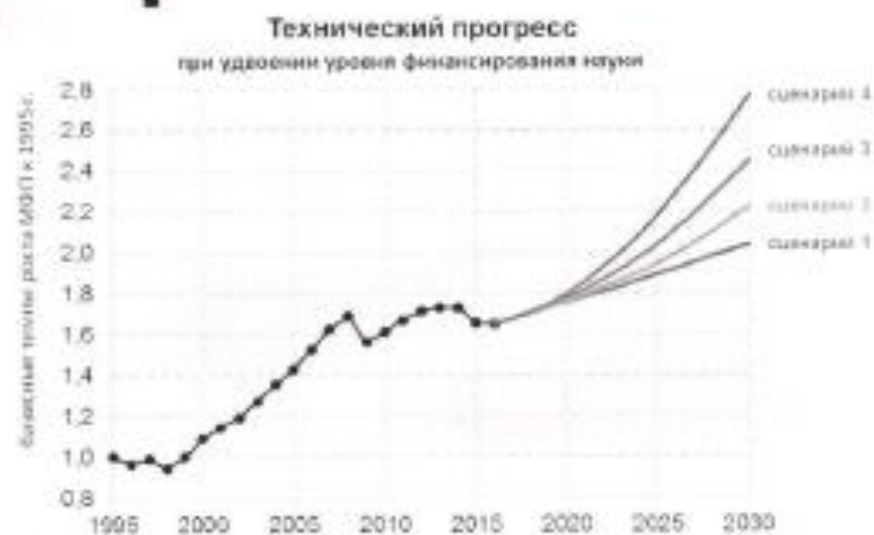


Таблица 2

Среднегодовые темпы технического прогресса, %

	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030
при сохранении уровня финансирования науки				
Сценарий 1	0,53	1,50	1,49	1,49
Сценарий 2	0,53	1,57	1,85	2,38
Сценарий 3	0,53	1,74	2,51	3,08
Сценарий 4	0,53	2,04	3,42	3,91
при удвоении уровня финансирования науки				
Сценарий 1	0,53	1,58	1,55	1,53
Сценарий 2	0,53	1,67	2,06	2,74
Сценарий 3	0,53	1,82	2,89	3,75
Сценарий 4	0,53	2,07	4,05	4,90

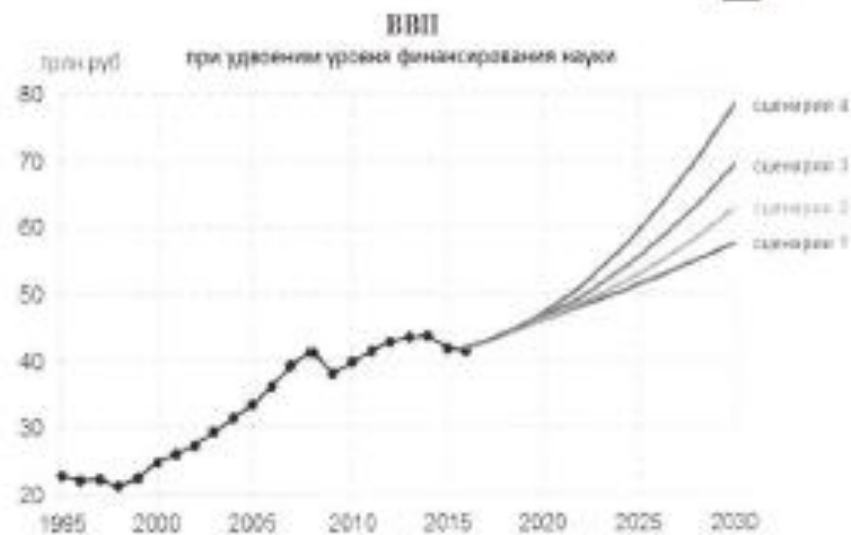


Таблица 3

ВВП, в сопоставимых ценах 2008 г., трлн.руб

	2015	2020	2025	2030
при сохранении уровня финансирования науки				
Сценарий 1	41,8	45,8	51,1	57,0
Сценарий 2	41,8	45,9	52,2	60,8
Сценарий 3	41,8	46,3	54,4	65,5
Сценарий 4	41,8	47,0	57,7	72,4
при удвоении уровня финансирования науки				
Сценарий 1	41,8	45,9	51,4	57,5
Сценарий 2	41,8	46,1	52,9	62,8
Сценарий 3	41,8	46,4	55,6	69,2
Сценарий 4	41,8	47,0	59,5	78,2