

УДК 004.896:330.4

ББК 32.965

К-89

*Куижева Саида Казбековна, доктор экономических наук, доцент кафедры высшей математики и системного анализа, ректор ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет»; 385000, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191; тел.: 570606; e-mail: [s.kuigeva@yandex.ru](mailto:s.kuigeva@yandex.ru);*

*Гашева Зарина Джембулетовна, аспирант кафедры менеджмента и региональной экономики, ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет»; 385000, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191; e-mail: [zarina222@mail.ru](mailto:zarina222@mail.ru);*

*Лябах Николай Николаевич, доктор технических наук, профессор Южного федерального университета; 347900, г. Таганрог, ул. Энгельса, 1, ауд. Г-026; e-mail: [liabakh@rambler.ru](mailto:liabakh@rambler.ru)*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ РЕГИОНА\*

(рецензирована)

*Обозначена роль интеллектуальных ресурсов в развитии региональной цифровой экономики. Сформулирована модель развития интеллектуальных ресурсов региона (ИРР), основанная на «мягких» моделях роста. Исследованы варианты развития ИРР при различных параметрах модели. Выделены режимы устойчивого и неустойчивого равновесия. На основе исследования математических моделей роста ИРР сформулированы рекомендации по развитию интеллектуальных ресурсов региона.*

*Ключевые слова:* цифровая экономика, интеллектуальные ресурсы региона, математическая модель, устойчивое и неустойчивое равновесие развития.

*Kuizheva Saida Kazbekovna, Doctor of Economics, an associate professor of the Department of Higher Mathematics and Systems Analysis, rector of FSBEI HE "Maikop State Technological University", 385000, Maikop, 191 Pervomayskaya str., tel. 570606, e-mail: [s.kuigeva@yandex.ru](mailto:s.kuigeva@yandex.ru);*

*Gasheva Zarina Dzhabuletovna, a postgraduate student of the Department of Management and Regional Economics of FSBEI HE "Maikop State Technological University", 385000, Maikop, 191 Pervomayskaya str., e-mail: [zarina222@mail.ru](mailto:zarina222@mail.ru);*

*Lyabakh Nikolay Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, a professor of the Southern Federal University; 347900, Taganrog, 1 Engels str., Room G-026, e-mail: [liabakh@rambler.ru](mailto:liabakh@rambler.ru)*

## MODELING THE DEVELOPMENT DYNAMICS OF THE REGIONAL INTELLECTUAL RESOURCES

(reviewed)

*The role of intellectual resources in the development of the regional digital economy has been indicated. A model of development of intellectual resources of the region (IRR) based on*

---

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-010-00940 «Моделирование процесса воспроизводства и полезного использования интеллектуальных ресурсов в контексте развития цифровой экономики».

*“soft” growth models has been formulated. The options for the IRR development with different parameters of the model have been investigated. The modes of stable and unstable equilibrium have been highlighted. Recommendations for the development of the regional intellectual resources have been formulated on the basis of the study of mathematical models of IRR growth.*

**Keywords:** *digital economy, intellectual resources of the region, mathematical model, sustainable and unstable equilibrium of development.*

В настоящее время трендом развития во всех сферах общественной жизни является цифровая экономика (ЦЭ) [1]. Ключевыми факторами, отличающими ЦЭ, является внедрение информационных платформ производства и бизнеса, Интернета вещей, блокчейна и надж технологий. В ЦЭ человеко-машинные системы рассматриваются с позиции киберфизических систем. Роли человека и машины не столь дифференцированы, как например, в системах автоматизированного управления, где человек задатчик цели, исследователь, субъект принятия решений, а машина лишь усилитель его физических и умственных способностей (память, быстроедействие счета). Теперь роли человека и машины находятся в более сложной конфигурации. Машина может быть и «учителем» и «учеником», она генерирует знания и автоматически принимает решения.

В научных исследованиях и методических разработках по теме речь идет, как правило, о ЦЭ вообще, предполагая универсальность применимости названных категорий для экономик различного уровня: страны, региона, отрасли, предприятия. Вместе с тем, следует отметить, что региональная экономика (как впрочем, и другие названные виды) имеет свои отличительные черты. Она отличается специфической сферой обращения ресурсов (в том числе интеллектуальных) – кластер регионального развития, критериями их использования (в них отражаются интересы всего региона и субъектов ее хозяйственной деятельности), механизмами генерации (участвуют вузы и научные учреждения территории) и управления этими ресурсами.

Важнейшим фактором развития региона являются его интеллектуальные ресурсы (ИР). Интеллектуальные ресурсы региона (ИРР) влияют не только на экономику территории (обеспечивая повышение производительности труда, мобильность рабочей силы, эффективное внедрение инноваций), но и на социальную жизнь населения (качество, спектр предлагаемых услуг), устойчивость политического устройства, состояние экологии. Поэтому задача исследования динамики развития ИРР является чрезвычайно актуальной.

Простейшая математическая модель роста предложена Мальтусом для оценки роста населения Земли [2]. В [3] эта модель и ее развитие используется для оценки развития изымаемых из оборота ресурсов (в частности динамика популяции рыбы при ее отлове). В этой постановке могут рассматриваться модели восстановления и других ресурсов (леса, диких животных, почвы, ...).

То есть, эта модель (как и любая математическая модель) универсальна, и ниже рассмотрены возможности ее использования для исследования динамики изменения ИРР. Модель Мальтуса имеет вид:

$$dx/dt = kx \quad (1)$$

В этой модели постулируется, что скорость  $dx/dt$  роста исследуемой субстанции (у нас ИПР) пропорциональна ее объему  $x$ . Это предложение хорошо согласуется со спецификой возникновения и развития ИП. Действительно, новые ИП генерируются на основе существующих ИП, и чем большим интеллектуальным потенциалом обладает регион, тем интенсивнее генерируются новые ИП.

Параметр модели  $k$  характеризует специфику развития конкретного региона: его организационно-управленческий потенциал, наличие и эффективность научно-образовательного кластера, человеческого потенциала. То есть, значение  $k$  один из показателей эффективности развития региона. По нему можно регионы сравнивать между собой и классифицировать на классы; деградирующие (при  $k > 0$ ), устойчивые, эффективные.

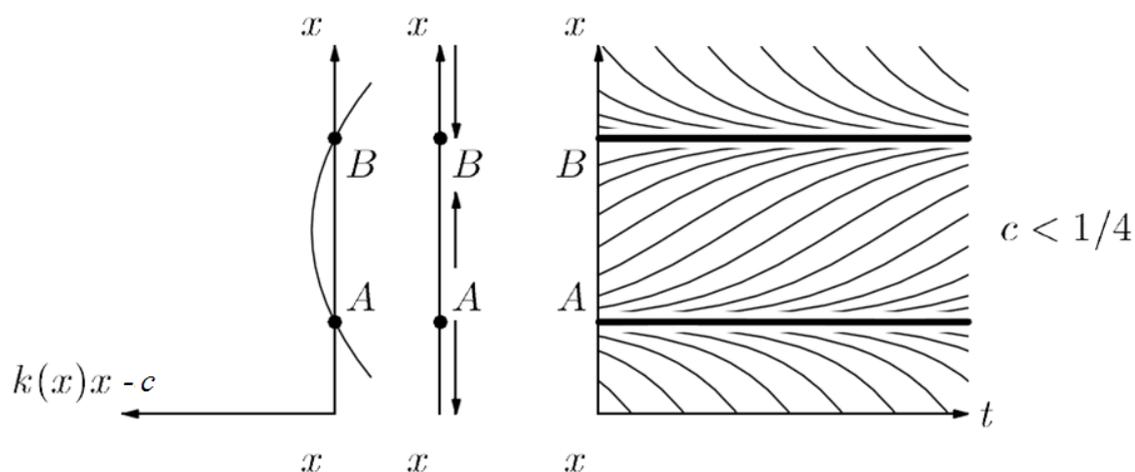
Очевидно, также, что соотношение (1) не может быть применимо для всего диапазона изменения  $x$ . Оно определяет его экспоненциальный рост. В реальных же условиях развития возникают механизмы сдерживания (например, ограничения по ресурсам). Поэтому модель (1) следует уточнить, введя вместо жесткого (постоянного)  $k$ , переменное  $k(x)$ , зависящее от  $x$ . Кроме того, следует учесть естественную убыль ИП (старение знаний, выбытие из активной жизни носителей ИП). Последний эффект (убыль ИПР) учтем слагаемым  $-c$  в правой части (1). То есть, предполагаем убытие ИП с постоянной скоростью  $c$ . Модель роста при этих предположениях примет вид:

$$dx/dt = k(x)x - c \quad (2)$$

Простейшим и логичным примером выбора  $k$  является  $k(x) = a - bx$  [3]. Коэффициент  $k$  убывает по линейной зависимости от  $x$ . Это приводит к, так называемой, логистической модели (рис. 1) [3]:

$$dx/dt = (a - bx)x - c \quad (3)$$

В работе [3] показано, что конкретный вид функции  $k(x)$  влияет только на кривизну расчетных кривых. Качественные результаты остаются неизменными. Поэтому в иллюстративных примерах примем наиболее простые коэффициенты.



**Рис. 1.** Исследование логистической модели роста ИПР, при  $c < 0,25$  [2]

На рис. 1, заимствованном в [3], для удобства графической иллюстрации принято  $a = b = 1$ . Уравнение (3) при этом принимает вид (4).

$$dx/dt = x - x^2 - c \quad (4)$$

Слева на рис. 1 изображен график функции  $x - x^2 - c$ , которая принимает положительные значения между точками  $A$  и  $B$ . Парабола  $(x - x^2 - c)$  при  $c < 0,25$  пересекает ось  $0x$  в точках  $A$  и  $B$ . В центре рисунка изображено векторное поле оси  $x$ . На нем фиксируются направления всевозможных изменений состояния системы. В точках  $A$  и  $B$  скорость равна нулю: это стационарные состояния. Между  $A$  и  $B$  скорость положительна. Это означает, что на этом промежутке ИРР растет. Ниже точки  $B$  парабола отрицательна: ИРР убывает. Справа на рисунке изображены результирующие зависимости ИРР от времени при разных начальных условиях.

Модель показывает, что с течением времени в зависимости от начальных условий может:

- установиться устойчивый стационарный режим  $B$  (значение ИРР большее  $B$  уменьшается, а меньшее, чем  $B$  – увеличивается);
- установиться не устойчивый стационарный режим  $A$  (при любых отклонениях  $x$  от  $A$  это состояние покидается).

Действительно.

Если начальные условия (значение ИРР в начальный момент времени) дифференциального уравнения (3) находятся на промежутке от 0 до  $A$ , то решение (3) (значения  $x(t)$ ) стремится к 0 (см. траектории в нижней, правой части рисунка 1). Это зона деградации ИРР. Нельзя «содержать» ИРР в этой зоне.

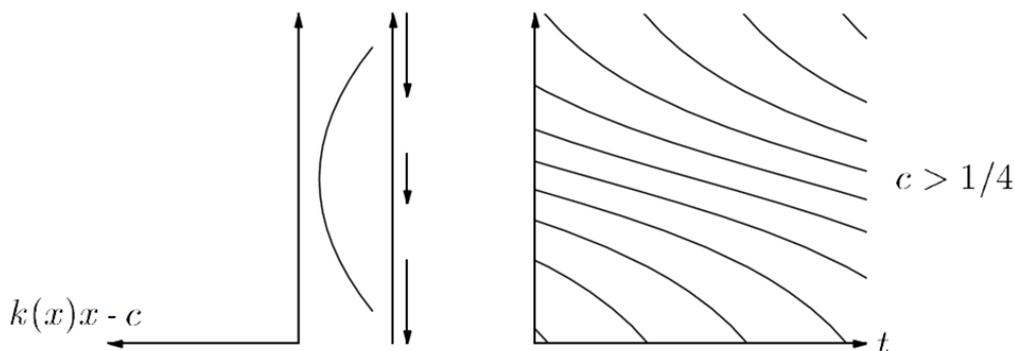
Если начальные условия дифференциального уравнения (3) находятся на промежутке от  $A$  до  $B$ , то значения  $x(t)$  стремятся к  $B$  (см. траектории в средней, правой части рисунка 1). Это зона позитивного развития ИРР.

И, наконец, если начальные условия  $x > B$ , то значения  $x(t)$ , убывая, также стремятся к  $B$  (см. траектории в верхней, правой части рисунка 1). Это зона, которая характеризует неэффективное развитие ИРР (вложения в ИРР не дают желаемого позитивного их роста).

Эти рассуждения позволяют определить свойства точек  $A$  и  $B$ . В точке  $A$  состояние неустойчивого равновесия (важно организацией и управлением развития обеспечить позитивное развитие ИРР). В точке  $B$ , напротив, устойчивое равновесие.

При увеличении значения  $c$  (потерь ИРР) точки  $A$  и  $B$  сходятся. Ситуация рис. 1 превращается в ситуацию рис. 3. И далее в рис. 2.

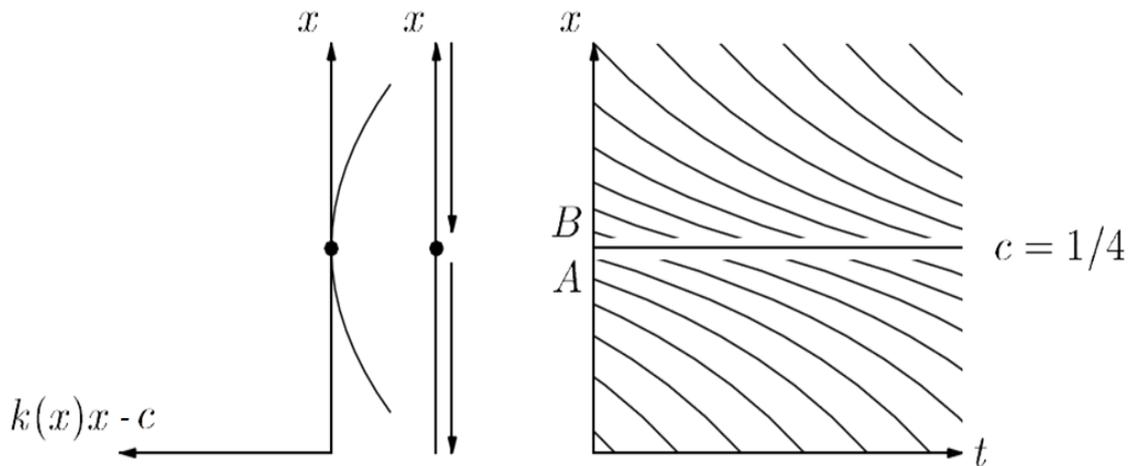
Рассмотрим теперь случай  $c > 0,25$  (рис. 2).



**Рис. 2.** Исследование логистической модели роста ИРР, при  $c > 0,25$

В этом случае парабола  $(x - x^2 - c)$  находится ниже оси  $0x$ . Убытие ИР катастрофическое. При любых начальных значениях ИРР они неизбежно убывают до нуля. Управлять процессом развития ИРР можно только снижая значение  $c$ .

Рассмотрим теперь пограничное значение  $c = 0,25$  (рис. 3).



**Рис. 3.** Исследование логистической модели роста ИРР, при  $c = 0,25$

Это случай неустойчивого равновесия, который в отличие от случая  $A$  на рис. 1 не имеет ветви позитивного развития.

Исследуемая модель роста позволяет выявить способ компенсации указанного негативного эффекта. Устойчивость системы воспроизводства ИРР восстанавливается, если заменить жесткое функционирование, определяемое постоянным значением параметра ( $c = \text{const}$ ), обратной связью. Другими словами, решение о дальнейшем развитии ИРР следует принимать в зависимости от достигнутого состояния системы. То есть формировать переменное значение  $c$ :

$$c = mx \quad (5)$$

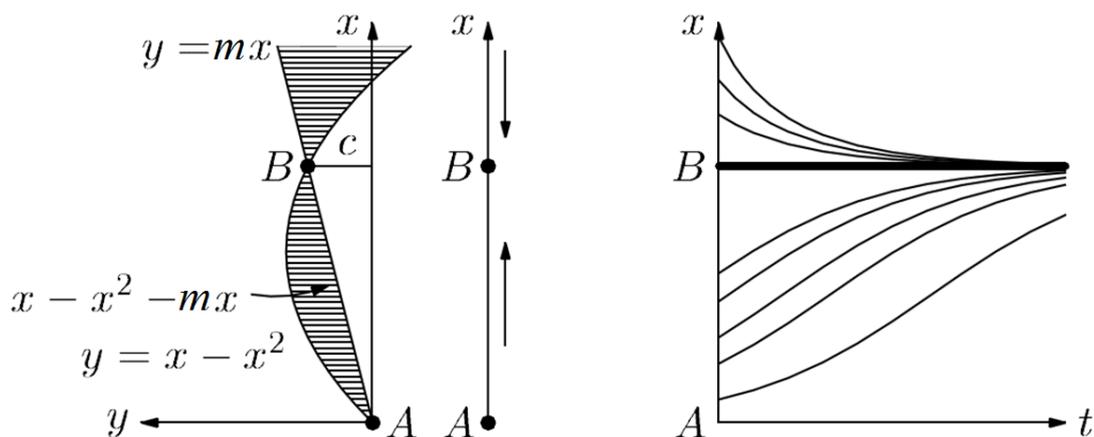
Здесь параметр  $m$  подлежит расчету. При условии (5) модель (4) принимает вид:

$$dx/dt = x - x^2 - mx \quad (6)$$

Графическая иллюстрация этого случая представлена на рис. 4.

При  $m < 1$  с течением времени устанавливается новое стационарное состояние  $B$  (см. рис. 4), которое также устойчиво. Небольшое случайное уменьшение по отношению к стационарному уровню  $x = B$  приводит к автоматическому восстановлению стационарного уровня силами самой системы.

Чем отличается режим развития ИРР, представленный на рис. 1, от режима, описываемого рис. 4? В первом случае накладываются ограничения на скорость выбывания ИРР (не более 0,25). Иначе переходим к неблагоприятным режимам развития рис. 2 и 3. Кроме того, в этом случае мы имеем ограниченный ресурс управления – только начальное значение ИРР. Во втором случае мы можем управлять скоростью выведения ИРР из оборота. А также отсутствует режим катастрофического, неуправляемого падения ИРР (случай  $x < A$ ). Итак, введение обратной связи стабилизирует систему, расширяет ее возможности.



**Рис. 4.** Исследование управляемого режима генерации ИРР

Реализация обратной связи осуществляется на основе взаимодействия органов регионального управления и научно-образовательного кластера региона. Необходимо создать систему, регламентирующую функции по мониторингу ИРР и управления ими.

Обобщая вышеизложенное, следует отметить:

1. Сформулированы особенности региональной цифровой экономики.
2. Известные модели роста (Мальтуса, «мягкая» модель Арнольда В.И.) адаптированы к решению вопроса развития интеллектуальных ресурсов региона.
3. Показана необходимость введения обратной связи в систему восстановления интеллектуальных ресурсов региона.

#### **Литература:**

1. Авдеева И.Л. Анализ перспектив развития цифровой экономики в России и за рубежом // Цифровая экономика и «Индустрия 4.0»: проблемы и перспективы: труды научно-практической конференции с международным участием. Санкт-Петербург, 2017. С. 19-25.
2. Моделирование нелинейной динамики глобальных процессов / под ред. И.В. Ильина, Д.И. Трубецкова. Москва: Московский ун-т, 2010. 512 с.
3. Арнольд В.И. «Жесткие» и «мягкие» математические модели. Москва: МЦНМО, 2004. 32 с.

#### **Literature:**

1. Avdeeva I.L. Analysis of the prospects for the development of digital economy in Russia and abroad // Digital Economy and "4.0 Industry": problems and prospects: works of the Scientific and Practical Conference with International Participation. St. Petersburg, 2017. P. 19-25.
2. Modeling of a nonlinear dynamics of global processes / ed. by V. Ilyin, D.I. Trubetskov. Moscow: Moscow University, 2010. 512 p.
3. Arnold V.I. "Hard" and "soft" mathematical models. Moscow: MCCME, 2004. 32 p.