

РОЗДІЛ 10. МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

SIMULATION OF DEVELOPMENT OF REGIONAL SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS

В статье представлены результаты аналитического экономико-математического и имитационного компьютерного моделирования динамики развития региональной социально-экономической системы. В модели отражены основные факторы взаимодействия элементов такой сложной системы, как регион. Системно-динамическая компьютерная модель разработана в среде Simulink пакета MATLAB. Апробация модели осуществлена на основе статистических данных Луганской области. Представлены расчеты инвестиционных сценариев для оценки возможных путей выхода кризисного региона на траекторию устойчивого социально-экономического развития.
Ключевые слова: системно-динамический подход, регион, социально-экономическая система, экономико-математическая модель, компьютерное имитационное моделирование, устойчивое развитие, MATLAB, Simulink.

У статті представлено результати аналітичного економіко-математичного та імітаційного комп'ютерного моделювання динаміки розвитку регіональної соціально-економічної системи. У моделі відображено основні чинники взаємодії елементів такої складної системи, як регіон. Системно-динамічна комп'ютерна модель розроблена в середовищі Simulink пакета MATLAB.

Апробацию модели здійснено на основі статистичних даних Луганської області. Наведено розрахунки інвестиційних сценаріїв для оцінки можливих шляхів виходу кризового регіону на траєкторію сталого соціально-економічного розвитку.

Ключові слова: системно-динамічний підхід, регіон, соціально-економічна система, економіко-математична модель, комп'ютерне імітаційне моделювання, сталий розвиток, MATLAB, Simulink.

The article presents the results of analytical economic-mathematical and computer simulation modelling of the dynamics of the regional socio-economic system development. The model reflects the main factors of elements' interaction for such a complex system as the region. The system-dynamic computer model is developed in the Simulink environment of the MATLAB. The approbation of the model was carried out on the basis of statistical data of the Luhansk region. To assess possible ways for the crisis region to enter on the trajectory of sustainable social and economic development, calculations for different scenarios of investments were carried out.

Key words: system-dynamic approach, region, socio-economic system, economic-mathematical model, computer simulation, sustainable development, Matlab, Simulink.

УДК 519.86+332.146.2

Истомин Л.Ф.

к.т.н., доцент кафедры экономики и предпринимательства
Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля

Постановка проблемы. В настоящее время экономика Украины переживает период очередного кризиса и влияние множества факторов внешнего и внутреннего характера, поэтому анализ и прогнозирование возможных путей развития социально-экономической ситуации в регионах является актуальной задачей. Особую актуальность эта проблема приобретает для восточных регионов Украины, оказавшихся в наиболее сложном экономическом положении. Одним из наиболее эффективных инструментов прогнозирования на сегодняшний день является компьютерное экономико-математическое моделирование, которое при условии построения адекватной модели позволит учесть основные факторы развития региональных экономических систем и сформировать в определенной мере объективный прогноз, обосновать необходимые меры для устойчивого социально-экономического развития региона.

Анализ последних исследований и публикаций. Разработкой имитационных моделей и экономико-математическим моделированием занимается ряд современных исследователей. Эта проблема освещается в публикациях таких отечествен-

ных ученых, как Л. Дума, В. Реутов, М. Лысюк, С. Ромашко, В. Ковальчук и т.д., а также работ российских А. Емельянова, О. Голосова, А. Янтовского. Анализ публикаций указанных и других авторов показывает, что большинство разработок относятся к проблематике развития региональных и национальных экономических систем в контексте именно их экономического развития и остаются на достаточно абстрактном уровне. Между тем стабильность развития региона предполагает не только стабильность экономики как таковой, но и надлежащий уровень социальных показателей, которые определяют уровень жизни населения региона. Частично социальные аспекты развития территории были учтены в моделях, предложенных В. Реутовым [1], Л. Думой [2], но оба автора использовали достаточно ограниченное число социальных показателей.

Постановка задания. Цель статьи – разработка и анализ системно-динамической модели региона как открытой социально-экономической системы с учетом ее взаимодействия с государственными структурами на примере такого кризисного региона, как Луганская область, и расчет сценариев возмож-

ных путей стабилизации социально-экономической ситуации в регионе. Изложение основного материала исследования. Рассмотрим регион как открытую систему, составляющими которой являются региональные органы власти, экономические (производственные) структуры бизнеса, население, социальная инфраструктура, правовая система и экология, которые взаимодействуют между собой и подвергаются влиянию внешней среды. К внешней среде в данном случае отнесем органы власти на национальном уровне, социально-политическую обстановку, внешние рынки товаров и сырья.

Таким образом, выделяем основные блоки исследуемой сложной системы:

1) производственно-экономическую подсистему (государственные и частные промышленные и сельскохозяйственные предприятия, торговые и обслуживающие предприятия и т. п.); социальную сферу (население региона, системы здравоохранения, образования и инфраструктура региона);

3) региональные органы управления (собственно управление, правоохранительные органы, социальные службы и др.).

Включены в эту систему и органы государственной власти, которые ответственны за взаимодействие с региональным бизнесом (налоги, финансирование государственных программ и т. п.), социальной сферой (социальные выплаты и программы поддержки населения) и региональным управлением (бюджетные финансовые потоки на управление, здравоохранение, образование и инфраструктуру региона).

На рис. 1 представлены основные связи в системе: A_1, A_2 – информация и материальные потоки (состояние рынков товаров и сырья); B_1, B_2 – правовая регуляторная информация государства; C_1, C_2 – материальные потоки (товары) и трудовые ресурсы; S_0 – финансовые потоки в регион; N – нормативы взаимодействия региональной власти и бизнеса; L – трудовые ресурсы, занятые в экономике региона; W – заработная плата; T_1, T_2, T_3 – налоговые отчисления в государственный

и региональный бюджеты и оплата коммунальных др. услуг в бюджет региона; S, S_N, S_C – инвестиции в профобразование, социальную инфраструктуру, экологию от бизнеса и власти, финансирование социальных выплат; V – финансирование мероприятий по повышению БЖД населения региона; P – целевое финансирование образовательных программ по подготовке квалифицированных кадров.

Основные математические модели, описывающие динамику процессов в каждой из подсистем и взаимодействие экономической, социальной составляющих между собой, а также взаимодействие с государственным и региональным управлением, представлены в работах [3; 4]. Одним из существенных элементов в этих моделях является учет распределенности реализации некоторых экономических процессов во времени. Например, таковыми являются процессы реализации продукции или реализации выделенных инвестиций в развитие основных производственных фондов (ОПФ). Последнее описывается уравнениями:

$$\dot{K}(t) = -\mu K(t) + v(t), K(0) = K_0, \quad (1)$$

$$v(t) = \int_0^t \eta(t-\tau) i(\tau) d\tau,$$

где $K(t)$ – ОПФ, μ – норма амортизации; $i(t)$ – темпы инвестирования; $v(t)$ – темпы реализации инвестиций в ОПФ; $\eta(t)$ – некоторая характерная для данного региона функция плотности распределения (ФПР) реализации инвестиций во времени.

Решение уравнения (1) для произвольной ФПР невозможно реализовать стандартными средствами Simulink [5]. Тогда, представляя (1) в виде:

$$\dot{v}(t) = i(t)\eta(0) + \int_0^t \dot{\eta}(t-\tau) i(\tau) d\tau, v(0) = 0, \quad (2)$$

построим ФПР вида

$$\eta_n(t) = \frac{\lambda^{n+1}}{n!} t^n \exp\{-\lambda t\}, \quad (3)$$

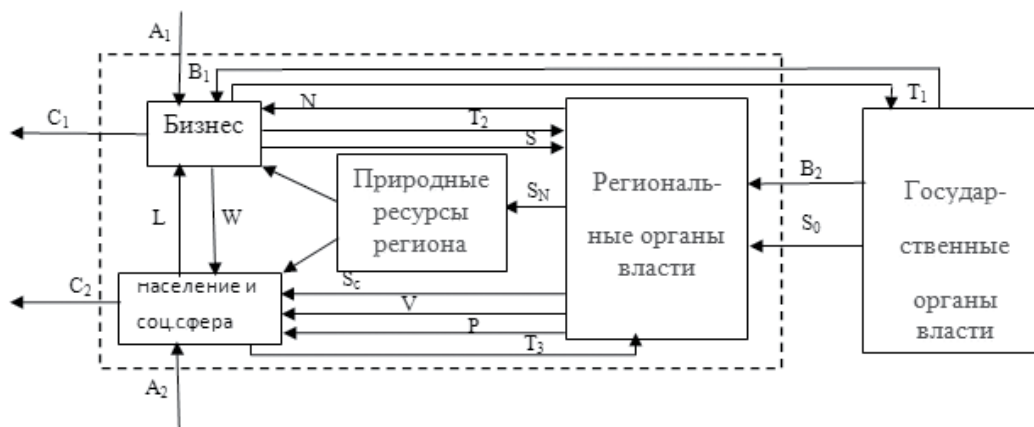


Рис. 1. Схема основных связей в системе «регион»

где $\lambda > 0, n \geq 0$ и целое, $\int_0^{\infty} \eta_n(t) dt = 1$, мода ФПР $t^* = \frac{n}{\lambda}$, математическое ожидание $m = \frac{n+1}{\lambda}$, дисперсия $\sigma^2 = \frac{(n+1)(n+3)}{\lambda^2}$.

Очевидно, что методом сглаживания, варьируя параметрами λ и n , можно получить ФПР, описывающую реальные процессы в системе, для чего необходимо воспользоваться заменой факториала на Гамма-функцию $x! = \Gamma(x+1)$, где x уже действительное.

Используя соотношения (2) и (3) для $n=0$, можем получить, что:

$$v_0(t) = \int_0^t \lambda \exp\{-\lambda(t-\tau)\} i(\tau) d\tau \Rightarrow$$

$$v_0(t) = \int_0^t \lambda^2 (t-\tau) \exp\{-\lambda(t-\tau)\} i(\tau) d\tau =$$

$$= \lambda \left[i(t) - \int_0^t \lambda \exp\{-\lambda(t-\tau)\} i(\tau) d\tau \right] = \lambda [i(t) - v_0(t)]. \quad (4)$$

Последовательно выполнив подобную процедуру для $k=0,1,2,\dots,n$ можем получить систему уравнений:

$$v_0'(t) = \lambda [i(t) - v_0(t)],$$

$$v_1'(t) = \lambda [v_0(t) - v_1(t)],$$

... ..

$$v_k'(t) = \lambda [v_{k-1}(t) - v_k(t)],$$

$$k = \overline{1, n}, v_l(0) = 0, l = \overline{0, n}, \quad (5)$$

решение которой реализуем стандартными средствами Simulink с управлением по λ и n , что и представлено на рис. 2, где $n=1,2,3,4$. Свойства такой модели подробно описаны в [6].

На рис. 3 представлен головной модуль системно-динамической модели, реализованный в среде Simulink, где в качестве подсистем включены производственно-экономическая подсистема, социальная подсистема региона, подсистема приня-

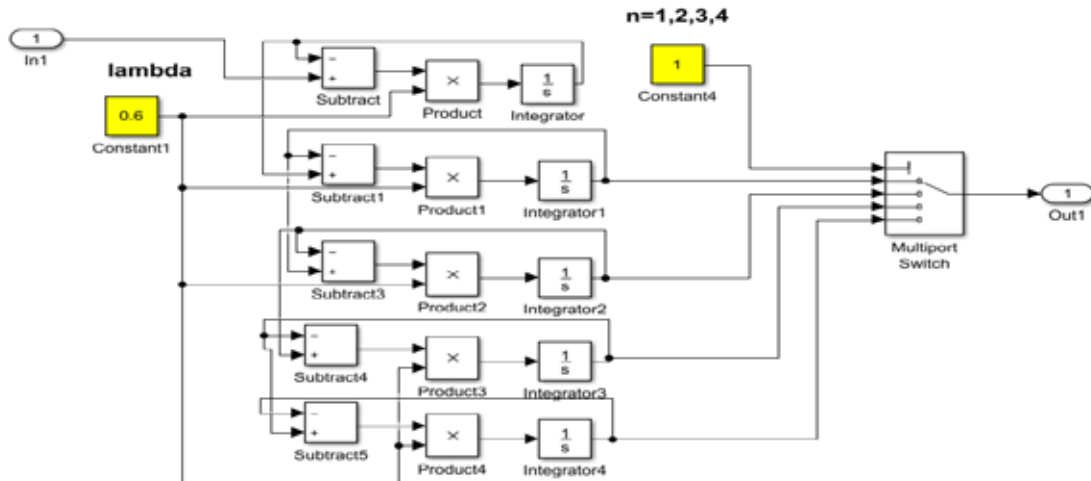


Рис. 2. Блок формирования реализации инвестиций

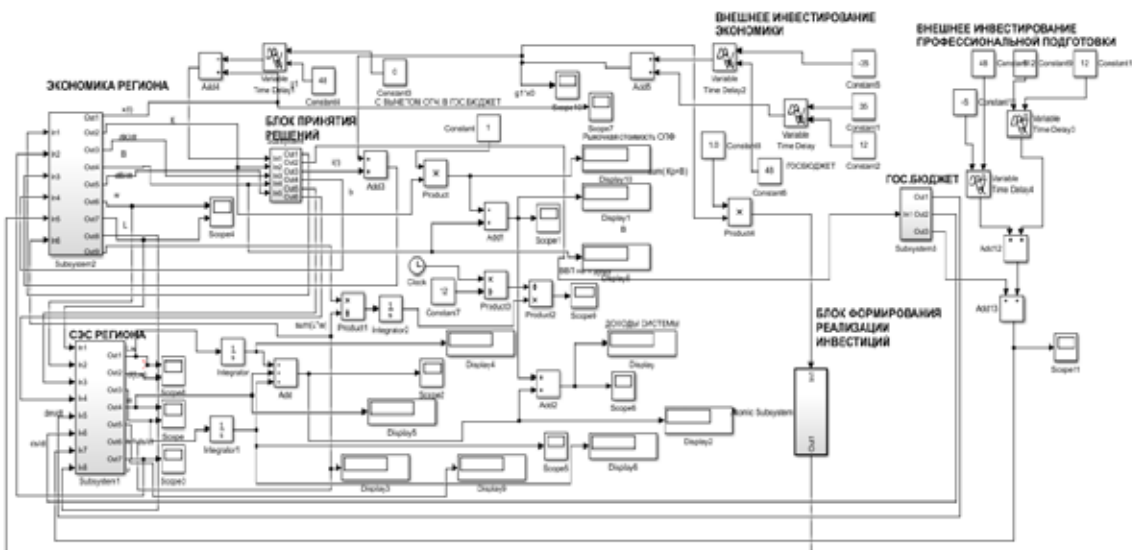


Рис. 3. Головной модуль системно-динамической модели региона

тия сбалансированных решений о распределении доходов и инвестиций в регионе и подсистема госбюджетных ресурсов, связанная с экономической подсистемой региона регуляторными действиями, потоками налогов и инвестиций, а также с социальной подсистемой, с которой она связана регуляторными действиями, социальными финансовыми потоками и бюджетными инвестициями в регион.

Анализ и оценка адекватности модели была проведена на базе статистических данных по Луганской области за 2015 г. [7]. В табл. 1 приведены для сравнения фактические и расчетные данные, откуда можно сделать вывод, что средняя погрешность составляет величину меньше 5% (4,85%), и это свидетельствует об удовлетворительном согласии модельных и фактических данных на исследуемом интервале времени.

Однако результаты также показали, что помесячная динамика экономических и социальных показателей имеет негативную тенденцию (рис. 4, 5). Здесь же можно отметить, что сравнение экономических и социальных показателей Луганской области с соседними регионами демонстрирует критическое отставание (табл. 2) [7], что свидетельствует о том, что некогда промышленно-аграрный регион с достаточно высоким уровнем социально-экономического развития, все больше приближается по типу к аграрным регионам с низ-

кими социально-экономическими показателями и находится в кризисном состоянии.

Таким образом, актуальной является задача поиска возможных путей решения сложившейся ситуации в регионе. В связи с этим было рассмотрено два сценария развития на основе данных 2015 г. и фактических данных по государственному бюджетному финансированию региона в 2016–2018 гг. с инвестированием экономики начиная с 2016 г. Выбор данного подхода со стартовым 2015 г. был сделан исходя из того, что на период 2016–2018 гг. уже известны регуляторные действия правительства в отношении минимальных зарплат, социальных выплат, оплаты коммунальных услуг и объемов финансирования региона, что немало важно, как и подтвердили результаты, для расчета экономических и социальных показателей.

Первый сценарий предполагает прямое инвестирование в существующую структуру экономики с неизменным характером технологий, определяющим эффективность регионального производства, в объемах 100 млн. грн. в месяц. Для параметров реализации инвестиций приняты значения: средний срок $m = 18$ месяцев и $\sigma = 24$ месяца, что наиболее характерно для нынешней структуры управления. Расчеты показали, что простое «вливание» средств в существующие технологии и экономические структуры управления

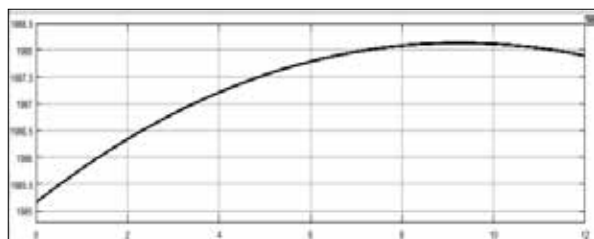


Рис. 4. Помесячная динамика экономике ВРП (млн. грн.) в 2015 г.

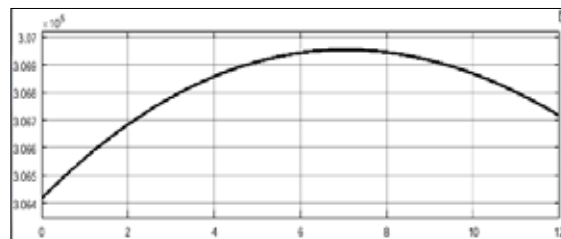


Рис. 5. Численность занятых в 2015 р. помесячно (сотен тыс. чел.)

Таблица 1

Базовые социально-экономические показатели развития региона (по данным 2015 г.)

Показатели	Исходные данные	Расчетные данные
Экономические показатели		
Валовый региональный продукт, млн. грн.	23949	23850
ВРП на 1 чел., тыс. грн.	10,78	10,91
Основные средства, млн. грн.	27565	27680
Объем коммунальных выплат, млн. грн.	62,3	61,8
Налоговые поступления в региональный бюджет, млн. грн.	415	435,5
Производительность труда, тыс. грн./год	82	77,73
Социальные показатели		
Численность населения, тис. чел.	2205	2172
Численность занятых в экономике, тыс. чел.	306,3	306,7
Коэффициент оборачиваемости кадров, %	30,8	29,2
Среднемесячная зарплата, грн.	3427	3490
Доходы на 1 чел./месяц, грн.	1240,21	1243

не приводит к положительным сдвигам. К концу 2018 г. по отношению к 2016 г. снижение темпов ВРП составит 1,3% (рис. 6), число занятых в экономике – 3,4%, доход до налогообложения (рис. 7) опустится с -30 до -280 млн. грн. в месяц (по факту в 2016 г. без инвестиций эта цифра составляла -2 104 млн. грн. в месяц). Положительная тенденция ВРП на одного работника является очевидным следствием снижения числа занятых в экономике.

Для второго сценария избрана стратегия целевых инвестиций на развитие современных инновационных технологий и производств, подкрепленных инвестициями в профессиональную подготовку исполнительских и управленческих кадров. Выполнены расчеты двух вариантов: 1-й – для $m = 4$ месяца и $\sigma = 5$ месяцев, 2-й –

для $m = 18$ месяцев, $\sigma = 24$ месяца и потери от неэффективного использования ресурсов 10%.

Как показали расчеты по первому варианту, темпы инвестиций в 25 млн. грн в месяц на развитие экономической составляющей и 5 млн. грн. на целевую профессиональную подготовку специалистов обеспечивают стабилизацию ситуации, а дополнительные 10 млн. грн. в экономику дают региону устойчивую положительную динамику во всех аспектах.

Результаты расчетов динамики основных средств и доходов до налогообложения представлены на рис. 8–9, откуда видно, что положительная тенденция в росте темпов ВРП сопровождается положительным сальдо дохода до налогообложения и составляет 150–250 млн. грн. (колебания связаны с регуляторными действиями правитель-

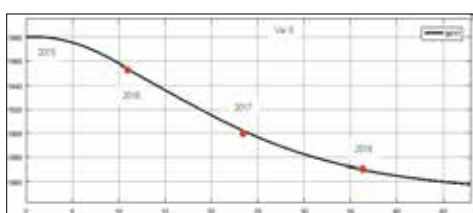


Рис. 6. Динамика ВРП

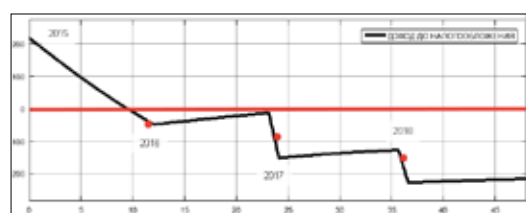


Рис. 7. Динамика доходов до налогообложения

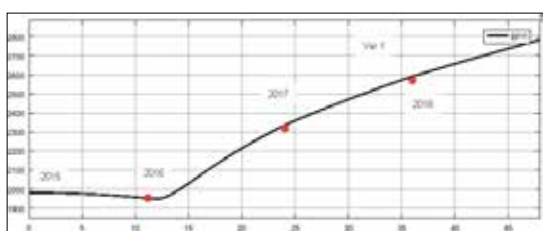


Рис. 8. Динамика основных средств, млн. грн.

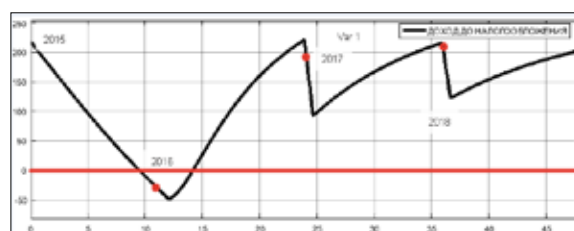


Рис. 9. Динамика дохода до налогообложения, млн. грн.

Таблица 2

Социально-экономические показатели развития восточных регионов Украины

Регион	2015	2016
ВРП на душу населения, грн.		
Украина	46413,00	47770,40
Донецкая обл.	26864,00	27587,33
Луганская обл.	10778,00	13623,10
Харьковская обл.	45816,00	47927,87
Доход на 1 человека, грн.		
Украина	2587,03	2967,51
Донецкая обл.	1716,28	1619,53
Луганская обл.	1240,21	993,31
Харьковская обл.	2621,59	3047,31
Среднемесячная заработная плата, грн.		
Украина	4195,00	5183,00
Донецкая обл.	4980,00	5989,00
Луганская обл.	3427,00	4637,00
Харьковская обл.	3697,00	4448,00

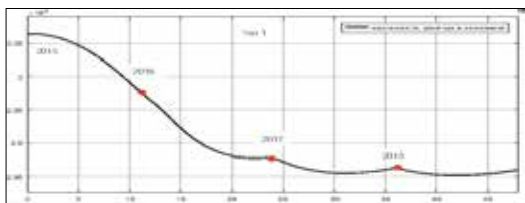


Рис. 10. Численность занятых в экономике



Рис. 11. ВРП на одного работника, млн. грн.

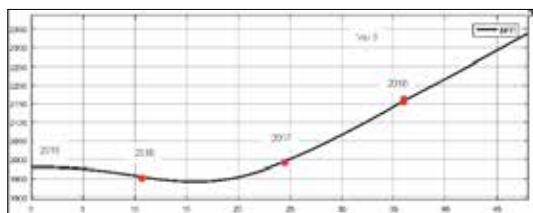


Рис. 12. Динамика основных средств, млн. грн.

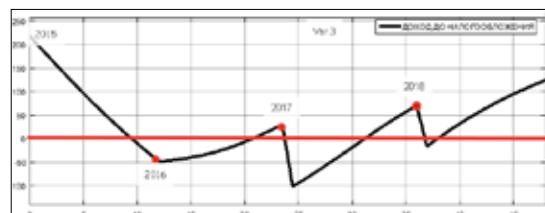


Рис. 13. Динамика дохода до налогообложения, млн. грн.

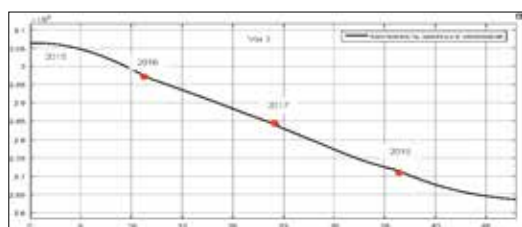


Рис. 14. Численность занятых в экономике

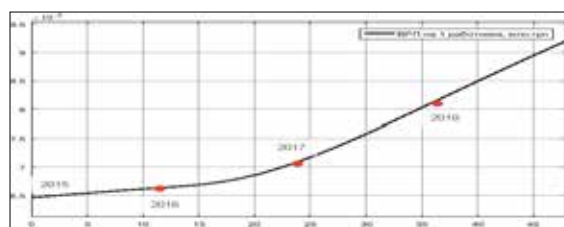


Рис. 15. ВРП на одного работника, млн. грн.

ства), а также приростом в производительности труда (рис. 11). В социальной сфере региона наблюдается стабилизация и начало подъема занятости в экономической сфере (рис. 10), что может служить региону в повышении его профессионального и научно-технического потенциала.

Для второго варианта, который соответствует нынешней системе эффективности менеджмента и исполнительности кадров, результаты приведены на рис. 12–15. Расчеты показывают существенное снижение показателей по сравнению с вариантом 1: основных средств – на 19,7%, доход до налогообложения – на 75%, численность занятых в экономике – на 8,6% и отсутствует тенденция к стабилизации, производительность – на 6,5%. Из этого следует, что состояние экономики и системы управления региона находится в критическом состоянии.

Выводы из проведенного исследования. Таким образом, можно утверждать, что для рассматриваемого региона с существующей структурой экономики и управления инвестирование в нее ресурсов по первому сценарию бесперспективно и ведет к очевидным финансовым потерям и отсутствию положительных тенденций к стабилизации. Результаты расчетов показывают, что для Луганской области перспективным является именно первый вариант второго сценария, который требует качественной перестройки

технологий, эффективного производственного и финансового менеджмента, прозрачности системы экономических отношений, сбалансирования рынка труда и инвестиций в человеческий капитал.

Из всего вышесказанного следует, что реальный результат стабилизации и подъема в экономической и социальной сферах региона может быть достигнут только при жестком контроле и профессиональном менеджменте эффективных преобразований.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Реутов В.Є. Сценарне моделювання регіонального розвитку. Інвестиції: практика та досвід. 2010. № 5. С. 29–35.
2. Дума Л.В. Імітаційне моделювання прогнозування соціально-економічного розвитку регіонів України в умовах нестационарності. Науковий вісник НЛТУ України. Серія «Економіка». 2017. Вип. 27. № 2. С. 174–177.
3. Істомін Л.Ф. Імітаційне моделювання функціонування та управління виробничою системою. Вісник СНУ ім. В. Даля. 2017. № 6 (267). С. 119–124.
4. Істомін Л.Ф. Динамічна імітаційна модель взаємодії виробника і регіона. Розвиток суб'єктів господарювання України: сучасні реалії та перспективи: колективна монографія; за заг. ред. Л.М. Бандоріної, Л.М. Савчук. Дніпро: Пороги, 2017. С. 125–139.

5. Цисарь И.Ф. MATLAB Simulink. Компьютерное моделирование экономики. М.: СОЛОН – Пресс, 2013. 256 с.

6. Истомин Л.Ф. Моделирование динамических распределенных во времени экономических процессов. Стратегічні напрями економічної та соціальної політики у ринкових умовах: збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції (Київ, 10 березня 2018 р.). К.: Київський економічний науковий центр, 2018. С. 95–99.

7. Статистичний щорічник «Регіони України» 2017. Ч. I / За ред. І.Є. Вернера. К.: Державна служба статистики України, 2017. 323 с.

REFERENCES:

1. Reutov V. Ye. (2010) Stsenarne modeliuвання regionalnoho rozvytku [Scenario modeling of regional development] / V. Ye. Reutov // Investytsii: praktyka ta dosvid – № 5. – pp. 29-35. (in Ukrainian)

2. Duma L. V. (2017) Imitatsiine modeliuвання prohozuvannya sotsialno-ekonomichnoho rozvytku rehioniv Ukrainy v umovakh nestatsionarnosti [Simulation for forecasting of socio-economic development of regions of Ukraine in conditions of uncertainty] / Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. Seriya: ekonomika – vol. 27, № 2 – pp. 174-177. (in Ukrainian)

3. Istomin L.F. (2017) Imitatsiine modeliuвання funktsionuvannya ta upravlinnia vyrobnychoiu systemoiu

[Simulation of the functioning and management for the production system] // Visnyk SNU im.V. Dalia, № 6 (267), pp. 119-124. (in Ukrainian)

4. Istomin L.F. (2017) Dinamicheskaya imitatsionnaya model' vzaimodeystviya proizvoditelya i regiona. [Dynamic simulation model of interaction between producer and region] // Rozvytok subyektiv hospodaryuvannya Ukrainy: suchasni realii ta perspektyvy [The development of business entities in Ukraine: current realities and prospects.]: kolektyvna monografiya / za zah. red. L.M. Bandorinoyi, L.M. Savchuk. – Dnipro: Porohy, pp. 125-139 (in Russian)

5. TSisar' I.F. (2013) MATLAB Simulink. Komp'yuternoye modelirovaniye ekonomiki. [MATLAB Simulink. Computer modeling of the economy] M.: SOLON – Press. – 256 p. (in Russian)

6. Istomin L.F. (2018) Modelirovaniye dinamicheskikh raspredelennykh vo vremeni ekonomicheskikh protsessov [Modeling of dynamic time-distributed economic processes]. // Stratehichni napryamy ekonomichnoyi ta sotsialnoyi polityky u rynkovykh umovakh: Proceedings of the Vseukrainskoi naukovy-praktychnoi konferentsii Stratehichni napryamy ekonomichnoyi ta sotsialnoyi polityky u rynkovykh umovakh, (m.Kyiv, 10 bereznya 2018 r.). – K.: HO "Kyivskiy ekonomichny naukovy tsestr", pp. 95-99. (in Russian)

7. Statystychnyi shchorichnyk "Rehiony Ukrainy" 2017. (2018) [Statistical Yearbook "Regions of Ukraine" 2017], Part I / za red. I. Ye. Vernera – K.: Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy, 2017. – 323 p. (in Ukrainian)

Istomin L.F.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Senior Lecturer at Department of Economics and Entrepreneurship
Volodymyr Dahl East Ukrainian National University

SIMULATION OF DEVELOPMENT OF REGIONAL SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS

The Ukrainian economy is experiencing today a period of another crisis and the influence of many external and internal factors. Therefore, analysis and search for possible ways to overcome the social and economic situation in the regions is an actual task. This problem is especially topical for the eastern regions of Ukraine, which are in the most difficult economic situation. The computer-based economic and mathematical modelling provided by adequate models of the interaction of system elements can indicate as a result the necessary ways for the achievement of a sustainable region socio-economic development.

Based on the presented economic-mathematical models a set of subsystems for simulating the evolution of the socio-economic system REGION in the MATLAB Simulink package was developed. To analyse and assess the adequacy of the behaviour of the presented simulation dynamic model, the data for Luhansk region in 2015 was used. Comparison of actual and calculated data showed that the average error is less than 5% (4.85%), which indicates a satisfactory agreement between model and real data in the time interval under study.

As the next step, two development scenarios with an investment of the economy since 2016 based on 2015 data and actual data on the state budget financing of the region in 2016–2018 and regulatory actions of the government were considered.

The first scenario involves direct investment in the existing structure of the economy with an unchanged type of technology and management that determines the efficiency of regional production in the amount of 100 million UAH per month. The second scenario, which was implemented in the model, consists in targeted investments for the development of modern innovative technologies and industries (35 million UAH per month), backed by investments in special professional training of specialists and management personnel (5 million UAH per month).

The results of the calculations had demonstrated that for the region under consideration, with the existing structure of the economy and management, investing resources in it under the first scenario is not perspective and leads to obvious financial losses and social collapse. The second scenario (with total costs 2.5 times less) ensures sustainable growth of both economic and social indicators in the region.