

В. И. Гурман, Е. А. Трушкова, О. В. Фесько

Программный комплекс для сценарного анализа инновационных стратегий развития региона

Аннотация. В статье рассматривается дальнейшее развитие программного комплекса, предназначенного для проведения расчетов с социо-эколого-экономической моделью развития региона. Комплекс программ дополнен новым расчетным модулем, который отвечает за прямые расчеты с учетом текущих инновационных процессов. Описывается созданный на базе комплекса пользовательский интерфейс, необходимый для проведения многовариантных сценарных расчетов.

Ключевые слова и фразы: социо-эколого-экономическая модель, оптимальное управление, инновации, компьютерная программа, графический интерфейс.

Введение

В 2010 году в ИПС имени А.К. Айламазяна РАН был создан ПК DSEEmodel 1.0 (Dynamic Socio-Ecologo-Economical model — «динамическая социо-эколого-экономическая модель»), обеспечивающий компьютерную поддержку вычислений для социо-эколого-экономической модели развития региона, являющейся одной из версий модели, представленной в [1]. Она не могла быть ранее реализована в полном объеме на обычных компьютерах, даже самых современных. Для практических вычислений требовались различные упрощающие допущения и высокая степень агрегирования. Появление доступных суперкомпьютеров открыло здесь новые возможности, которые были продемонстрированы в [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке РГНФ (проект № 11-02-00171) и РФФИ (проекты № 10-06-00081 и № 12-01-00256-а).

Комплекс программ DSEEmodel 1.0 предназначен для проведения расчетов с социо-эколого-экономической моделью развития региона и может применяться в междисциплинарных исследованиях: для прямых (прогнозных) расчетов; моделирования неопределенностей; выбора начальных управляющих воздействий, улучшения и синтеза начального управления.

В связи с большими объемами входных данных, разнообразием введенных обозначений и потенциально широким кругом пользователей стал актуален вопрос разработки простого графического интерфейса, который был бы удобен для проведения многовариантных расчетов, связанных с разработкой стратегии устойчивого развития региона. Такой интерфейс был разработан применительно к версии программного комплекса социо-эколого-экономической модели [1], созданного на базе ПК DSEEmodel 1.0 с исполняемыми модулями, реализующими различные расчеты, в том числе с учетом инновационных процессов. Управление предполагается генерировать с использованием приближенно-оптимальных магистральных решений специальными методами теории вырожденных задач [3], [4]. Подобные расчеты должны быть серийными для содержательного анализа многочисленных сценариев развития региона, что как раз и является целью моделирования столь сложной системы как регион. В связи с этим наличие удобного графического интерфейса имеет особо важное значение.

В данной статье описывается созданный интерфейс и приводятся результаты серии тестовых сценарных расчетов с его использованием.

1. Описание математической модели

Концепция рассматриваемой модели трактует регион как открытую систему, разделенную условно на три взаимодействующих подсистемы: экономическую, природную и социальную [1]. Экономическая подсистема включает традиционные производственный и непроизводственный секторы, и нетрадиционные виды деятельности, направленные на восстановление или улучшение в определенном смысле состояния природной и социальной подсистем. Динамика природной и социальной подсистем описывается однотипно. Инновации учитываются через видоизменение созданной ранее региональной модели путем дополнения ее специальным блоком, описывающим инновационные процессы. При этом понятие «инновация» трактуется формально как любое целенаправленное изменение параметров

исходной модели, которые прежде рассматривались как константы. Число параметров исходной модели, как правило, достаточно велико, что приводит к необходимости их агрегированного представления путем введения некоторых инновационных индексов.

Для рассматриваемой серии экспериментов использовалась версия модели [1] с выделенными агрегированными группами параметров, которая описывается следующими соотношениями:

$$\begin{aligned}
 (1) \quad & c = \left(E - A(1 + \theta^1) \right) y - B(1 + \theta^2) u - A^z(1 + \theta^3) z - B^z(1 + \theta^4) u^z - \\
 & \quad - A^d(1 + \theta^5) d - B^d(1 + \theta^6) u^d, \\
 (2) \quad & \dot{r} = N(1 + \theta^7) (r - \bar{r}) - C(1 + \theta^8) y + C^z z + im^r - ex^r, \\
 & \quad r_{\min} \leq r \leq r_{\max}, \\
 (3) \quad & \dot{k} = u - [\delta]k, \quad \dot{k}^z = u^z - [\delta^z]k^z, \quad \dot{k}^d = u^d - [\delta^d]k^d, \\
 (4) \quad & y_{\min} \leq y \leq [\beta](1 + \theta^{11})k, \quad 0 \leq z \leq [\beta^z](1 + \theta^{12})k^z, \\
 & 0 \leq d \leq [\beta^d](1 + \theta^{13})k^d, \quad u \geq 0, \quad u^z \geq 0, \quad u^d \geq 0, \\
 (5) \quad & \dot{\theta} = -([d] + H)(\theta - \bar{\theta}), \\
 (6) \quad & \dot{\Pi} = \left((1 - l)p^T c - l(r - \bar{r})^2 \right) e^{-\rho t}, \quad 0 \leq l \leq 1.
 \end{aligned}$$

Здесь в качестве переменных состояния выступают векторы $k \in \mathbb{R}^{n_1}$, $k^z \in \mathbb{R}^{n_2}$, $k^d \in \mathbb{R}^{n_3}$ — основные фонды в экономическом, природо-социо-восстановительном и инновационном секторах,

$r \in \mathbb{R}^{n_1}$ — индексы состояния природной среды и социума,

$\theta \in \mathbb{R}^{13}$ — инновационные индексы (агрегированное описание изменения за счет инноваций элементов матрицы), при этом $\theta(t_I) = 0$, $-1 \leq \bar{\theta} \leq 0$ задано (если $\bar{\theta}^i = 0$, то $\theta(t) \equiv 0$ и соответствующая матрица $M(1 + \theta^i)$ не меняется во времени),

$\Pi \in \mathbb{R}$ — благосостояние: накопленный доход за вычетом штрафа за нарушение ограничений.

Переменными управления служат векторы

y, z, d — выпуски продукции по отраслям, активное природо-социо-восстановление, активные инновации,

u, u^z, u^d — инвестиции в экономическом, природо-социо-восстановительном и инновационном секторах.

Остальные величины, входящие в модель (1)–(6):

c — конечное потребление;

$\delta, \delta^z, \delta^d$ — темпы амортизации в экономическом, природо-социально-восстановительном и инновационном секторах;

p — цены;

$\bar{r}$ — заданная функция (опорная), например получаемая из статистического прогноза;

im^r, ex^r — миграционные потоки загрязнений и ресурсов;

A^z, A^d — прямые затраты в природо-социально-восстановительном и инновационном секторах;

B, B^z, B^d — фондообразующие затраты в указанных секторах;

N — коэффициенты взаимовлияния компонентов природной и социальной подсистем;

H — матрица, отражающая диффузию инноваций;

$r_{\min}, r_{\max}$ — минимально и максимально допустимые индексы состояния природной среды и социума;

$y_{\min}$ — минимально допустимые выпуски продукции по отраслям.

Данная модель может трактоваться как непрерывная, так и дискретная по времени. Точкой сверху в непрерывном варианте обозначаются производные по времени (так $\dot{k} = \frac{dk}{dt}$ и т.д.), а в дискретном — конечные разности ($\dot{k} = \frac{k(t+h)-k(t)}{h}$ и т.д.), где h — временной шаг, который удобно задавать равным единице времени (типично — году), $h = 1$. Все величины в правых частях уравнений и в конечных соотношениях берутся в момент t .

Здесь предлагается достаточно очевидный критерий оптимальности: на заданном отрезке времени $[t_I, t_F]$ (период, горизонт планирования) максимизировать величину $\Pi(t_F)$ (функционал благосостояния) при заданных ограничениях и заданном состоянии в начале периода: $\Pi(t_I) = 0$, $k(t_I) = k_I$, $k^z(t_I) = k_I^z$, $k^d(t_I) = k_I^d$, $r(t_I) = r_I$, $\theta(t_I) = 0$.

2. Сценарный анализ

Модель региона создавалась для проведения достаточно широкой серии вычислительных экспериментов при участии экспертов и руководителей-практиков, чтобы иметь возможность выбора обоснованной стратегии развития или некоторого рекомендуемого набора таких стратегий для лиц или органов, принимающих реальные

решения с практической пользой для регионов в условиях неопределенности. При этом сравниваемые модельные эксперименты должны быть достаточно «смелыми» и качественно различимыми.

Источниками разнообразных содержательных сценариев могут быть подходы к решению существующих проблем; изначальные идеи, концепции развития; отдельные крупные проекты; упрощения и условности в модели; неопределенность внешних факторов и критериев; практически значимые аппроксимации и интерпретации идеализированных оптимальных решений.

Формальный сценарий — понятие, непосредственно связанное с математической моделью. Под этим подразумевается любая заданная комбинация входов. Источниками разнообразных формальных сценариев могут выступать: «перевод» содержательных сценариев на язык модели (при этом одному и тому же содержательному сценарию могут отвечать различные интерпретации, т. е. различные формальные сценарии), анализ чувствительности модели и оптимальных решений к параметрам и неопределенностям, что позволяет выявить, с одной стороны, группу наиболее значимых параметров, в отношении которых требования к эмпирическим данным должны быть особенно жесткими, а с другой — возможные несущественные компоненты и связи, игнорирование которых позволяет упростить модель или ее информационное наполнение.

Разумеется, оптимизация программ и законов управления позволяет радикально сократить огромное число возможных альтернатив (теоретически бесконечное), и эту операцию следует рассматривать как продолжение процесса моделирования. Тем не менее, обилие разнообразных внешних факторов и неопределенностей делает неизбежным формирование и анализ разнообразных вариантов.

Все это предъявляет высокие требования к создаваемому компьютерному инструментарию, который позволил бы реально проводить многовариантные прогнозные и сценарные расчеты.

3. Графический интерфейс

Разработанный интерфейс реализован на языке Visual C++ на платформе .Net, поддерживает следующие типы расчетов: прямой расчет с учетом инноваций, сценарный анализ, поиск магистрального решения, последовательное улучшение управления с использованием приближенного магистрального решения как начального приближения.

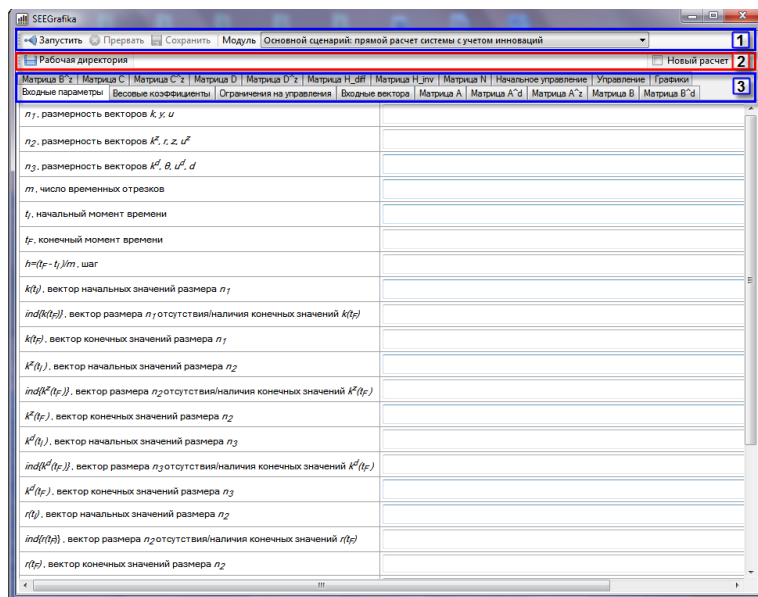


Рис. 1. Интерфейс к DSEEmodel

Для проведения многовариантных расчетов, связанных с разработкой стратегии устойчивого развития региона, необходимо установить на рабочий компьютер программу *SEEGrafiKa*, запустив файл *SEEGrafiKa.exe*. В процессе установки необходимо выбрать папку назначения, в которой будет располагаться программа с входными данными и программными модулями. По окончании процесса установки предлагается запустить графический интерфейс.

Вызов графического интерфейса производится через меню «Пуск» или с помощью двойного щелчка по ярлыку программы, расположенному на «Рабочем столе» пользователя. При запуске программы становится доступна его базовая форма (рис. 1).

На рис. 1 представлены три области:

- область 1, содержащая инструменты запуска и прерывания счета, средства сохранения входных параметров в файлы и выбора вида расчета;
- область 2 диалогового выбора рабочей директории, в которой могут быть расположены входные данные;

n_1 , размерность векторов k, u, i	3
n_2 , размерность векторов k^2, i, z, u^2	4
n_3 , размерность векторов k^2, i, z, u^2, d	13
m , число временных отрезков	15
t_1 , начальный момент времени	0
t_f , конечный момент времени	15
$h=(t_f - t_1)/m$, шаг	1
$k(t_1)$, вектор начальных значений размера n_1	211 251 37.3
$ind(k(t_1))$, вектор размера n_1 отсутствия/наличия конечных значений $k(t_1)$	1 0 1
$k(t_f)$, вектор конечных значений размера n_1	106 126 19
$k^2(t_1)$, вектор начальных значений размера n_2	4 12 0.15 8.5
$ind(k^2(t_1))$, вектор размера n_2 отсутствия/наличия конечных значений $k^2(t_1)$	1 1 1 1
$k^2(t_f)$, вектор конечных значений размера n_2	3 3 0.05 2
$k^2(t_1)$, вектор начальных значений размера n_3	1 2 1 1 2 1 1 2 1 1 1 2
$ind(k^2(t_1))$, вектор размера n_3 отсутствия/наличия конечных значений $k^2(t_1)$	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
$k^2(t_f)$, вектор конечных значений размера n_3	1 2 1 1 2 1 1 2 1 1 1 2
$rt(t_1)$, вектор начальных значений размера n_2	5755 0.8 69.5 0.44
$ind(rt(t_1))$, вектор размера n_2 отсутствия/наличия конечных значений $rt(t_1)$	0 0 0 0
$rt(t_f)$, вектор конечных значений размера n_2	5840 0.87 77.0 76

Рис. 2. Входные параметры успешно загружены

- область 3, отвечающая за выбор вкладок, предназначенных для ввода входных данных и построения графиков по результатам проведенных расчетов.

В области 1 пользователь может выбрать следующие типы расчетов: «Основной сценарий: прямой расчет системы с учетом инноваций», «Основной сценарий: прямой расчет системы без учета инноваций» (программа поиска решения при задании всех входных величин), «Выбор начальных приближений» (программа поиска магистральных решений, характерных для данной модели, как приближенных глобально оптимальных, которые можно выбирать в качестве начальных приближений для последующего итерационного уточнения), «Последовательное улучшение» (программа, реализующая итерационное улучшение приближенных решений).

Если при выборе рабочего каталога в области 2 пользователь указал корректно сформированные входные данные (файлы), то во всех вкладках текстовые поля будут автоматически заполнены, как показано на рис. 2. Если пользователь намерен посчитать новую

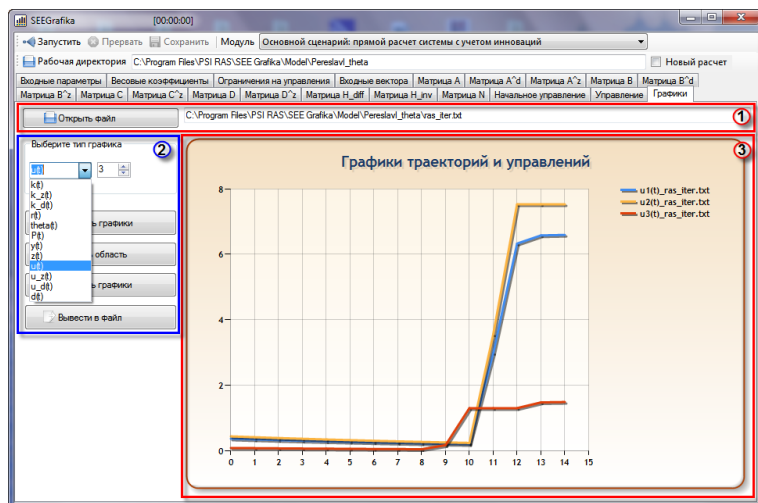


Рис. 3. Выбор типа графика

задачу, то необходимо отметить флажок «Новый расчет», после чего выбрать рабочую директорию. Далее пользователь заполняет текстовые поля самостоятельно.

После того как входные параметры задачи заданы и выбран расчетный модуль, необходимо нажать на кнопку «Запустить», произойдет проверка на корректность входных данных. Если текстовые поля заполнены неверно, то появится соответствующий сигнал, переместив пользователя на проблемную вкладку. Если данные корректны, запустится расчет. По окончании процесса программа оповестит пользователя и автоматически перекинет его на вкладку «Графики».

На вкладке «Графики» (рис. 3) пользователю потребуется через диалоговое окно (кнопка «Открыть файл») выбрать файл с результатами расчета, указать тип графика (траектория или управление) и его номер. На этом рисунке выделены поля:

- поле 1, содержащее инструмент загрузки файла для построения графиков;
- поле 2, содержащее выпадающий список названий траекторий и управлений данной задачи, которые требуется построить,

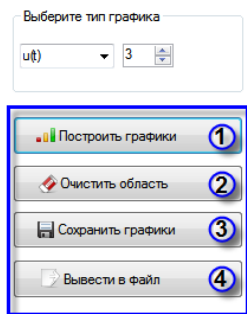


Рис. 4. Элементы управления

а также поле выбора номера траектории/управления данной задачи, которые требуется построить;

- поле 3, в котором генерируются графики после нажатия на кнопку «Построить графики».

На рис. 4 представлена часть формы, содержащая следующие элементы управления:

- кнопка 1, после нажатия которой происходит построение выбранных графиков;
- кнопка 2, при нажатии на которую очищается область построения графиков;
- кнопка 3, отвечающая за вызов диалогового окна для сохранения нанесенных графиков в графический формат;
- кнопка 4, отвечающая за вызов диалогового окна для сохранения выбранного графика в текстовый формат.

Подробное описание содержится в разработанном руководстве пользователя [5].

4. Тестовые расчеты с базовым набором информации для модели Байкальского региона

Были проведены тестовые сценарные расчеты для конкретной модели Байкальского региона при $\theta(0) = 0$, $\rho = 0$, $l = 0.0001$, $C^z = E$, $H = 0.01E$. Набор остальных начальных данных и значения параметров для модели представлены в таблице 1. Управления u, u^z, u^d задавались так, чтобы k, k^z, k^d были константами из условий

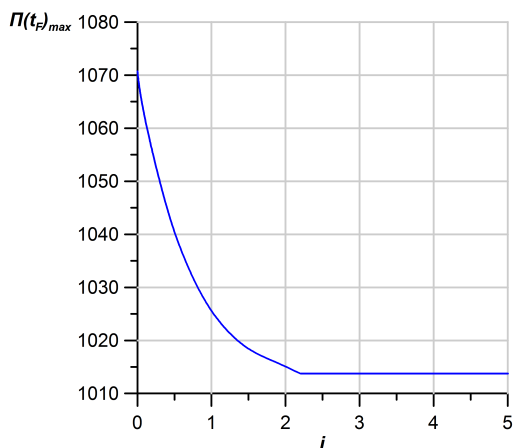


Рис. 5. Зависимость $\Pi(t_F)_{\max}$ от инновационных затрат $A^d = iA_0^d$

Управление инновациями d представлено в режиме переключения с максимального значения на ноль в разные моменты времени по вариантам: $A^d = iA_0^d$, где $i = 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5$. Как показывает анализ магистральных решений [3], при указанных условиях такие программы управления являются приблизительно оптимальными, определяемыми моментом переключения, при котором значение $\Pi(t_F)$ достигает максимума.

На рис. 5 изображен график, демонстрирующий влияние матрицы прямых затрат в инновационном секторе на значение функционала благосостояния. Он дает представление о предельных значениях инновационных затрат, выше которых инвестиции экономически невыгодны.

На рис. 6, 7, 8 приведены программы управлений и соответствующие им изменения инновационных индексов при $A^d = iA_0^d$.

Заключение

В целом проведенные исследования показывают, что предложенная версия ПК с пользовательским интерфейсом принципиально позволяет выполнять многовариантные сценарные расчеты с графическим представлением выходов как некоторых стратегий развития на заданном отрезке времени.

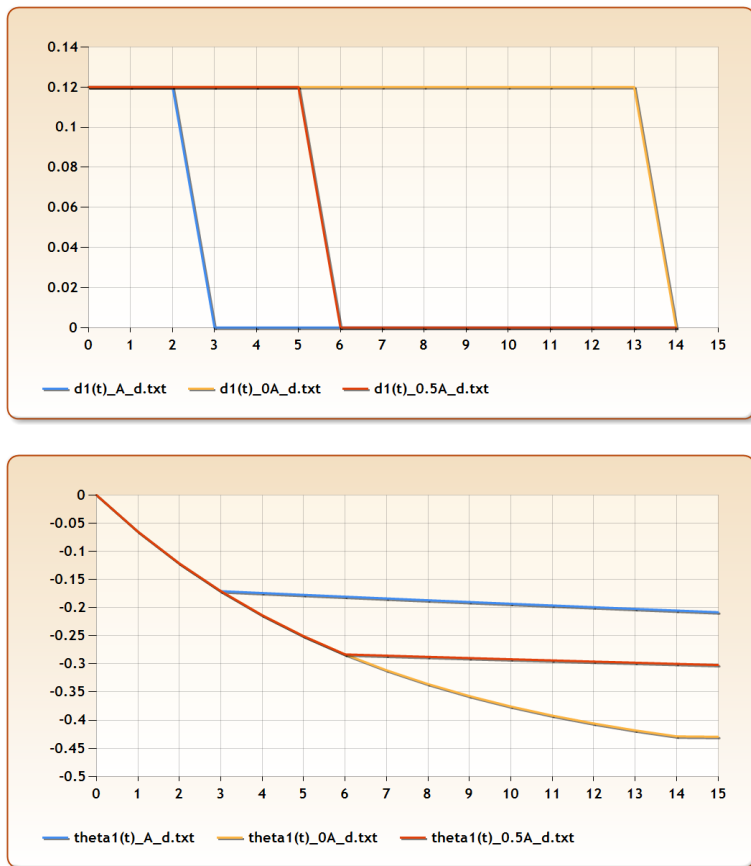


Рис. 6. Программы управления d_1 и изменения инновационных индексов θ_1

Одновременно выявились и некоторые проблемы, что неизбежно при междисциплинарных взаимодействиях и фокусируется как раз на интерфейсе. А именно, представление табличных данных как входных, так и выходных в форме простых текстовых файлов существенно замедляет анализ сценариев. Намечены подходы к решению этой проблемы: выделение дополнительных полей для нумерации компонент векторов и матриц, объединение именных файлов и др.

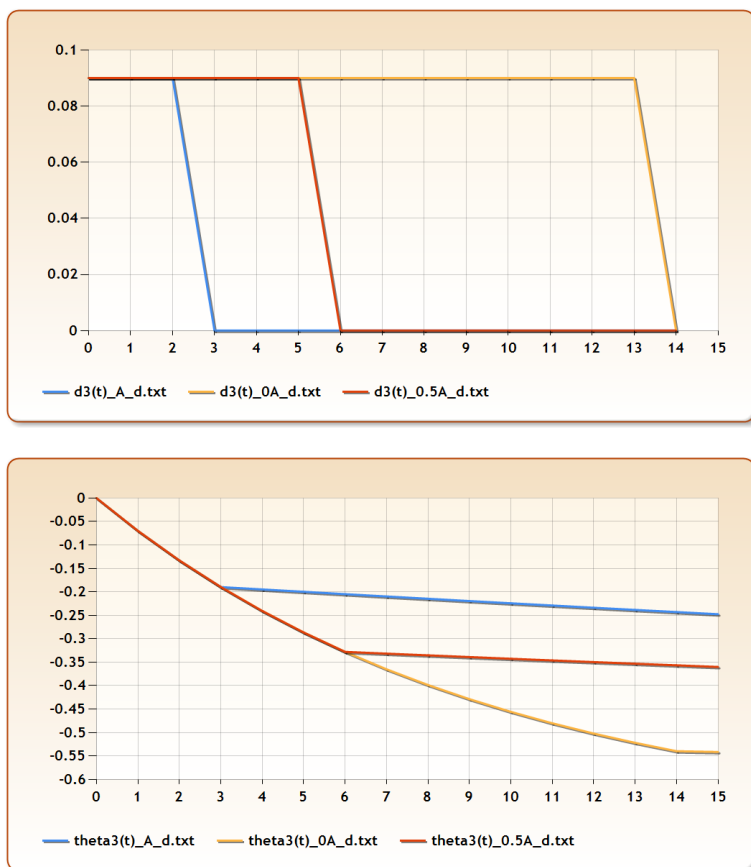


Рис. 7. Программы управления d_3 и изменения инновационных индексов θ_3

технические решения, позволяющие приблизить свойства инструментария к требованиям практических пользователей и тем самым резко повысить его эффективность при проведении реальных многовариантных расчетов по исследованию инновационной стратегии устойчивого развития региона.

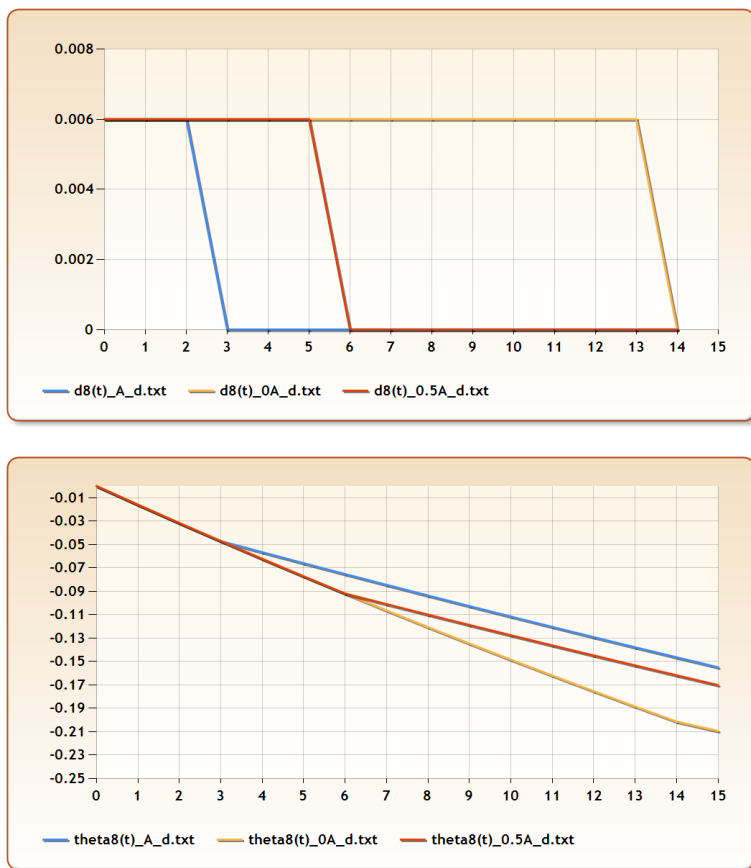


Рис. 8. Программы управления d_8 и изменения инновационных индексов θ_8

Список литературы

- [1] Гурман В. И., Рюмина Е. В. (ред.) Моделирование социо-эколого-экономической системы региона. Москва : Наука, 2001. — 175 с. ↑[1](#)
- [2] Гурман В. И., Матвеев Г. А., Трушкова Е. А. *Социо-эколого-экономическая модель региона в параллельных вычислениях* // Управление большими системами. — Москва, 2011, № 32, с.109–130 ↑[1](#)
- [3] Расина И. В., Блинов А. О. *Улучшение импульсных процессов на основе*

дискретно-непрерывной модели // Вестник БГУ. Серия Математика, информатика. — Улан-Удэ, 2012, № 1, с. 42–51 ↑[\[\]](#), [4](#)

- [4] Гурман В. И. Вырожденные задачи оптимального управления. Москва : Наука, 1977. ↑[\[\]](#)
- [5] Руководство пользователя интерфейса SEEGrafika, 2012, <http://sctrl.botik.ru/manual.doc>. ↑[3](#)

Рекомендовал к публикации

Программный комитет Молодёжной школы-семинара

Модели и методы исследования гетерогенных систем

Об авторах:

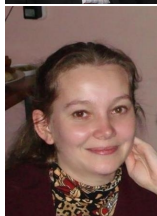


Владимир Иосифович Гурман

д.т.н., профессор, г.н.с. ИЦСА ИПС им. А.К. Айламазяна РАН

e-mail:

vig70@mail.ru

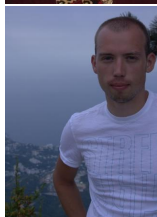


Екатерина Александровна Трушкова

к.ф.-м.н., с.н.с. ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН

e-mail:

katerinatr@mail.ru



Олесь Владимирович Фесько

аспирант ИЦСА ИПС им. А.К. Айламазяна РАН

e-mail:

fov@pereslavl.ru

Образец ссылки на эту публикацию:

В. И. Гурман, Е. А. Трушкова, О. В. Фесько. Программный комплекс для сценарного анализа инновационных стратегий развития региона // Программные системы: теория и приложения : электрон. научн. журн. 2012. Т. 3, № 5(14), с. 7–22.

URL:

http://psta.psiras.ru/read/psta2012_5_7-22.pdf

V. I. Gurman, E. A. Trushkova, O. V. Fesko. *Software package for optimization of regional development strategy in respect of innovations.*

ABSTRACT. In this paper the evolution of the DSEEmodel 1.0 software package is considered. The complex of programs extended with a new module that is aimed at scenario computations in respect of innovations. The graphical user interface based on DSEEmodel is introduced.

Key Words and Phrases: socio-ecologo-economic model, optimal control, innovations, computer program, graphical interface.