

На правах рукописи



**Янченко Татьяна Васильевна**

**МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ СОЦИАЛЬНОГО РЕСУРСА  
РЕГИОНА НА ОСНОВЕ РЕГРЕССИОННО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Специальность 05.13.10 – Управление в социальных и  
экономических системах

автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Челябинск – 2014

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Березниковский филиал

Научный руководитель доктор технических наук, профессор  
**Затонский Андрей Владимирович**

Официальные оппоненты доктор технических наук, профессор,  
Заслуженный деятель науки РФ,  
заведующий кафедрой автоматизированных систем управления Уфимского государственного авиационного технического университета  
**Куликов Геннадий Григорьевич**

доктор технических наук, профессор кафедры математических и естественнонаучных дисциплин Камского института гуманитарных и инженерных технологий  
**Митюков Николай Витальевич**

Ведущая организация ОАО «Научно-исследовательский институт управляющих машин и систем» (г. Пермь).

Защита состоится 12 марта 2015 в 13-00 на заседании диссертационного совета Д 212.298.03 при ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет) по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. В.И. Ленина, 76, зал заседаний диссертационного совета № 1 (ауд. 1001 главного корпуса)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет).

Сведения о защите и автореферат диссертации размещены на официальном сайте ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет) <http://www.susu.ac.ru>

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим выслать по адресу: 454080, г. Челябинск, пр.им. Ленина, 76, ЮУрГУ, Ученый совет, тел. (351) 267-91-23, факс (351) 265-62-05.

Автореферат разослан «\_\_\_» января 2015 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета



В.Н. Любицын

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Социальный ресурс (СР) представляет собой совокупность реальных или потенциальных ресурсов населения, определяющих характер социальных взаимодействий, связей и объединений людей в социально-экономических процессах. Его наличие и степень развития позволяют реализовать социальные и экономические возможности того или иного общества, территории, экономического региона. Прогнозирование динамики СР является основой для принятия решений по развитию социальных и экономических возможностей любого общества, в том числе, любого региона Российской Федерации.

Устойчивое развитие территории обеспечивается ее возможностью противостоять возмущающим воздействиям. Это становится особенно важным в современных условиях сложных и напряженных взаимоотношений с другими странами и государствами. В некотором смысле, СР является определенным резервом, который должен иметь любой субъект Федерации, чтобы устойчиво развиваться, в том числе, несмотря на внешние возмущающие воздействия в виде ограничений и санкций. Ценность социального гражданского потенциала страны подчеркивается Президентом Российской Федерации в послании Федеральному Собранию 4 декабря 2014 года. Принятие органами власти решений по развитию региона невозможно без возможности оценки его социальных перспектив, позволяющей сравнивать планы развития и выбирать наилучшие из них.

В условиях Пермского края, население которого с 1990-х годов медленно уменьшается, вопрос обеспечения предприятий, социальной и общественной сферы демографическим, трудовым, образовательным, интеллектуальным и культурным потенциалом представляется актуальной задачей. Особую остроту она приобретает сейчас в нескольких территориально-промышленных комплексах (ТПК) края, где отток населения наиболее выражен, а потребность в наращивании СР, тем не менее, есть. В частности, в Верхнекамье (образованном городами Березники, Усолье и Соликамск) расположено несколько крупных предприятий и сопровождающая их инфраструктура, которые в настоящее время развиваются и испытывают проблемы с обеспечением СР. Для управления подобными ТПК особенно важно иметь возможности моделирования и прогнозирования динамики СР. Та же задача встает перед предприятиями и организациями, лишенными доступа к закрытым данным Минэкономразвития и способными пользоваться только открытыми статистическими данными, с их известными недостатками. Поэтому задача моделирования СР, в том числе, в Пермском крае представляется практически значимой и актуальной.

Исследованию СР и отдельных его составляющих посвятили свои труды известные российские ученые Айвазян С.А., Штрыбул С.А., Ульяновский В.И., Кошкин А.А., Л.Н. Абалкин, В.Э. Бойков, И.А. Татарский и другие. В работах отдельных авторов понятия «социальный ресурс», «социальный потенциал» и «трудовой ресурс» близки, другие делают между ними существенные различия. Эта нестыковка затрудняет постановку задачи управления развитием СР.

Одним из способов оценки последствий решений по развитию социально-экономических систем является их математическое моделирование с

применением аналитических моделей или специального программного обеспечения. При известных недостатках эти подходы позволяют оценить большое количество разных управленческих решений по развитию социально-экономической системы для выбора оптимального или наилучшего.

Математическому моделированию и прогнозированию в области социально-экономических систем, включая развитие человеческого и социального потенциала, уделяли внимание Дж. Форестер, Г.Г.Малинецкий, А.А. Самарский, О.И. Ларичев, А.Г. Коровкин, Г.В. Осипов, А.К. Гуц, А.А. Лаптев, А.Н. Колмогоров, В.А. Садовничий, А.А. Акаев, А.И. Орлов, В.А. Цыбатов и другие. В опубликованных работах, на наш взгляд, мало внимания уделяется методу использования регрессионно-дифференциальных моделей, свойственных объекту исследования, для прогнозирования развития СР.

**Целью диссертационной работы** является повышение эффективности управления развитием краевого социального ресурса посредством разработки моделей, методов и алгоритмов оценки последствий принятых решений на основе регрессионно-дифференциальной модели динамики СР.

Для достижения указанной цели поставлены и решены следующие **задачи**:

1. Уточнены показатели оценки СР и факторы, влияющие на его развитие, данные о которых общедоступны.
2. Разработана регрессионно-дифференциальная модель (РДМ) динамики краевого СР, показаны ее преимущества перед другими моделями.
3. Разработано программное обеспечение, реализующее модель и поддерживающие ее численные методы, произведены оценки погрешности модели и использованных методов. Разработан и апробирован метод определения порядка модели и возможного горизонта прогнозирования.
4. С использованием программного средства исследована чувствительность модели к изменению факторов, построены прогнозные области, определены положительные и отрицательные аспекты влияния одиночных факторов и их синергетического влияния, разработаны рекомендации по использованию программного средства для оценки последствий принятых решений по развитию СР.

**Объект исследования** – краевой социальный ресурс как неотъемлемая часть социально-экономической системы региона

**Предметом исследования** являются процессы, связанные с формированием социального ресурса, оценкой его динамики, управления развитием.

**Методы исследования.** Теоретической и методологической основой диссертационного исследования являются методы системного анализа, моделирования, дифференциального исчисления, численные методы и т.п.

**Информационной базой исследования** являются официальные и разрешенные к открытому доступу источники информации Госкомстата Российской Федерации, Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Пермскому краю, Министерства социального развития Пермского края, информационные ресурсы сети *Internet*. В качестве основных нормативных документов в работе используются законодательные нормативные акты Российской Федерации и Пермского края.

**Научная новизна** диссертации заключается в следующем:

1. Разработана регрессионно-дифференциальная модель оценки эффективности развития краевого социального ресурса на основе дифференциального уравнения второго порядка, отличающаяся возможностью использования общедоступных статистических данных для ее оснащения (*п. 3 паспорта специальности*).

2. Создано новое программное обеспечение, реализующее регрессионно-дифференциальную модель, обеспечивающее принятие взвешенных управленческих решений на основе статистических данных и прогнозирования развития социального ресурса (*п. 5 паспорта специальности*).

3. Разработан метод поддержки принятия решений по управлению краевым социальным ресурсом, позволяющий обоснованно определять положительные и отрицательные прогнозные области и синтезировать управленческие решения, ведущие к улучшению динамики социального ресурса (*п. 4 паспорта специальности*).

**Практическая значимость работы.** Разработанный программный продукт может быть использован органами государственного управления различных уровней и заинтересованными организациями для оценки текущих и перспективных изменений динамики СР, в том числе с целью разработки стратегии развития субъекта РФ. В частности, он внедрен в Администрации г. Березники Пермского края и в Агентстве по занятости населения Пермского края.

Результаты диссертационного исследования использованы в учебном процессе при преподавании дисциплин «Методы и модели экономики» для направления «Экономика» (бакалавриат) и «Моделирование деятельности» для направления «Информатика и вычислительная техника» (магистратура) в Березниковском филиале ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Результаты диссертационного исследования вошли в отчет по гранту Министерства образования и науки РФ «Методы моделирования и идентификации сложных социально-экономических систем» 8.8544.2013.

**На защиту выносятся:**

1. Результаты анализа показателей оценки СР и факторов, влияющих на его динамику, используемых в настоящее время для принятия решений по развитию СР в стране.
2. Регрессионно-дифференциальная модель динамики СР и реализующее ее программное обеспечение.
3. Метод поддержки принятия решений по управлению СР, основанный на прогнозировании последствий решений при помощи регрессионно-дифференциальной модели.
4. Результаты практического внедрения основных положений и разработок диссертационного исследования в Агентстве по занятости населения Пермского края, Администрации г. Березники Пермского края и Березниковском филиале Пермского национального исследовательского политехнического университета.

**Апробация работы.** Основные теоретические положения диссертации докладывались и обсуждались на Всероссийской научно-практической конференции «Экономические науки в России и за рубежом» (г. Москва, 2011), III Всероссийской конференции студентов и молодых ученых «Молодежная наука в развитии регионов» (г. Пермь, 2013), III Всероссийской научно-практической конференции «Решение-2014» (г. Березники, 2014).

**Публикации.** По результатам диссертационного исследования опубликовано 11 статей, в том числе 5 в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК.

**Структура и объем диссертации.** Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 148 страницах машинописного текста, содержит 55 рисунков и 30 таблиц. Библиографический список включает 107 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** изложены основные положения, раскрывающие состояние проблемы и актуальность диссертационного исследования, его научную новизну, практическую значимость, описаны цель и задачи работы.

В **первой главе** проведен анализ современных подходов к оценке развития СР, систематизированы различные определения СР, а также методы его моделирования и прогнозирования. Обоснованы недостатки существующих методов, в частности, в условиях Пермского края.

Широко распространенная интегративная трактовка СР рассматривает его как совокупность источников, возможностей, средств и запасов и, в то же время, как социальную компоненту реализации усилий. Источники это человеческие ресурсы, включая располагаемый людьми запас знаний, навыков, мотивации и социальной инфраструктуры, представленных:

- биофизическим потенциалом (жизненными ресурсами личности);
- социальным потенциалом (возможностью социального взаимодействия);
- интеллектуальным потенциалом (возможностью обработки и интерпретации информации).

Произвести количественную оценку СР, основываясь на приведенной систематизации, невозможно, так как источники и ресурсы не измеримы непосредственно. Как правило, для решения задач управления оценку СР приводят к линейной комбинации измеримых индикаторов, или частных критериев  $y_i(t)$ , с эмпирически (экспертно) определенными коэффициентами

$$y_{\text{исх}}(t) = \sum_{i=1}^N \alpha_i \tilde{y}_i(t), \quad (1)$$

где  $\alpha_i \geq 0$  – вес  $i$ -го частного критерия. Для исключения влияния размерности частных критериев их значения нормировали по общепринятой формуле

$$\tilde{y}_i(t_j) = \frac{y_i - \min_j y_i(t_j)}{\max_j y_i(t_j) - \min_j y_i(t_j)},$$

где  $\tilde{y}_i(t_j) \in [0,1]$  – нормированное,  $y_i(t_j)$  – исходное значение  $i$ -го частного критерия в  $j$ -м году. Далее по аналогичной формуле нормировали ряды факторов.

После получения формулы (1) необходимо идентифицировать модель, связывающую  $y_{исх}(t)$  с рядами факторов  $x_j(t)$ . На практике широко используются линейные многофакторные модели, авторегрессионные модели, динамические фильтры и т.п. Модели на основе обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) имеют достоинства по сравнению с другими моделями:

1. естественность описания положительных и отрицательных последствий на динамику развития от воздействия
2. возможность получения *асимптотических* решений.

Применение регрессионно-дифференциальных моделей (РДМ) на основе ОДУ дает возможность обнаружить некоторые новые эффекты в объектах, а кроме того, как минимум, не худшую погрешность прогнозирования. Последовательность прогнозирования на основе РДМ следующая:

1. Определение рангов частных критериев в (1) на основе априорных гипотез или экспертным путем.
2. Идентификация аппроксимации факторов (фактор в статистике указан на начало года, или на конец года, или линейно изменяется от начала года до конца года).
3. Одновременная идентификация требуемого порядка РДМ, ее вида (с учетом только линейного влияния факторов на динамику объекта, или парного влияния, или влияния квадратов факторов и т.д.) и коэффициентов модели, включая отброс незначущих факторов
4. Определение возможности применения РДМ для прогнозирования (проверка погрешности постпрогноза одного последнего года).
5. Определение горизонта прогноза.
6. Построение прогнозных областей, исследование влияния возмущающих факторов, а также возможности использования управляющих факторов для улучшения динамики развития объекта.

Итак, показано, что наиболее употребимым подходом к оценке эффективности сложных систем является линейное комбинирование частных критериев с весами, определенными экспертно или уточненными по некоей гипотезе о свойствах объекта исследования. Взаимосвязь между факторами и полученным обобщенным критерием может выражаться разными моделями, причем регрессионно-дифференциальные модели, наряду с недостатками, обладают определенными достоинствами при краткосрочном прогнозировании динамики систем.

Во **второй главе** уточняется критерий оценки СР (1), состоящий из частных критериев. Из представленных на сайте Пермского отделения Росстата были

выбраны следующие общедоступные статистические показатели, имеющие или могущие иметь отношение к оценке СР:

- $y_1$  численность населения (тыс. чел.);
- $y_2$  возрастной состав населения (%);
- $y_3$  общий коэффициент рождаемости (на тыс. чел.);
- $y_4$  общий коэффициент смертности (на тыс. чел.);
- $y_5$  численность зрителей театров (на 1000 чел.);
- $y_6$  численность экономически активного населения (тыс. чел.);
- $y_7$  численность безработных (тыс. чел, со знаком «минус», так как, очевидно, отрицательно влияет на развитие СР);
- $y_8$  численность выпускников СПО (чел.);
- $y_9$  численность выпускников ВПО (чел.).

Количественные их значения приведены в диссертации. Для исключения влияния размерности значения нормировали. Расчет парной корреляции между частными критериями показал их статистическую независимость.

Для определения весовых коэффициентов в (1) общепринятым является экспертное определение *рангов* частных критериев  $R_i$ . Меньшие значения рангов соответствуют их большим весовым коэффициентам, например:

$$\alpha_i = 1/R_i. \quad (2)$$

Метод экспертиз имеет известные недостатки. В данном случае для уточнения ранжировки можно предположить, что *большая* социальная система под воздействием каких угодно факторов (исключая глобальные возмущения, наподобие войны, переселения или мора) не может изменяться *быстро*. Поскольку численность населения края за последние 20 лет менялась *плавно* и не очень существенно, логично, что оценка СР края так же должна меняться *плавно*. То есть лучшей является ранжировка, которая обеспечивает минимум оценки

$$R_i : \sum_j \left( y_{\text{исх}}(t_{j+1}) - y_{\text{исх}}(t_j) \right)^2 \rightarrow \min \quad (3)$$

Полным перебором перестановок рангов получена наилучшая ранжировка «120406035», где 0 означает отброс частного критерия. Отброшенные критерии имеют достаточно большие значения коэффициентов парной корреляции с оставшимися (например,  $R_{31} = -0.9079$ ). Оптимальная ранжировка не противоречит здравому смыслу (экспертным оценкам), так как наибольшие ранги в ней имеют численность населения (основа СР), возрастной состав населения (то есть его способность выступать в роли СР) и численность выпускников СПО (показатель, свойственный для особенности обеспечения кадрами предприятий Пермского края). На основании ранжировки рассчитаны веса частных критериев (2) и получена формула (1) для краевого СР. Исследование показало ее устойчивость к изменению ранжировки частных критериев (рис. 1). Малые изменения ранжировки не приводят к изменению характера оценки СР.



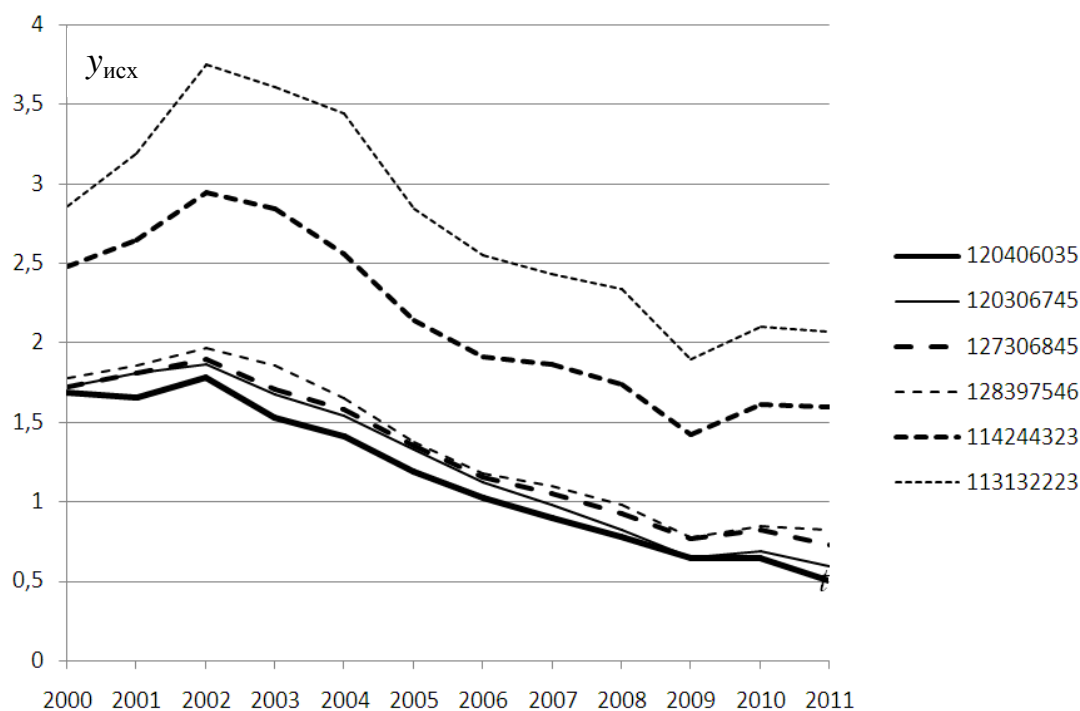


Рис. 1 – Изменение критерия оценки СР по годам при различных ранжировках частных критериев

В качестве факторов, влияющих на развитие СР, характеризующихся общедоступностью данных, выбраны следующие (табл. 1):

1.  $x_1$  коэффициент миграционного прироста населения.
2.  $x_2$  ВРП на душу населения.
3.  $x_3$  площадь жилых помещений приходящаяся на одного жителя.
4.  $x_4$  ввод в действие жилых домов, на 1000 чел.
5.  $x_5$  доля жилых домов построенных населением за свой счет, %
6.  $x_6$  среднедушевые доходы населения.
7.  $x_7$  среднемесячная номинальная начисленная заработная плата.
8.  $x_8$  вклады на депозиты в Сбербанк, на начало года.
9.  $x_9$  средний размер назначенных пенсий.
10.  $x_{10}$  количество больничных коек.
11.  $x_{11}$  количество зарегистрированных преступлений, на 100 тыс. чел.
12.  $x_{12}$  выбросы загрязняющих веществ в атмосферу.
13.  $x_{13}$  стоимость основных фондов, на конец года.
14.  $x_{14}$  оборот розничной торговли на душу населения.

Далее проверяется обоснованность выбора такой системы факторов и их аппроксимации.

Таким образом, созданы все предпосылки для построения математической модели динамики СР, ставящей в соответствие критериальную оценку и значения годовых рядов факторов. Построен комплексный критерий оценки краевого социального ресурса на основе оптимальной ранжировки частных критериев, обеспечивающей наибольшую гладкость критерия в пределах годового ряда.

Таблица 1

Годовые ряды комплексного критерия оценки социального ресурса Пермского края и влияющих на него факторов

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
$y_{исх}(t)$	0,8824	0,8684	1	0,7266	0,5036	0,7080	0	0,0561	0,1667	0,0507	0,2214	0,3215
$x_1(t)$	0,9375	0,7916	0,7916	0,2291	0	0,0416	0,1041	0,4375	0,5416	0,5000	0,1041	1
$x_2(t)$	0	0,0377	0,0754	0,1198	0,2004	0,2876	0,3696	0,5043	0,6893	0,6034	0,7465	1
$x_3(t)$	0	0,1081	0,1351	0,2432	0,3513	0,4594	0,5945	0,7027	0,7567	0,8378	0,9189	1
$x_4(t)$	0	0,223	0,0167	0,0918	0,1065	0,4259	0,5427	0,703	0,6017	0,4141	0,5664	1
$x_5(t)$	0,1536	0	0,4069	0,3008	0,3571	0,2272	0,2445	0,3549	0,58	0,7337	0,3961	1
$x_6(t)$	0	0,1009	0,1602	0,1922	0,2517	0,3106	0,4073	0,5541	0,6861	0,8255	0,9059	1
$x_7(t)$	0	0,1157	0,1739	0,2249	0,2836	0,3383	0,4289	0,5331	0,671	0,8429	0,8697	1
$x_8(t)$	0	0,0227	0,0537	0,1027	0,1354	0,1828	0,2782	0,377	0,4288	0,5163	0,713	1
$x_9(t)$	0	0,0802	0,1222	0,1675	0,2065	0,242	0,3115	0,3534	0,4652	0,585	0,8037	1
$x_{10}(t)$	1	0,9177	0,7405	0,6582	0,6708	0,5949	0,3607	0,3164	0,1329	0,0569	0,0126	0
$x_{11}(t)$	0,049	0,1602	0,2097	0	0,2208	0,3832	0,8086	1	0,7276	0,4279	0,2843	0,0805
$x_{12}(t)$	0,596	0,6234	0,7456	1	0,2817	0,3142	0,2718	0,182	0,1321	0	0,0074	0,0149
$x_{13}(t)$	0	0,2034	0,1671	0,2282	0,2562	0,4187	0,5228	0,6357	0,7886	0,859	0,9295	1
$x_{14}(t)$	0	0,0417	0,0846	0,1335	0,2135	0,2797	0,4299	0,5644	0,7474	0,7874	0,8937	1

Ранжировка исследована на устойчивость и сопоставлена с экспертной оценкой. Определены факторы, влияющие на развитие СР. Проведен корреляционный анализ пар факторов, в результате которого сделано предположение об отбрасываемых факторах.

В третьей главе производится разработка РДМ для моделирования динамики краевого СР. Обычно в качестве основы для РДМ используется обыкновенное дифференциальное уравнение первого порядка вида

$$\frac{dy(t)}{dt} = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i x_i(t) + b \cdot y(t), \quad (4)$$

где  $a_i$  и  $b$  – коэффициенты влияния факторов и реакции системы на динамику ее изменения. Далее минимизацией квадратичного отклонения расчетного значения  $y(t_k)$  от известных в узлах годового ряда значений критерия  $y_{исх}(t_k)$

$$S = \sum_{k=1}^K (y(t_k) - y_{исх}(t_k))^2 \quad (5)$$

определяются коэффициенты уравнения (4), интегрируемого в пределах годового ряда или горизонта прогноза. Задача минимизации (5) решается численными методами, например, покоординатного или градиентного спуска.

В качестве необходимого условия возможности прогнозирования принято, что модель должна быть способна к постпрогнозу хотя бы на один последний год, если коэффициенты модели получить по данным предшествующих лет и по известным значениям факторов рассчитать значение реакции.

Уменьшение количества «известных» лет позволяет, в первом приближении, определить допустимый горизонт прогнозирования.

Если не ограничиваться первым порядком ОДУ, приходим к РДМ более высоких порядков

$$\begin{aligned} \frac{d^n y(t)}{dt^n} + \sum_{i=1}^{n-1} g_i \frac{d^i y(t)}{dt^i} = a + b \cdot y(t - \tau_0) + \sum_{i=1}^m c_i \cdot x_i(t - \tau_i) + \\ + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m d_{ij} \cdot x_i(t - \tau_i) \cdot x_j(t - \tau_j) + \sum_{i=1}^m f_i \cdot [x_i(t - \tau_i)]^2 \end{aligned}, \quad (6a)$$

где  $g_i$  – коэффициенты влияния младших производных,  $a$  – константа, описывающая влияние  $n$ -й производной реакции при построении тренда,  $b$  – коэффициент «обратной связи», описывающий влияние значения реакции на ее же  $n$ -ю производную,  $c_i$  – коэффициенты влияния факторов,  $d_{ij} : i \neq j$  – коэффициенты взаимного влияния факторов,  $f_i \equiv d_{ii}$  – коэффициенты влияния квадратов факторов,  $\tau_i$  – запаздывание воздействия  $i$ -го фактора,  $\tau_0$  –

запаздывание в обратной связи. РДМ дополняется начальными условиями  $\frac{dy(0)}{dt} = y_0', \frac{d^2y(0)}{dt^2} = y_0'', \dots, \frac{d^{(n-1)}y(0)}{dt^{(n-1)}} = y_0^{(n-1)}$ . В частности, если не принимать во внимание запаздывание воздействия факторов, для РДМ на основе второго порядка получим уравнение

$$y''(t) + g \cdot y'(t) = a + b \cdot y(t) + \sum_{i=1}^m c_i \cdot x_i(t) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m d_{ij} \cdot x_i(t) \cdot x_j(t) + \sum_{i=1}^m f_i \cdot [x_i(t)]^2 \quad (6б)$$

используемое далее в работе.

Уравнение (6б) решается модифицированным методом Эйлера, в данном случае, дающим расчетную схему:

$$y(0) = y_0$$

$$y'(0) = y_0'$$

$$\tilde{y}'(t + \Delta t) = y'(t) + \Delta t \cdot \left( a + b \cdot y(t) + \sum_{i=1}^m c_i \cdot x_i(t) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m d_{ij} \cdot x_i(t) \cdot x_j(t) + \sum_{i=1}^m f_i \cdot [x_i(t)]^2 - g \cdot y'(t) \right)$$

$$y'(t + \Delta t) = y'(t) + \Delta t \cdot \left( a + b \cdot y(t) + \sum_{i=1}^m c_i \cdot x_i(t) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m d_{ij} \cdot x_i(t) \cdot x_j(t) + \sum_{i=1}^m f_i \cdot [x_i(t)]^2 - g \cdot \frac{y'(t) + \tilde{y}'(t + \Delta t)}{2} \right)$$

$$y(t + \Delta t) = y(t) + \Delta t \cdot \frac{y'(t + \Delta t) + y'(t)}{2}$$

Погрешность метода проверена решением нескольких тестовых уравнений и не превышает долей процента. Оптимизация (5) производилась модифицированным методом покоординатного спуска и градиентным методом, описанными в работе.

Создано специальное программное обеспечение, реализующее модель, численные методы и предоставляющее удобные инструменты исследования социально-экономических систем, включая СР (рис. 2).

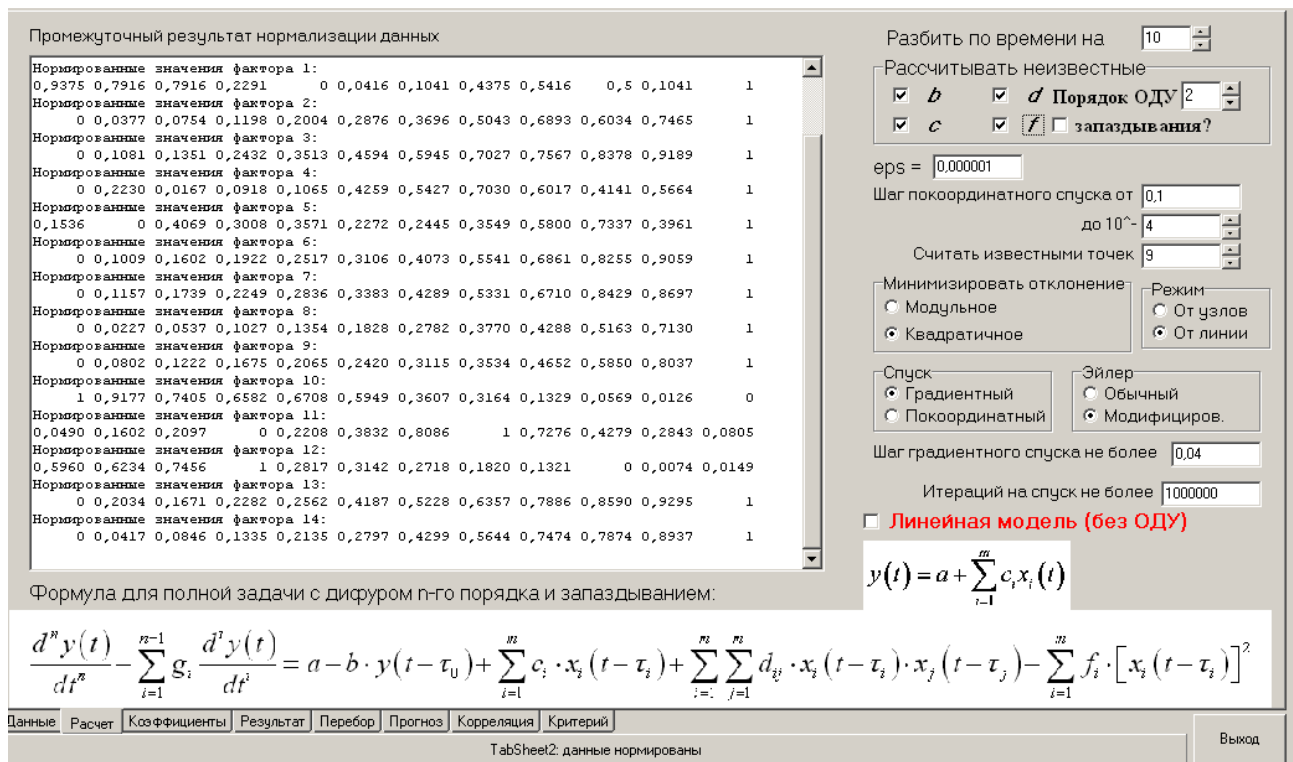


Рис. 2 – Интерфейс программного обеспечения

С его использованием проверялись также возможность и качество прогнозирования при использовании линейной регрессионной модели

$$y(x(t), t) = a_0 + \sum_i a_i x_i(t), \quad (7)$$

коэффициенты которой находились решением задачи (5). Модель СР вида (7) хуже РДМ (6б) и в смысле аппроксимации исходных данных, и в возможности прогнозирования: относительная погрешность прогноза составляет 498% при прогнозировании на 1 год, 754% при прогнозировании на 2 года и т.д. (рис. 3). Столь высокая погрешность неприемлема для практического прогнозирования развития социального ресурса с использованием линейной регрессионной модели.

Также распространенными средствами моделирования социально-экономических систем являются авторегрессионные модели

$$y_{AP}(t_k) = a_0 + \sum_{i=1}^I a_i \cdot y(t_{k-i}), \quad (8)$$

и модель в пространстве состояний.

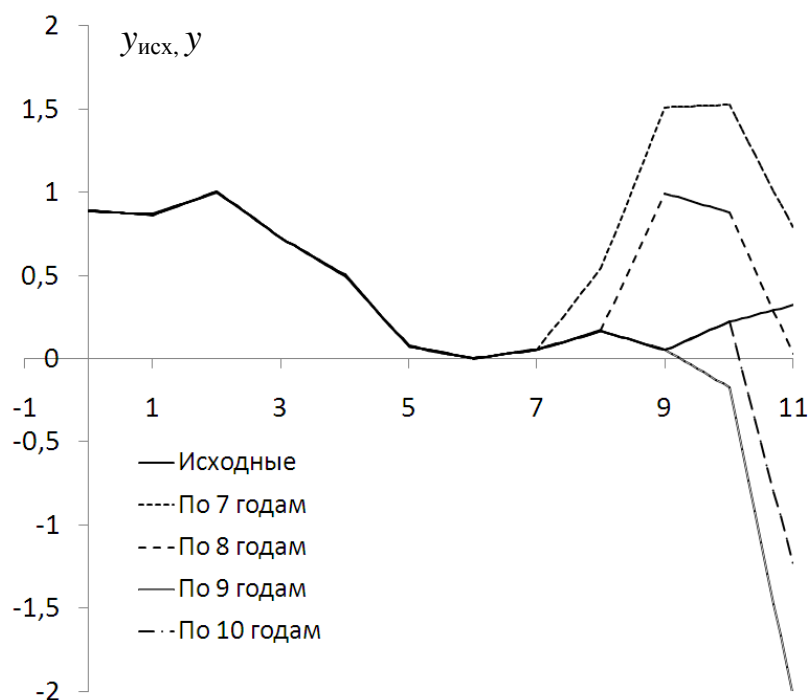


Рис. 3 – Неадекватные постпрогнозы по данным 7-10 лет с использованием линейной многофакторной модели (7)

Использование этих моделей (рис. 4) приводит к аналогичным эффектам: модели хорошо приближают исходные данные, но не позволяют прогнозировать динамику СР. Применение адаптивного фильтра для модели в пространстве состояний улучшает постпрогноз на один год весьма незначительно.

Попытка использования РДМ на основе ОДУ 1-го порядка дает хороший постпрогноз на 1 год, но увеличение горизонта постпрогноза до 2 лет приводит к погрешности прогнозирования в 184%, что исключает использование этой модели. Интегрирование ОДУ 1-го порядка при любой кусочной аппроксимации факторов приведет к кусочно-линейному ломаному тренду, иначе говоря, к скачкам значения производной, что недопустимо, исходя из свойств социального ресурса.

Полученная кривая  $y(t)$  должна быть гладкой, без разрывов функции и ее производных, что может быть достигнуто путем:

1. интерполяции критерия оценки СР  $y_{исх}(t)$  между значениями годового ряда *гладким* кубическим сплайном (а не кусочно-ломаной регрессией);
2. использования ОДУ высокого (2 и выше) порядка, при интегрировании которого получается гладкая кривая, вне зависимости от характера изменения факторов.

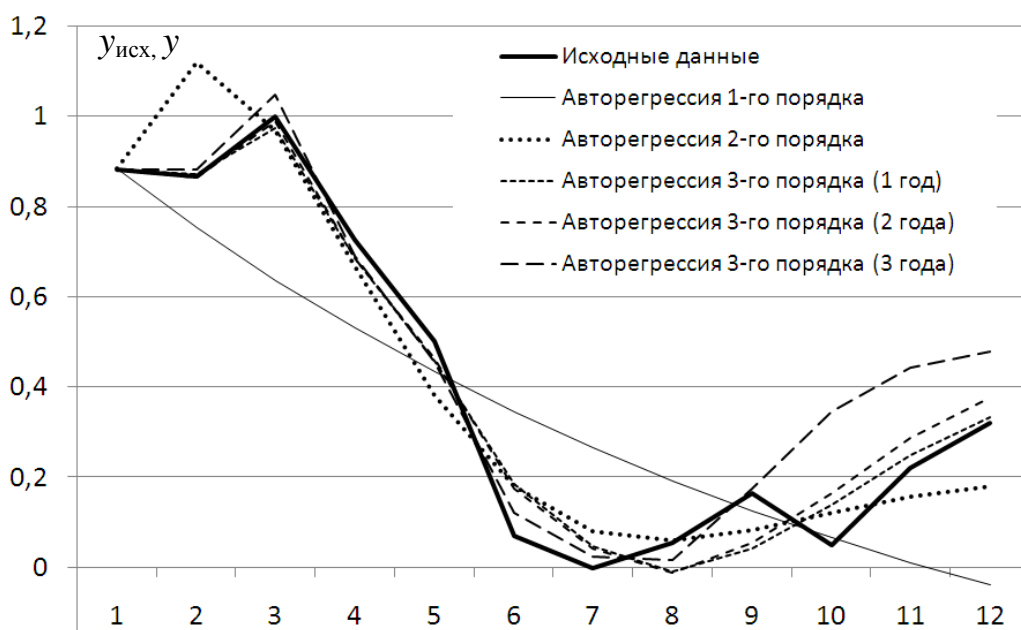


Рис. 4 – Неадекватный постпрогноз на один год с использованием авторегрессионных моделей (8)

РДМ 2-го порядка с линейной аппроксимацией факторов без учета коэффициентов взаимного влияния хорошо аппроксимирует сплайн исходных данных ( $S = 0.058$ ). Однако стоит уменьшить на 1 год продолжительность ряда «известных данных», прогноз 11-го года получаем с погрешностью порядка 17%. Уточнение аппроксимации факторов с применением генетического алгоритма привело к отбросу фактора 13 и увеличило горизонт прогноза до 4 лет (рис. 5)

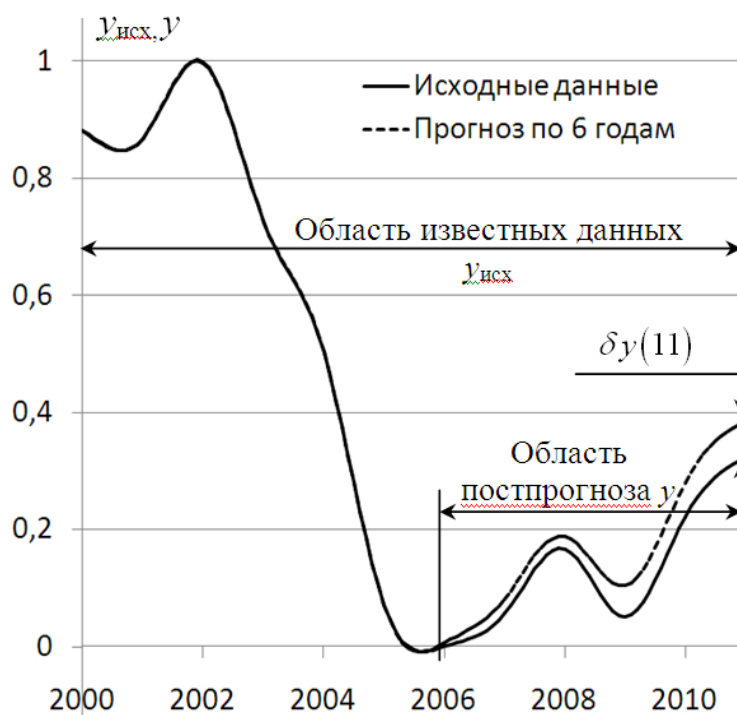


Рис. 5 – Тренды исходных и прогнозных данных, полученных по РДМ 2-го порядка с коэффициентами, рассчитанными по 6 известным значениям годового ряда

Относительная погрешность прогнозирования составила

$$\delta y(11) = \left| \frac{0.3215 - 0.3121}{0.3215} \right| \approx 2.9\%.$$

Коэффициенты модели при этом  $a = -3,3824$ ,  $b = -1,9846$ ,  $c = \{0,5775; -3,7038; 3,9046; 1,2779; -0,4543; 3,5161; 2,9395; 0,9091; -5,5241; 3,7115; -1,9885; 1,6937; 0; 0,7022\}$ ,  $y'_0 = 0,3428$ .

Следовательно, РДМ 2-го порядка более применима для моделирования развития краевого СР, чем остальные рассмотренные модели, в т.ч. обеспечивается достаточное качество прогноза в пределах разумного горизонта.

Исследование свойств полученной модели дало ответы на вопросы:

1. Какие факторы являются наиболее важными для развития СР, то есть к изменению каких факторов модель наиболее чувствительна?
2. Какие изменения факторов (или их комбинации) позволяют улучшить развитие СР?
3. Какие управляющие воздействия лиц, принимающих решения, способны вывести систему из областей негативного прогноза, если такие обнаружатся при прогнозировании?

Для ответа на первый вопрос недостаточно сравнить модули коэффициентов  $c_i$  при факторах, как при исследовании моделей вида (7). Каждый коэффициент изменяли на  $\pm 4\%$ , при этом контролировали изменение реакции системы.

Наибольшее влияние на динамику развития СР в конце ряда известных данных оказывает количество больничных коек в крае (рис. 6).

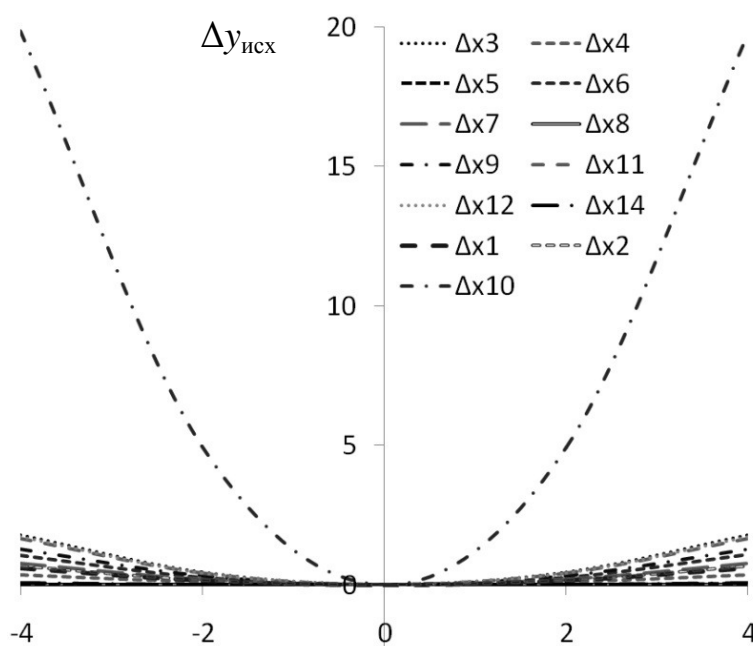


Рис. 6 – Исследование чувствительности модели (ось абсцисс) к малому изменению факторов (ось ординат)



Возможно, данный показатель «влечет» за собой множество других: количество и площадь лечебных учреждений, средний уровень заболеваемости, уровень финансирования здравоохранения и т.д. РДМ (в отличие от линейной многофакторной модели) «чувствует» воздействия подобных составляющих факторов. Значение  $c_{10} = -1,9885$  не самое большое, но и не самое малое из всех коэффициентов при факторах модели. Влияние остальных факторов на колебание реакции сопоставимо, хотя факторы с большими коэффициентами  $c_i$  оказывают большее влияние, чем остальные. Так, наименьшие коэффициенты при факторах 5 (удельный вес жилых домов, построенных населением за свой счет) и 14 (оборот розничной торговли на душу населения) соответствуют небольшой чувствительности системы к их изменению.

Итак, в главе теоретически разработана регрессионно-дифференциальная модель развития краевого социального ресурса на основе обыкновенного дифференциального уравнения. Уравнение решается модифицированным методом Эйлера, преимущество которого по сравнению с обычным методом проверено тестовым примером.

Идентифицированы параметры модели методами непрерывной (для коэффициентов) и дискретной (для настроек модели) оптимизации.

Разработано программное обеспечение в среде Borland C Builder, реализующее указанные модели и численные методы.

Проверена возможность использования линейной многофакторной модели, модели в пространстве состояний с фильтрацией и без нее, показаны их недостатки по сравнению с регрессионно-дифференциальной моделью развития СР.

Построена регрессионно-дифференциальная модель развития краевого социального ресурса на основе ОДУ 2-го порядка, определены настройки, коэффициенты модели и горизонт прогнозирования системы СР.

**Четвертая глава** посвящена прогнозированию развития СР за пределы известных данных. Допустим, что предоставленные сами себе факторы будут развиваться *примерно* так, как они «вели» себя за несколько последних лет. То есть для их прогнозирования необходимо предварительно:

1. Определить регрессионное уравнение их поведения в заданной ретроспективе (как правило, превышающей по продолжительности определенный выше горизонт прогнозирования).
2. Рассчитать их значения в будущем в соответствии с найденным уравнением.

Выделим три следующих возможных уравнений регрессии факторов.

1. Фактор изменяется квадратично, то есть  $x(t) \approx a + b \cdot t + c \cdot t^2$ .
2. Фактор изменяется линейно, то есть  $x(t) \approx a + b \cdot t$
3. Для фактора не подходит ни квадратичный, ни линейный закон. Например, значения фактора хаотично меняются вокруг какого-то среднего значения  $x(t) = \bar{x} \pm \Delta x$ . Тогда будем считать, что,

предоставленный сам себе, фактор останется в пределах  $\bar{x} \pm \Delta x$ , например, в последнем значении годового ряда.

Вид регрессии факторов определяется по коэффициентам корреляции  $R^2$ . Принято, что если  $R^2 \geq 0.95$ , то вид регрессии выбран верно. Линейная регрессия является частным случаем квадратичной, поэтому:

1. Если для линейной регрессии  $R^2 \geq 0.95$ , то вид регрессии – линейный.
2. Иначе, если для квадратичной регрессии  $R^2 \geq 0.95$ , а для линейной  $R^2 < 0.95$ , то вид регрессии – квадратичный.
3. Иначе использовать последнее значение годового ряда.

Далее факторы изменялись независимо, а затем совместно попарно на  $\pm 5\%$ . Результаты прогнозов развития СР при различных независимых изменениях факторов приведены на рис. 7.

Как и в случае с исследованием чувствительности, факторы с малыми значениями коэффициентов при них в модели оказывают незначительное влияние на изменение прогнозного сценария развития системы СР. Наибольшее влияние оказывают факторы 2 (ВРП на душу населения), 4 (количество введенных жилых домов), 7 (размер среднемесячной заработной платы) и 9 (средний размер пенсий).

Аналогично оценено взаимное (синергетическое) влияние факторов на поведение системы. Все прогнозные поверхности близки к плоским, что говорит об устойчивости системы в целом в том смысле, что любое малое взаимное изменение факторов не приводит к большим изменениям реакции системы.

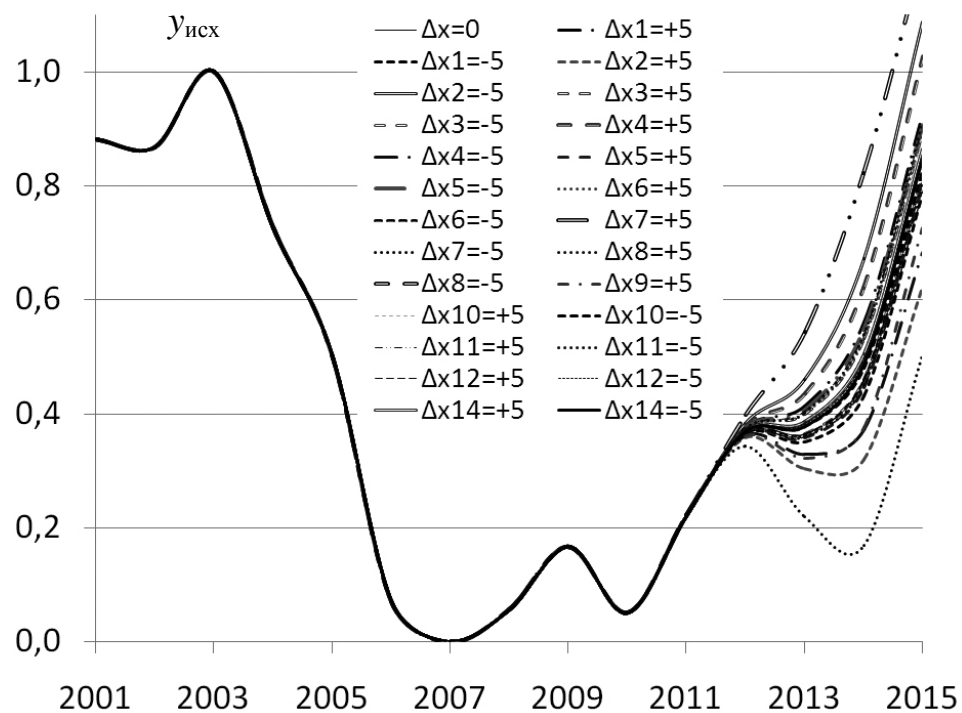


Рис. 7 – Динамика прогнозного сценария развития СР при малом независимом изменении факторов

Для исследования возможности влияния краевого правительства на отрицательные области прогнозов выполнено прогнозирование с изменением на  $\pm 5\%$  управляемых факторов  $x_2$ ,  $x_7$ ,  $x_9$  и  $x_{10}$  (табл. 2), где  $y(2015)$  – значение критерия с учетом изменения факторов;  $y_0(2015)$  – значение критерия при факторах, предоставленных самим себе, в конце горизонта прогнозирования.

Таблица 2

Положительные и отрицательные прогнозные области

Изменение тенденций определяющих факторов $\Delta x_i$ , %	$\frac{y(2015)}{y_0(2015)}$ без компенсации	Компенсирующее воздействие $\Delta x_i$ , %	$\frac{y(2015)}{y_0(2015)}$ с компенсацией
Размер пенсионного обеспечения ( $\Delta x_9 - 5\%$ )	+15%	---	---
Оплата труда ( $\Delta x_7 + 5\%$ )	+41%	---	---
ВРП на душу населения ( $\Delta x_2 + 5\%$ )	-27%	$\Delta x_7 + 5\%$	+14%
		$\Delta x_7 + 5\%$ $\Delta x_9 - 5\%$	+29%
Размер депозитных вкладов ( $\Delta x_8 + 5\%$ ) и число зарегистрированных преступлений ( $\Delta x_{11} - 5\%$ )	-13%	$\Delta x_7 + 5\%$	+28%

Выявлено, что даже при наихудших сочетаниях неуправляемых факторов и их пар краевое правительство способно предпринять меры, достаточные для сохранения положительной динамики СР.

Негативные тенденции сценария, при котором одновременно снижается размер депозитных вкладов ( $x_8$ ) и растет уровень преступности ( $x_{11}$ ) можно преодолеть посредством увеличения оплаты труда на 5%, что приведет к росту СР на 29% (однако для вывода тренда СР из зоны негативного прогноза требуется рост заработной платы всего порядка 2%). Тогда как сокращение пенсионного обеспечения на 5% приводит к росту СР на 3%.

Негативные тенденции сценария, при котором растет уровень номинального ВРП ( $x_2$ ) можно преодолеть посредством увеличения размера номинальной заработной платы на 5%, что приведет к росту оценки СР на 14%. Одновременное 5-ти %-е снижение размера пенсионного обеспечения населения и такой же рост заработной платы обеспечат улучшение динамики СР на 28%.

Таким образом, предложен и обоснован метод поддержки принятия решений по управлению краевым социальным ресурсом с использованием описанного программного обеспечения, заключающийся в последовательном

1. уточнении системы частных критериев и определении их ранжировки;
2. уточнении системы факторов;
3. совместном определении порядка РДМ, аппроксимации факторов между значениями годового ряда и коэффициентов модели;
4. определении горизонта и погрешности прогнозирования;

5. построении прогнозных сценариев в зависимости от воздействия одиночных факторов и их синергетических комбинаций;
6. подборе управляющих воздействий, позволяющих улучшить динамику развития СР в случае неблагоприятных прогнозов.

Важным частным результатом работы является разработка и апробация универсального, многоцелевого программного обеспечения, позволяющего моделировать многофакторные социально-экономические системы и прогнозировать варианты их развития при разных воздействиях. Показано преимущество разработанного метода перед другими широко распространенными подходами в смысле качества прогнозирования.

В **заключении** представлены основные результаты и выводы по работе.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ**

1. Проведенный в работе анализ отечественных и зарубежных достижений в области оценки, математического моделирования и прогнозирования социального ресурса, а также его особенностей в условиях Пермского края, позволил выявить не только достоинства и недостатки существующих подходов, но и определить пути совершенствования критериальной системы оценки СР и методов его прогнозирования.
2. Уточнена критериальная оценка краевого СР с использованием общедоступных статистических данных, обоснована ранжировка частных критериев, показана ее устойчивость к ошибкам ранжировки.
3. Выявлены факторы, влияющие на динамику краевого СР, представленные в общедоступных статистических данных, определена их аппроксимация между значениями годового ряда, обоснованно отброшен незначительный фактор.
4. Теоретически разработана регрессионно-дифференциальная модель социально-экономической системы на основе обыкновенного дифференциального уравнения высокого порядка, предложены и апробированы численные методы для решения уравнений модели, идентификации ее параметров методами непрерывной и дискретной оптимизации.
5. Разработано многоцелевое программное обеспечение, реализующее указанные модели и численные методы.
6. Построена регрессионно-дифференциальная модель краевого социального ресурса, определены ее порядок, вид, коэффициенты и настройки. Определен достаточный горизонт прогнозирования с использованием модели.
7. Получены области положительного и отрицательного прогнозов развития краевого социального ресурса, даны рекомендации для лиц, принимающих решения, об изменении управляемых факторов для улучшения ситуации.

**Основные положения и результаты диссертационного исследования  
опубликованы в следующих печатных изданиях**

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Янченко Т.В. Факторы формирования человеческого капитала // Современные проблемы науки и образования, 2011. №6. (Электронный журнал) – Режим доступа: <http://online.rae.ru/784>
2. Янченко Т.В. Глобализация рынка труда при присоединении России к ВТО // Современные проблемы науки и образования, 2011. №6. (Электронный журнал). Режим доступа: <http://online.rae.ru/777> .
3. Янченко Т.В., Сиротина Н.А., Затонский А.В. Об аппроксимации факторов дифференциальной модели социально-экономической системы // Современные исследования социальных проблем, 2012. № 11(19). С. 6. (Электронный журнал).– Режим доступа: <http://sisp.nkras.ru/e-ru/issues/2012/11/sirotina.pdf> (соискатель – 25%)
4. Янченко Т.В., Затонский А.В. Определение оптимальной ранжировки частных критериев оценки краевого социального ресурса // Экономика и менеджмент систем управления.– 2013.– № 4(10).– С. 99-104. (соискатель – 50%).
5. Янченко Т.В. Обоснование порядка регрессионно-дифференциальной модели краевого социального ресурса // Системы управления и информационные технологии. 2014. № 3.1(57). С. 187-191.

Программы для ЭВМ:

6. Янченко Т.В., Затонский А.В. Программа регрессионно-дифференциальной идентификации многофакторных систем на основе разреженных данных. Свидетельство ОФЭРНИО № 20381 о регистрации электронного ресурса от 30.09.2014.

Прочие публикации по теме диссертационного исследования:

7. Янченко Т.В., Затонский А.В. Индикативные факторы социального потенциала как способ повышения эффективности управления региональным образованием // Вестник КИГИТ.– №5, 2010.– С. 72-74 (соискатель – 75%).
8. Янченко Т.В., Черный С.А. Креативный класс как стадия развития человеческого капитала // Проблемы экономики, 2011. №3 (43). С. 57-59 (соискатель – 33%)
9. Янченко Т.В. Последствия вступления России в ВТО для человеческого капитала страны // Экономические науки в России и за рубежом. Материалы II Всероссийской научно-практической конференции. Москва, (25.05.11). С. 42.
10. Янченко Т.В., Затонский А.В. Оценка обеспеченности промышленных систем социальным потенциалом // Новый университет. Серия: Технические науки, 2012. № 4(10). С. 4-6 (соискатель – 50%)

11. Янченко Т.В., Затонский А.В. Модель краевого социального ресурса на основе регрессионно-дифференциального уравнения второго порядка // Новый университет. Серия: Технические науки. 2014. № 5-6 (27-28). С. 23-34. (соискатель – 75%)
12. Янченко Т.В. Методы моделирования социального потенциала // Материалы Третьей Всероссийской научно-практической конференции «Решение-2014». г. Березники (17.10.2014). С. 271-272.

