

ПЕРМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Затонский Андрей Владимирович

Челябинск 2014

АННОТАЦИЯ

Диссертация посвящена вопросам разработки средств поддержки принятия решений при управлении социальным ресурсом территории.

Рассмотрены различные методы управления социальной системой.

Построена регрессионно-дифференциальная модель динамики социального ресурса. Показана ее адекватность, оценена возможность использования для прогнозирования развития социального ресурса и оценена его погрешность. Разработано специальное программное обеспечение, реализующее модель. Разработан алгоритм поддержки принятия решений при управлении социальным ресурсом с использованием вышеуказанной модели.

Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 148 страницах машинописного текста, содержит 55 рисунков и 30 таблиц. Библиографический список включает 107 наименований.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Аннотация	2
Оглавление	3
Перечень сокращений	5
Введение	6
ГЛАВА 1. Современные подходы к оценке и моделированию социального ресурса	10
1.1 Теоретические подходы к определению сущности и оценки социального потенциала территории	10
1.2. Место социального потенциала в экономической системе региона с учетом особенностей Пермского края	17
1.3. Методы оценивания социального ресурса	23
1.4. Модели описания социального ресурса	33
1.5. Выводы и заключение по главе	46
ГЛАВА 2. Построение модели краевого социального ресурса	47
2.1. Построение комплексного критерия оценки социального ресурса	47
2.2. Факторы, влияющие на развитие социального ресурса	56
2.3. Выводы и заключение по главе	58
ГЛАВА 3. Разработка регрессионно-дифференциальной модели динамики социального ресурса Пермского края	61
3.1. Теоретические основы регрессионно-дифференциального моделирования социально-экономических систем	61
3.1.1 Модель на основе ОДУ высокого порядка	61
3.1.2 Метод интегрирования	64
3.1.3 Методы спуска	67
3.2. Программное обеспечение, реализующее модель	71
3.3. Проверка возможности использования линейной модели и регрессионно-дифференциальной модели 1-го порядка	82
3.4. Регрессионно-дифференциальная модель 2-го порядка	102
3.5 Выводы и заключение по главе	110

ГЛАВА 4. Прогнозы развития социального ресурса края.....	112
4.1 Исследование возможности прогнозирования с помощью регрессионно-дифференциальной модели.....	112
4.2. Прогнозирование развития социального ресурса в зависимости от изменения одиночных факторов	117
4.3. Прогнозирование развития социального ресурса в зависимости от синергетического влияния изменения пар факторов.....	124
4.4. Исследование возможности лиц, принимающих решения, влиять на улучшение динамики социального ресурса.....	130
4.5. Выводы и заключение по главе.....	138
Основные результаты и выводы.....	139
Список литературы	141
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ	151
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Акты о внедрении результатов диссертационного исследования	152

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

НОТ – научная организация труда;

ЧП – человеческий потенциал;

СП – социальный потенциал;

ЧР – человеческий ресурс;

ТР – трудовой ресурс;

ПП – производственный потенциал

СР – социальный ресурс;

РЭС – региональная экономическая система;

ИРЧП – индекс развития человеческого потенциала;

ВРП – валовой региональный продукт

РФ – Российская Федерация

ПК – Пермский край

ООН – Организация Объединенных Наций

ОДУ – обыкновенное дифференциальное уравнение

РДМ – регрессионно-дифференциальная модель

ЛПР – лицо принимающее решение

ВВЕДЕНИЕ

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 др. 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 предварительной оценки качества решений по развитию социально-экономических систем является математическое моделирование их последствий 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.

Цель диссертационной работы – повышение эффективности управления развитием краевого социального ресурса посредством разработки моделей, методов и алгоритмов системы 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. По итогам диссертационного исследования получены следующие результаты, обладающие научной новизной и являющиеся предметом защиты:

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.

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.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ И МОДЕЛИРОВАНИЮ СОЦИАЛЬНОГО РЕСУРСА

1.1 Теоретические подходы к определению сущности и оценки социального потенциала территории

Для каждого этапа экономического развития общества свойственен свой базовый репродуктивный ресурс. В период индустриального общества основой экономического развития являлся вещественный капитал и источники его накопления. В работах А. Смита [74], Д. Рикардо [2] и других исследователей, развивалась теория капитала, а капитал рассматривался как продуктивный ресурс экономического развития.

При переходе к постиндустриальному этапу экономического развития на первый план вышел нематериальный капитал. Свойственный человеческой личности: интеллектуальный, культурный, трудовой, социальный, моральный и др. В настоящее время в деловом сообществе активно используются такие понятия, как «человеческий потенциал» (ЧП), «социальный потенциал» (СП), «человеческий капитал» (ЧК), «человеческие ресурсы» (ЧР), «трудовые ресурсы» (ТР).

Теория «нематериального» капитала имеет давние корни в истории экономической мысли. Одна из ее первых формулировок обнаружилась в труде У. Петти «Политическая арифметика» [12]. Как самостоятельный раздел экономического анализа теория ЧК оформилась на рубеже 50–60-х гг. двадцатого века. У ее истоков стоял лауреат Нобелевской премии Т. Шульц [105, р.26-28], а базовую теоретическую модель разработал Г. Беккер [14]. Системные исследования человеческого потенциала (ЧП) связывают с экспериментами Дж. Э. Мэйо [87]. Теоретическая основа этих экспериментов – доктрина «человеческих отношений» систематизировала человеческие потребности и выделила социальные. Теория мотивации, как и концепции «качества жизни» (Д. Рисман [66] и Дж. Гелбрейт [21]), «качества рабочей жизни» (Л. Девис [58]), ролевой теории личности (Дж. Мид, Р. Линтон [9]), стали постоянно находиться в поле зрения исследователей человеческого и социального потенциала (СП). В работах отечественных исследователей проблема человеческого и социального потенциала нашла отражение в 60–70-х гг. прошлого века в рамках концепции научной организации труда (НОТ). Исследовались вопросы социального управления, дисциплины труда рабочего и вне рабочего времени, санитарно-гигиенические условия труда, охрана труда, профориентации и профотбора, участия рабочих в управлении производством, коллективные формы организации труда. В экономической жизни 80–90 гг. двадцатого века активно использовались категории «рабочая сила», «трудовые ресурсы», «человеческий фактор», «социальные резервы», «трудовой потенциал общества». Вместе с тем четких различий между обозначенными выше понятиями (ЧК, ЧР, СП и др.) до сих пор не обозначено.

Уточним содержание человеческого потенциала. Человек – продукт биологической и культурной эволюции, для которого характерны коммуникации и язык, склонность к общественному образу жизни, соперничество, власть и война, знание и наука, трудовые навыки и техника, мифы и религия, красота и искусство, экономика и общественное устройство (П. Кууси) [47]. Именно качества полученные человеком в процессе эволюции, задают человеку

поведенческие способности и не учитывать их в процессе оценки его потенциала – означает пренебрегать его природой. Врожденные (полученные от природы) качества продолжают видоизменяться (эволюционировать) под воздействием на него среды и саморазвития. Это обстоятельство дает основание полагать, что человеческий потенциал (ресурс) представляет собой качественную характеристику индивида в каждый конкретный момент времени.

Понятие «человеческий ресурс» соотносится с термином «человеческий фактор». Фактор (лат. *factor* – делающий, производящий; движущая сила, причина какого-либо процесса – по этимологическому смыслу в союзе с понятием «человек» означает проявление его качеств как действующего субъекта (актера) [60]. В связи с тем, что деятельность актера многообразна (трудовая, бытовая, социальная, политическая, духовная), то можно рассматривать специфику деятельности человеческого ресурса (ЧР) в каждой из данных областей. На региональном уровне вопросами исследования ЧР плодотворно занимались В.Э. Бойков [16, 15], В.Е. Гимпельсон [23], Л.А. Гордон [26, 27], Т.И. Заславская [34, 107], Э.В. Клопов [27], А.А. Сарно [69], А.В. Тихонов [106], [78], В.А. Ядов [88] и др. Они исследовали роль государства в трудовых процессах во взаимосвязи с экономическими и психологическими концепциями, зарубежными теориями и практиками управления. Приведем вкратце основные положения, являющиеся результатами их работ по отношению к объекту нашего исследования, точнее, к его определению разными исследователями.

Человеческий ресурс указывает как на родовые качества действующего субъекта, так и на его способность принимать и осваивать определенные социальные роли [102].

Под *социальным потенциалом* чаще всего понимают сумму материальных и духовных ценностей общества, которые определяют вероятную возможность развития или распада социума [57]. Таким образом, социальный потенциал характеризует наличные способности, которые еще не задействованы в какой-либо сфере социального бытия. Человеческий и социальный потенциал образуют единство, базирующиеся на едином субъекте – человеке как носителе

способностей и побудительных мотивов к определенному виду деятельности (трудовой, общественной и др.) [52]. Основой человеческого потенциала являются жизненные силы (жизненный ресурс).

В то же время Л.Н. Абалкин [2] и А.И. Анчишкин [10] др. считают, что человеческий потенциал является компонентом социального потенциала. Различие ЧП и СП состоит в отличительных особенностях личности и социума. Личность как единство биолого-природного и социального начал содержит потенциал каждого из них. Когда речь идет о социальном потенциале требуется уточнять предполагаемую сферу его развития и использования. В производственной сфере социальный потенциал рассматривается как объект организационного управления. Человеческий и социальный ресурс в организации образуют некое единство – основанное на едином субъекте (человеке) – обладателе рабочей силы (способности к труду) и потребностями (основе мотивации).

С.А. Айвазян под социальным потенциалом понимает имеющиеся в наличии общества (территории, города, района) население, в качестве носителя демографического, трудового образовательного, интеллектуального и культурного потенциалов, которые формируют новые стимулы и мотивы экономического развития, инноваций, обеспечивают новые формы соединения факторов производства и неординарное использование имеющихся ресурсов [4]. С.А. Штрыбул описывает СП как «...систему отношений, которые не ограничиваются рыночными и обеспечивают формирование новых стимулов и мотивов экономического развития, инноваций, обеспечивают новые формы соединения факторов производства и аллокации ресурсов; представляющая собой синергетический эффект от суммы ее составляющих». Показано, что в основе различия СП и СК лежит особая трактовка человека как «креатора» [86]. А.А. Дрегалю и И.В. Ульяновский дают следующее определение СП «...под социальным потенциалом мы понимаем совокупность материальных и духовных ценностей общества, которые определяют потенциальную возможность развития или дезинтеграции социума» [47]. Однако, данные исследователи, некорректно

разграничивают понятия ЧР и СР: «...потенциал человека (человеческий ресурс) и потенциал группы – социальный ресурс (СР) имеют одно существенное отличие: СР является качественно новым образованием, способным за счет оптимальной структуры коллектива и социальных связей (отношений) обеспечивать синергетический эффект деятельности организации. В непроизводственной сфере СР может определяться как объект политической жизни, общественного самоуправления и т.д. [32]. Так как на наш взгляд, ЧР реализуется через СР (конечно, если не стоит задачи самореализации через аскетизм).

А.А. Кошкин считает, что: «...разница между социальным капиталом и социальным потенциалом очень существенна, ее важно понимать, прежде всего, для того, что бы полно использовать весь ресурс социального капитала и его институтов в интересах национального развития» [46]. Развитие институтов социального потенциала на сегодняшний день является единственным способом создания механизмов модернизации материальных активов и эффективного использования природных ресурсов.

Ряд исследователей: В.П. Захаров, Л.М. Рабинович, В.И. Свободин, Э.Б. Фигурнов, Д.К. Шевченко и др. сращивают понятия СП и производственного потенциала (ПП).

На наш взгляд, все определения социального потенциала имеют под собой достаточную основу. Однако ряд исследователей – Б.В. Радаев, Н.А. Аитов, М.К. Горшков, В.И. Жуков, М.Л. Малышев, В.В. Маркин, М.С. Мстиславский, Г.И. Осадчая, В.И. Патрушев, А.И. Ракитов, Н.Е. Тихонова, Б.Г. Тукумцев, А.В. Шаронов, П.Г. Щедровицкий, Е.Р. Ярская-Смирнова слишком расчлениют понятие СП, что затрудняет его исследование. Другая группа ученых – А.С. Ахиезер, Ю.Г. Волков, А.А. Гусейнов, И.Е. Дискин, Г.А. Здравомыслов, Ю.А. Левада, Н.И. Лапин, В.Д. Патрушев, А.И. Ракитов, А.А. Сарно, Г.Н. Соколова, М.А. Шабанова, П.Н. Шихирев, Б.М. Фирсов фактически подменяет понятие СП понятием ТР.

Сопоставив всю имеющуюся в нашем распоряжении информацию, мы в целях исследования, социальный потенциал (СП) будем отождествлять с понятием социальные ресурсы (СР) по следующим причинам.

Во-первых, СП реализует большую свою часть в сфере материального производства (предприятиях, организациях, индивидуальном предпринимательстве); «реализуемый», т.е. реально востребованный потенциал (ЧР трансформируемый в СР через систему социальных взаимодействий) действительно можно оценить (увидеть в статистической отчетности), тогда как понятия СП предлагаемые большинством исследователей настаивают на учете «не включенных» элементов (которые могут быть «когда то» задействованы управляющей системой). СР представлен:

- Биофизическим потенциалом (жизненные ресурсы личности);
- Социальным потенциалом (возможность социального взаимодействия);
- Интеллектуальным потенциалом (возможность обработки и интерпретации информации).

Во-вторых, материальное производство дает импульс развитию инфраструктуры региона, которая в свою очередь, способствует удовлетворению нужд ТР (именно уровень развитости инфраструктуры определяет степень «притягательности» региона для ТР) (рис.1).

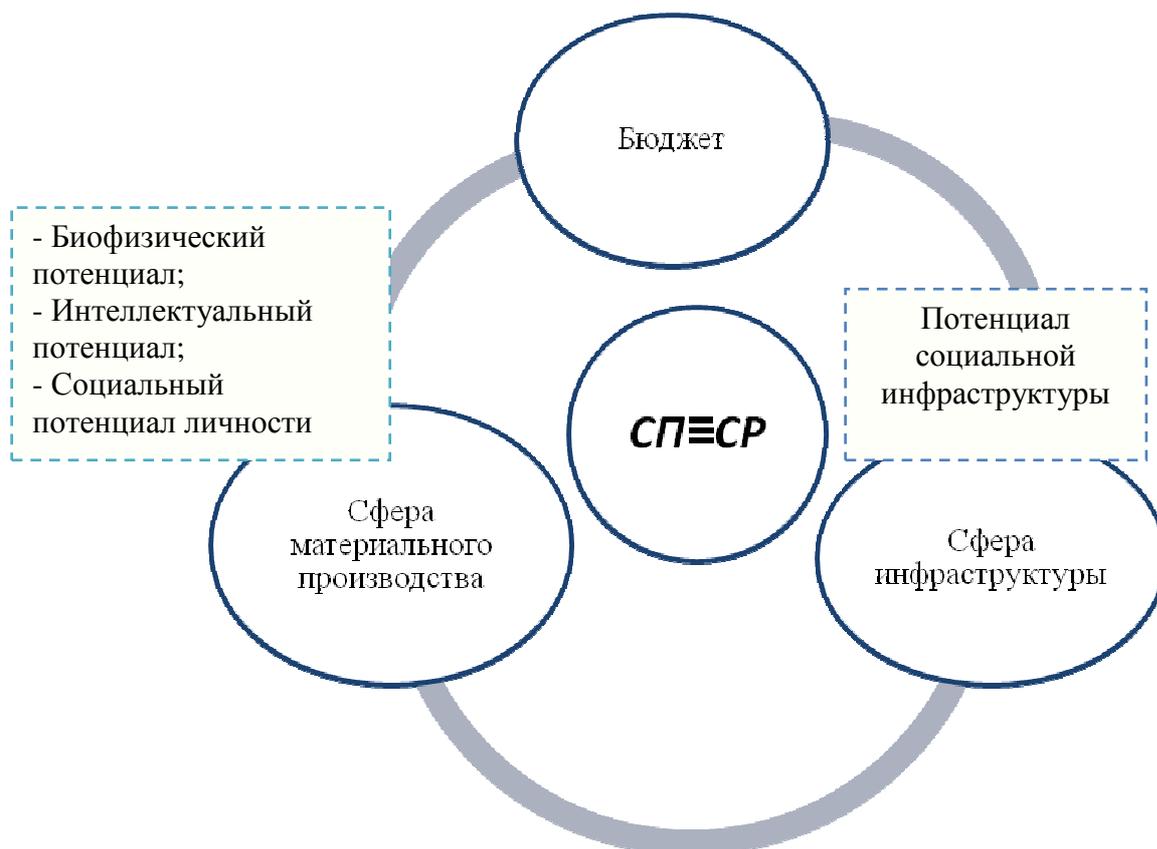


Рис.1–Сферы реализации социального потенциала

При таком определении реализуются следующие функции СП:

- 1) технологическая – является производительной силой, в основе которой лежат знания, информационные системы;
- 2) экономическая – в основе которой лежат отношения между экономическими агентами (актерами);
- 3) институциональная – основана на взаимодействии социальных институтов;
- 4) социальная – направлена на развитие материальной и духовной составляющей сферы.

Региональный потенциал имеет ряд особенностей: во-первых, СП(СР) региона как фактор его развития представляет собой элемент совокупного территориального ресурса. Последний понимается как взаимосвязанный и взаимообусловленный комплекс имеющихся в определенном регионе ресурсов (человеческих, природных, материальных, финансовых и др.) и тех которые могут

быть вовлечены в общественное производство с целью повышения качества жизни населения. Во-вторых, СР представляет собой способность к институциональной самоорганизации, т.е. возможность считывать воспроизводить «старые» институциональные формы, а так же строить на их основе новые [85]. В-третьих, характеристикой уровня развития СР региона наряду с взаимодействием индивидов (интеракциями) является уровень носителей этих взаимодействий – конкретных людей.

Проблемами математического моделирования социально-экономических процессов в целом, в том числе разработки методологии анализа, планирования и прогнозирования систем, математического моделирования систем на региональном уровне посвящены работы таких исследователей как С.А. Айвазян, Д.Л. Андрианов, В.А. Батулин, С.Н. Васильев, С.М. Гуриев, В.И. Гурман, Н. Гликман, М.Г. Завельский, В.В. Ивантер, Ю.П. Иванилов, У. Изард, С.М. Лавлинский, А.В. Лотов, В.Л. Макаров, Г.Г. Малинецкий, Д.В. Соколов, А.Н. Петров, Ю.В. Солодилов, С.А. Суспицын, И.М. Сыроежкин, М.Н. Узяков, Е.Ю. Фаерман, Н.П. Федоренко, Г.Р. Хасаев, В.А. Цыбатов, В.П. Чернов, Р.И. Шнипер, Ю.Н. Эйсснер и другие. Сравнительные достоинства и недостатки некоторых подходов к моделированию, в том числе, с учетом разрабатываемых в настоящей работе моделей, рассмотрим в следующих разделах.

1.2. Место социального потенциала в экономической системе региона с учетом особенностей Пермского края

Пермский край (ПК) – субъект Российской Федерации, входит в состав Приволжского Федерального округа. Административный центр – город Пермь. Численность населения края по данным Росстата 2 634 461 человек (2013). Плотность населения – 16,44 чел/м², городское население – 75,1% (2013) [61].

Исследуемый в работе СП является одним из элементов совокупного потенциала регионально-экономической системы (РЭС) (рис. 2).

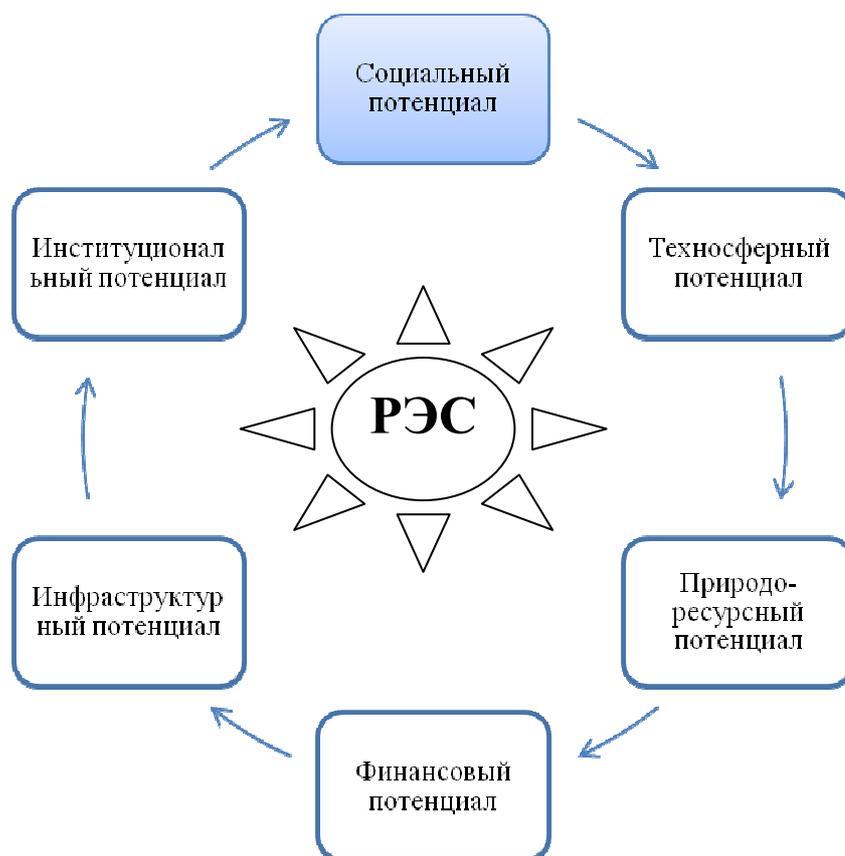


Рис.2–Потенциалы региональной экономической системы

Пермский край по территориальному развитию характеризуется мелкоселенностью, то есть большим количеством разбросанных, мелких деревень и поселков, многие из которых не имеют собственных доходов и отдалены от основных магистралей развития, слабой транспортной связанностью, что отрицательно сказывается на экономическом развитии.

Структура экономики края диверсифицирована и сочетает отрасли типичные как для Поволжья, так и для Урала. К отраслям, адаптированным к рыночным условиям, относятся электроэнергетика, нефтедобыча и нефтепереработка, крупнейший в стране кластер по производству минеральных удобрений, лесная и целлюлозно-бумажная промышленность, цветная металлургия. Более проблемными сферами остаются черная металлургия, в которой преобладают старые предприятия, а так же машиностроение.

Большая часть населения ПК реализует свой потенциал в сфере промышленного производства. В период экономического роста 2000-х годов в

качестве важнейшей проблемы рынка труда выделялся дефицит промышленных рабочих, но кризис 2008-2009 годов показал причину нехватки кадров – низкую производительность труда, невысокий уровень его оплаты (за исключение нефтедобывающей отрасли) и медленную технологическую модернизацию предприятий. Кроме того, такая моноструктура занятости более подвержена риску безработицы, что и проявилось в 2008-2009 годах. Это является следствием концентрации занятых в небольших городах с дефицитом рабочих мест, так как сектор услуг развит слабо (исследование качества жизни в крае, выявило, что наиболее проблемный фактор в развитии региона – усиливающаяся дифференциация населения по уровню дохода). Среди занятых в экономике края преобладают (56,8%) лица со средним и начальным профессиональным образованием (в среднем по РФ – 45,7% в 2012 году) при пониженной доле (22,1%) имеющих высшее образование (в среднем по Российской Федерации 30,4%) Это вызвано индустриальной структурой экономики края, но различия выражены сильнее, чем в половине регионов-конкурентов, и это становится тормозом для модернизации рынка труда.

Опыт других стран и регионов показывает, что более высокий уровень образования повышает социальную и территориальную мобильность, делает работника более адаптивным к меняющимся рыночным реалиям. Пермскому краю, как и другим промышленно развитым регионам предстоит непростой переход к новой структуре рабочих мест, в которой промышленная занятость будет занимать меньшую долю, но она будет более квалифицированной и мобильной [30]. Однако, даже оставаясь недостаточно модернизированным, институт рынка труда обеспечивает баланс спроса и предложения (рис. 3).

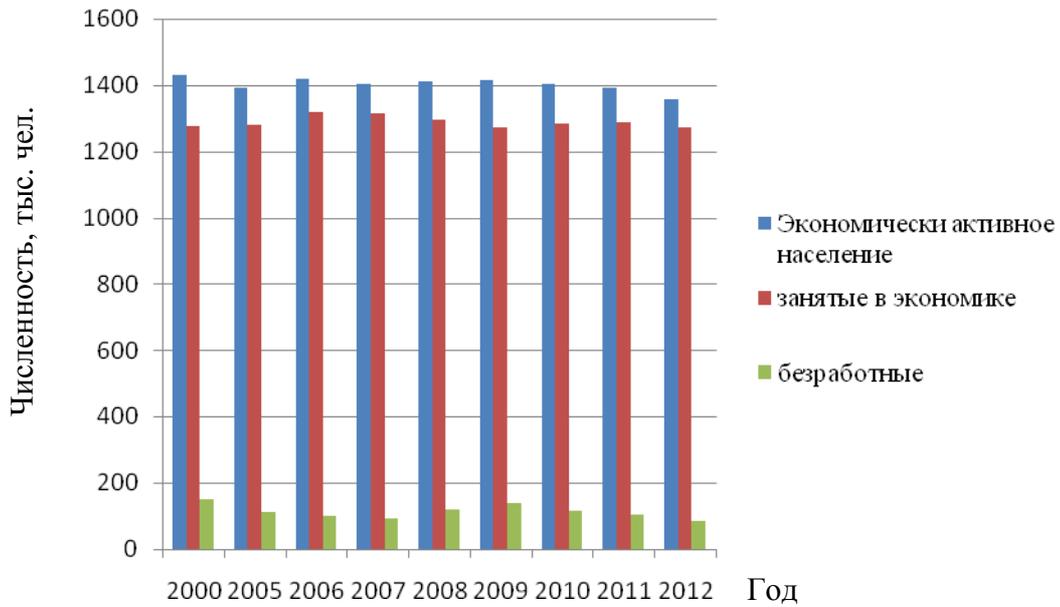


Рис.3–Баланс спроса и предложения трудовых ресурсов Пермского края

Последние еще не гарантируют высоких заработков – в крае на протяжении последних лет наблюдается снижение уровня доходов населения (рис.4) что вызвано политикой «неэффективной» занятости работников: «...вместо переобучения высвобождаемых работников, что позволило бы повысить их конкурентоспособность на рынке труда, экономические акторы избрали путь снижения доходов» [30].

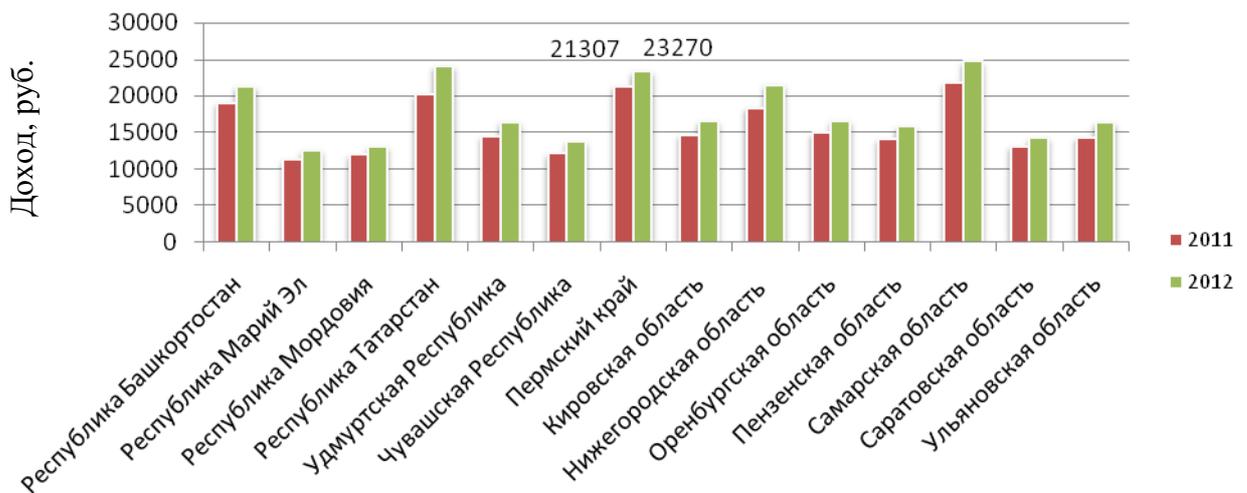


Рис.4–Динамика среднедушевых доходов в месяц в субъектах РФ

Это тупиковый путь, снижающий мотивацию людей и замедляющий развитие СР в регионах. Однако ПК по уровню душевого ВРП входит в число экономически развитых регионов. С точки зрения миграции населения Пермский край является регионом-донором. Ежегодно миграционное сальдо составляет порядка 0,1% населения региона. В основном, регион покидает трудоспособное население с целью получения более престижной и высокооплачиваемой работы, или выпускники школ, поступающие в ведущие вузы страны.

Одним из условий повышения мобильности населения является развитие инфраструктуры региона (здравоохранения, социального обслуживания населения, жилищного строительства и др.). Приток в Пермский край мигрантов из стран СНГ и дальнего зарубежья обусловлен многими причинами, ключевой из которых является экономическая. При этом значительная часть иностранных граждан, легально занятых в экономике региона. В то же время основной причиной сокращения населения региона является не миграция, а незначительный естественный прирост. По прогнозам Росстата, да же при оптимистичных сценариях развития стабилизировать численность населения края в ближайшей перспективе не удастся (рис. 5).

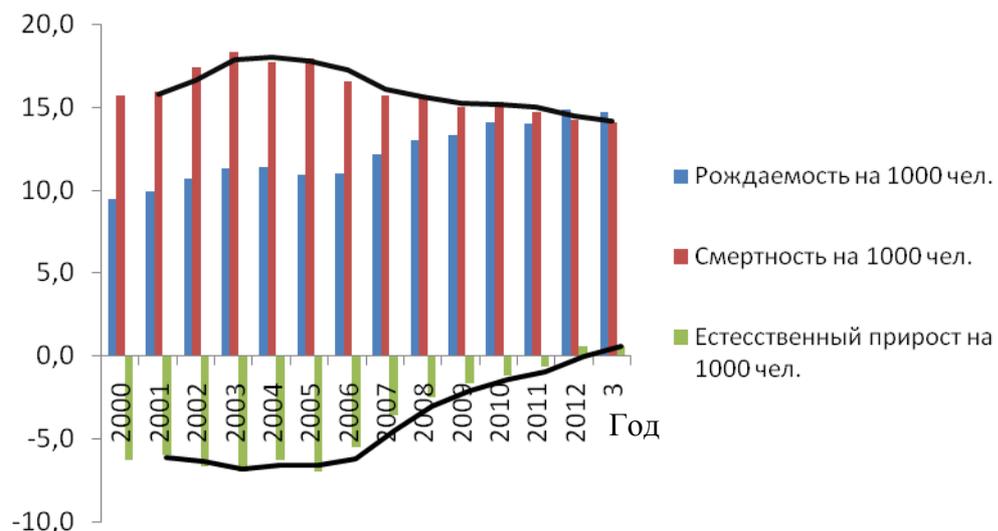


Рис.5—Динамика численности населения Пермского края

Важнейшим индикатором медико-демографического состояния страны выступает продолжительность жизни населения. В Пермском крае этот

показатель один из самых низких среди регионов Российской Федерации. Это может быть обусловлено высокой смертностью населения, в том числе в связи с предоставлением некачественной медицинской помощи.

На сегодняшний день в крае действует программа социально-экономического развития до 2016 года, которая в сфере социальной политики предусматривает следующее:

- достижение устойчивых позитивных тенденций в демографической динамике края и стабилизации численности населения на уровне 2632907 человек к концу 2016 года;
- обеспечение положительного миграционного сальдо на уровне не менее 1500 человек к концу 2016 года;
- снижение смертности населения в трудоспособном возрасте;
- снижение доли бедных и малоимущих семей до уровня не выше среднероссийского.

В период экономического роста 2000-х годов постепенно усиливались объективные барьеры развития. Внутренним барьером стало исчерпание ресурсов дальнейшего роста на базе уже существующих в регионе производственных мощностей.

Внешним барьером выступает поляризация экономического пространства регионов Российской Федерации (РФ) за счет опережающего роста Москвы и нескольких крупнейших нефтегазодобывающих территорий, а так же приморских регионов, выгодно расположенных на путях мировой торговли. Не только Пермский край, но и другие промышленно развитые регионы стали отставать от среднероссийских темпов. Индекс физического объема валового регионального продукта (ВРП) края (за 2012г. составляет 108,3%), что соответствует среднему по РФ (рис. 6).

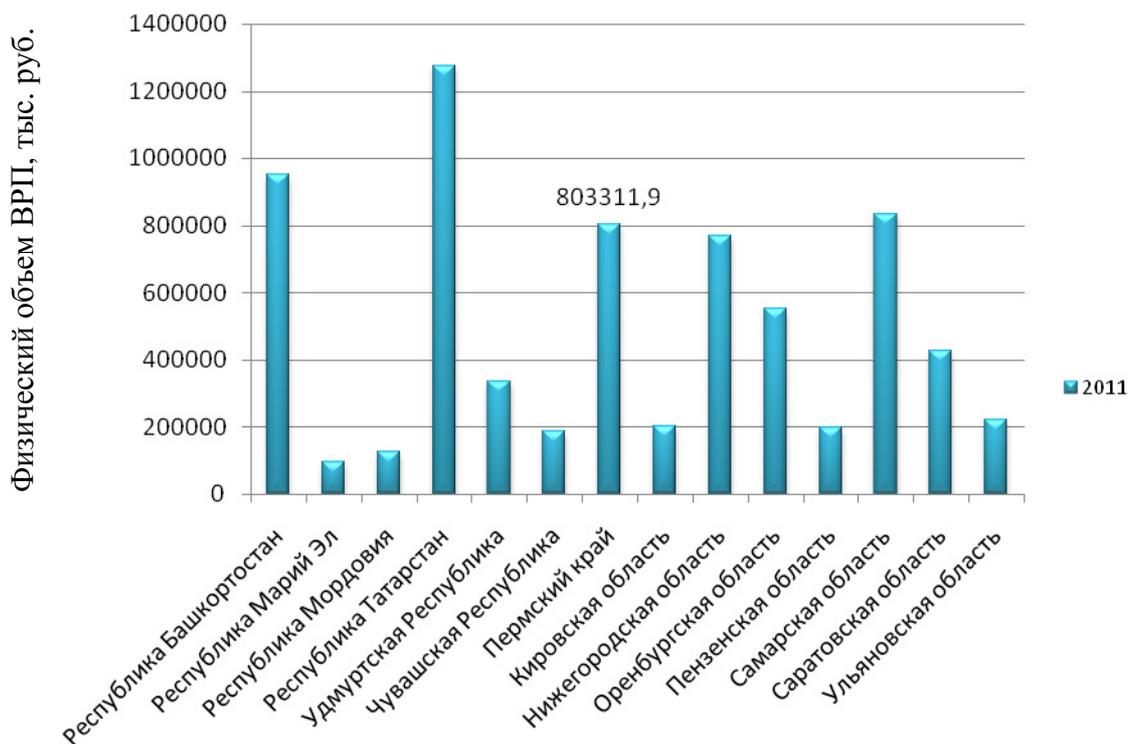


Рис.6–Индекс физического объема ВРП в субъектах РФ

«...проблема замедленного экономического роста может быть решена только путем привлечения масштабных инвестиций в экономику края и роста производительности труда в существующих отраслях и предприятиях» [66].

Политика региональных властей направлена на стимулирование инвестиций с помощью институциональных мер. Пермский край первый и единственный снизил на 4 проц. пункта региональную часть налога на прибыль. Пока это не привело к росту инвестиций, поскольку институциональные преимущества выглядят в глазах российских и иностранных инвесторов менее привлекательными, чем, к примеру, преимущества размещения вблизи рынков сбыта и мест концентрации потребителей.

1.3. Методы оценивания социального ресурса

Итак, социальный потенциал – имеющиеся в наличии общества (территории, города, района) население, в качестве носителя демографического, трудового, образовательного, интеллектуального и культурного потенциалов, которые формируют новые стимулы и мотивы экономического развития,

инноваций, обеспечивают новые формы соединения факторов производства и неординарное использование имеющихся ресурсов [90].

Социальный потенциал (СП) необходим как граничное условие развития промышленных систем. Развитие промышленности, общества, культуры априори невозможны без соответствующего уровня развития социального потенциала.

Однако при всей кажущейся понятности этого термина и большом количестве исследований, касающихся СП, не выработано единообразной и достаточно обоснованной методики его оценки. В то же время, любая задача управления требует, во-первых, чтобы реакция объекта управления была наблюдаемой и измеряемой [36]. Все социальные системы – открытого типа, что приводит к неопределенности определения координат системы в экономическом пространстве [37]. Поэтому задача адекватной оценки СП представляется практически важной и актуальной.

Интегративная трактовка СП рассматривает его как совокупность источников, возможностей, средств и запасов, которые могут быть использованы для достижения цели [64], и, в то же время, как социальную компоненту реализации усилий.

Источниками выступают, прежде всего, человеческие ресурсы, то есть располагаемый каждым конкретным человеком запас знаний, навыков, мотивации и социальной инфраструктуры, которые представлены:

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

Тем не менее, произвести количественную оценку СП, основываясь на приведенной систематизации, невозможно, так как каждый источник и ресурс не являются непосредственно измеряемой величиной. Как правило [24], для решения задач управления оценку СП приводят к линейной комбинации измеримых индикаторов (таблица 1).

Социальная система может быть выражена через экономические процессы, происходящие в ней [5], без которых она не функционирует. В контексте процессного подхода система показателей для оценки СП должна формироваться не по функциональному или целевому принципу, а исходя из совокупного экономического процесса, выраженного в экономических мерах. При этом выбранная система показателей должна отражать совокупный процесс по четырем составляющим: основные и вспомогательные процессы, процессы жизнеобеспечения и процессы, препятствующие развитию (таблица 2).

Таблица 1

Количественные показатели оценки СП

Индикатор (показатель) оценки СП	Методика расчета показателя
Стоимостные индикаторы	
1. Реальные доходы населения	Определяются путем деления общей суммы денежных доходов на индекс потребительских цен
2. Реальная заработная плата работников	Определяется путем деления номинальной (начисленной) заработной платы на индекс потребительских цен на товары и услуги
Индикаторы дифференциации доходов	
1. Децильный коэффициент дифференциации доходов	Выше и ниже которых находятся десятые доли наиболее и наименее обеспеченного населения
2. Распределение населения по уровню среднедушевых доходов	Показатель удельного веса или процента населения в тех или иных заданных интервалах среднедушевых денежных доходов
Частные индикаторы	
Индекс развития человеческого потенциала (ИРЧП)	Среднеарифметическая 3-х индексов: ожидаемой продолжительности жизни, уровня образования и ВВП/ВРП на душу населения

Блоки и экономические показатели развития СП

Блок показателей	Наименование показателя
1.Характеризующие основные процессы в системе	Сальдированный финансовый результат деятельности организаций
	Валовая производительность труда
	Средний уровень загрузки производственных возможностей
	Индекс предпринимательской уверенности
	Индекс делового климата
	Инвестиции в основной капитал на душу населения
	Иностранные инвестиции в экономику страны (региона)
	Валовой внутренний продукт / валовой региональный продукт на душу населения
2.Характеризующие вспомогательные процессы в системе	Перевозки грузов автомобильным транспортом
	Численность студентов государственных вузов на 10000 чел. населения
	Объем платных услуг на душу населения
3.Характеризующие процессы жизнеобеспечения системы	Оборот розничной торговли
	Объем складских запасов
	Численность врачей на 10000 чел. населения
	Густота автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием
	Сбережения
4.Характеризующие процессы препятствующие развитию системы	Заболеваемость на 1000 чел. населения
	Число зарегистрированных преступлений на 100 тыс. чел. населения
	Уровень безработицы
	Недостаточный платежеспособный спрос
	Высокий уровень налогов

Дальнейшее уточнение оценки СП заключается в учете динамики изменений показателей или их рассогласования с заданием (идеалом). Можно выделить три основных подхода к оценке динамики СП:

1. модели, основанные на одном или нескольких «базовых» критериях; прогнозы строятся на основе трендов их изменений;
2. модели оценки баланса нескольких показателей с учетом ресурсных ограничений; прогнозирование затруднено статичностью балансов;
3. модели ранжирования показателей в соответствии со структурой промышленного объекта:
 - производственным возможностям;
 - финансово-инвестиционным возможностям;
 - социальным возможностям.

Социальный потенциал, в первую очередь, связан с человеком, и его свойствами. Первой школой экономической мысли, рассмотревшей «человека экономического» (*economic man*), была классическая экономическая теория (А. Смит, Д. Кейнс). В границах данной концепции, человек как действующий субъект экономической жизни, был сродни «разумной машине», предпочитающей то, или иное благо только исходя из функции удовлетворения предельной полезности, игнорируя внутренние факторы человеческого развития (например, социальные, культурные характеристики), данный «стереотип» был преодолен марксистами, а затем и институционалистами. Последние, в своих работах, выдвигали следующие составляющие поведения человека: во-первых, человек – это элемент репродуктивного и творческого процесса труда; во-вторых, ему свойственна общественная определенность, это социо-культурное существо, суть которого определяется средой воспитавшей его; в-третьих, человек является носителем определенных социально-экономических статусов, в-четвертых, поведение индивида обусловлено институциональной средой, активным создателем которой является сам человек; в-пятых, человек – носитель социального потенциала.

Таким образом, СП представляет многоуровневую систему. Воздействуя на элементы которой можно достичь заданного эффекта. В качестве комплексного параметра отражающего многомерность СП может выступать Индекс развития человеческого потенциала (ИРЧП) учитывающий три параметра: продолжительность жизни, уровень образования, ВРП/ВВП на душу населения. Пермский край занимает довольно низкую позицию по данному показателю (таблица 3).

Таблица 3

Индекс развития человеческого потенциала за 2007 г

	ВВП, дол. ППС	Индекс дохода	Ожидаемая продолжительность жизни, лет	Индекс долголетия	Грамотность, %	Индекс образования, %	ИРЧП	Место в РФ
Российская Федерация	14737	0,833	67,51	0,709	99,4	0,908	0,817	
г. Москва	33603	0,971	72,5	0,792	99,8	0,999	0,920	1
г. Санкт-Петербург	16817	0,855	69,86	0,748	99,8	0,995	0,866	2
Республика Татарстан	18080	0,867	69,44	0,741	99,0	0,912	0,840	4
Свердловская область	14190	0,827	67,5	0,708	99,2	0,901	0,812	9
Челябинская обл.	13664	0,821	67,14	0,702	99,2	0,911	0,811	10
Пермский край	12804	0,810	65,23	0,671	98,9	0,893	0,791	30
Республика Башкортостан	12791	0,810	67,81	0,714	98,8	0,899	0,807	16
Самарская обл.	13097	0,814	67,19	0,703	99,2	0,915	0,811	12

Это связано, прежде всего, с проблемой воспроизводства трудового потенциала, вызванного демографическими причинами, и, не смотря на то, что регион входит в число экономически развитых субъектов федерации и его душевой валовой региональный продукт (ВРП), долгое время был выше среднего по стране (таблица 4).

Таблица 4

Отношение душевого ВРП к среднему по регионам РФ, % (среднее=100%)

	2001г.	2002г.	2003г.	2004г.	2005г.	2006г.	2007г.
Республика Татарстан	114	109	108	106	102	102	103
Самарская область	111	105	106	104	100	97	95
Свердловская область	89	86	85	84	85	94	94
Пермский край	118	104	100	98	94	89	89
Республика Башкортостан	82	75	79	78	74	79	75

Имеющийся потенциал используется не в полной мере, причина этого проста – «недораскрытие» образовательной потенции территории, которая, на сегодняшний день, в большинстве своем, носит чисто «теоретический» характер, что опосредовано потребностью работодателя – если учесть, что значительная часть населения задействована в производственном секторе, уровень «прогрессивности» которого оставляет желать лучшего (износ основных фондов составляет около 80%), то есть потребности в «квалифицированных» кадрах практически нет (за исключением ряда только нарождающихся отраслей, например, сферы инноватики), работник не может в полной мере реализовать свой потенциал. Результат – миграция в другой регион. По данной причине и ряду других, население ПК, начиная с 1990-х годов, в целом, падает (рис. 7).

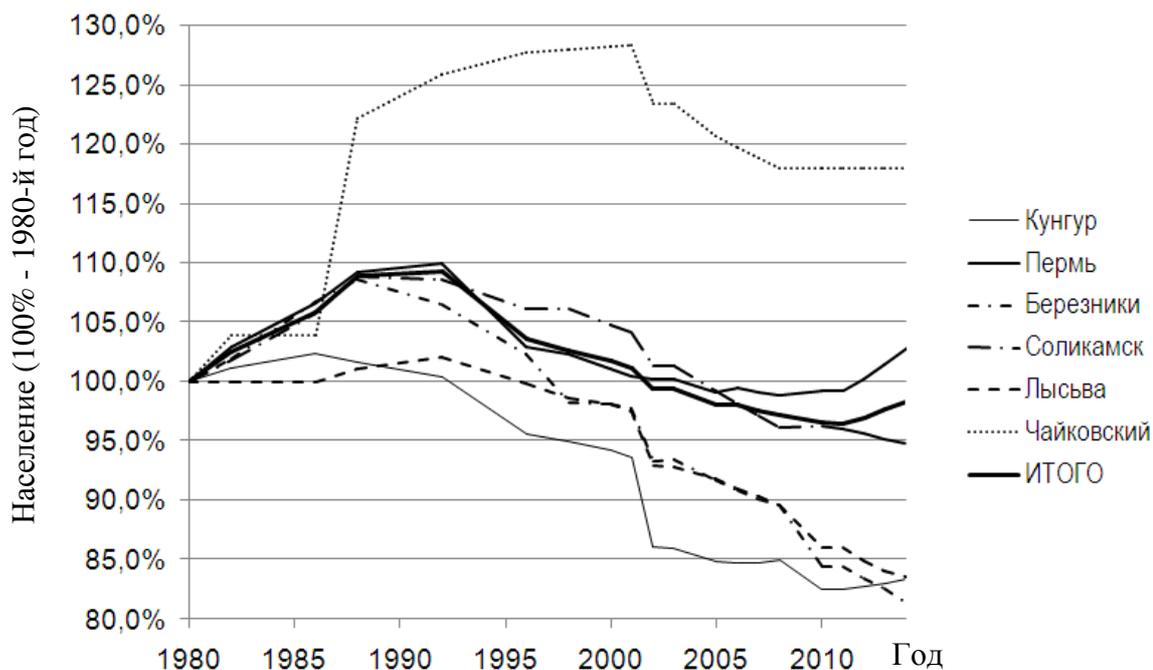


Рис.7–Динамика населения городов и Пермского края в целом

Эпизодический рост населения г. Чайковский перед перестройкой имеет небольшое «последствие», однако, и в нем в результате послеперестроечных процессов население резко снизилось, и этот процесс продолжается. Особое беспокойство вызывает быстрое падение населения Верхнекамского территориально-промышленного узла (представленного городами Березники и Соликамск). Здесь находятся крупные промышленные предприятия, центры переработки добываемого на севере края леса, культурные и деловые центры, распространяющие свое влияние на северные территории (Соликамский, Чердынский, Красновишерский районы и территории, ранее входившие в Коми-Пермяцкий национальный округ). Дополнительное влияние на отток населения оказало затопление одного из калийных рудников ОАО «Уралкалий» в 2006 году, в результате которого произошли просадки земной поверхности, на территории города Березники образовалось несколько провалов, разрушены жилые дома и т.д.

Миграция населения, в основном, происходит в г. Пермь, его население за последние года несколько выросло, и это ведет к росту населения в крае в целом. Однако проблема управления краевым СП не ограничивается только краевым центром. Например, в Верхнекамье находятся крупнейший мировой

производитель калийных удобрений ОАО «Уралкалий», единственный в РФ производитель титановой губки филиал «Ависма» ОАО «Корпорация ВСПМО-Ависма», другие крупные предприятия химико-технологической направленности (филиал «АЗОТ» ОАО ОХК «Уралхим», ОАО «Березниковский содовый завод», ОАО «Соликамский магниевый завод», ОАО «Соликамскбумпром» и другие). Как показано выше, развитие СП во всех его проявлениях является граничным условием существования и развития этих производств.

Конечно, численность населения у большинства исследователей не является единственным частным критерием оценки СП. Как показано выше, большинство исследователей комбинируют разные частные критерии, применяя общеизвестные методы перехода от многокритериальной задачи к однокритериальной [49, 56, 18]:

1. Сведение многих критериев к одному путем введения весовых коэффициентов для каждого критерия (более важный критерий получает больший вес или, что то же самое, ранг с меньшим номером).
2. Минимизация максимальных отклонений от наилучших значений по всем критериям.
3. Оптимизация одного критерия (почему-либо признанного наиболее важным), а остальные критерии выступают в роли дополнительных ограничений.
4. Упорядочение (ранжирование) множества критериев и последовательная оптимизация по каждому из них.
5. Поиск согласованного по некоторым правилам экспертного решения.

Обычно обобщенный показатель эффективности строят на основе использования различных преобразований над выбранной системой частных критериев y_i . В случае использования аддитивных преобразований

$$Y = \sum_i a_i y_i$$

где a_i – веса частных критериев; при использовании мультипликативных преобразований –

$$Y = \prod_i a_i y_i$$

В некоторых случаях построение обобщенного критерия основано на оценке расстояния между идеальной и рассматриваемой альтернативами, и чем ближе качество рассматриваемой альтернативы к идеальной, тем она лучше. В качестве идеальной обычно принимается альтернатива, которой соответствует вектор $\overrightarrow{y^*}$, где компонентами являются максимальные значения для максимизируемых и минимальные значения для минимизируемых частных критериев. В этом случае обобщенные критерии могут быть сформулированы в виде:

а) суммы абсолютных отклонений от идеальной альтернативы для частных критериев одной размерности:

$$Y = \sum_{i=1}^l a_i (y_i - y_i^*) + \sum_{i=l+1}^k a_i (y_i^* - y_i),$$

где $y_i, i = \overline{1, l}$ – частные критерии, подлежащие минимизации, $y_i, i = \overline{l+1, k}$ – частные критерии, подлежащие максимизации;

б) суммы относительных отклонений для частных критериев различной размерности

$$Y = \sum_{i=1}^l a_i \frac{y_i - y_i^*}{\max_i y_i - y_i^*} + \sum_{i=l+1}^k a_i \frac{y_i^* - y_i}{y_i^* - \min_i y_i};$$

в) наибольшего абсолютного отклонения от идеального для частных критериев одной размерности:

$$Y = \max_i |y_i - y_i^*|$$

г) наибольшего относительного отклонения от идеального для частных критериев различной размерности:

$$Y = \max_i \left(\frac{y_i - y_i^*}{\max_i y_i - y_i^*}, \frac{y_i^* - y_i}{y_i^* - \min_i y_i} \right)$$

или используются другие нормы разности между идеальным и реальным положением дел в оцениваемом объекте. Считается, что критерии (а), (б) обладают

неограниченной возможностью компенсации, а критерии (в), (г) на дискретных множествах альтернатив могут давать неверные результаты выбора [77].

Общий недостаток подобных подходов заключается в необходимости экспертной оценки весов (рангов) частных критериев или их идеальных значений, принимаемых с учетом современного уровня техники или с учетом прогресса. Достоинством экспертных методов является быстрота получения результатов даже без наличия (или без учета) нормативной базы, возможность оценивания при невозможности измерить характеристики объекта количественными объективными методами.

К недостаткам экспертных методов можно отнести их определенную субъективность и соответствующие этому возможные погрешности результатов экспертизы, существенные затраты на привлечение опытных экспертов для участия в экспертных работах, влияние авторитетных членов экспертной группы и корпоративных интересов на мнение отдельных экспертов [7]. Поэтому практически важным становится наличие некоей гипотезы об объекте, позволяющей априорно (или апостериорно, после экспертизы) оценить важность частных критериев [59]. Для СП такая гипотеза выдвинута и проверена в следующем разделе работы.

1.4. Модели описания социального ресурса

Методы, применяемые к различным задачам социально-экономического планирования и прогнозирования формализованы и опираются на использование математического аппарата, однако, существуют модели, носящие чисто описательный характер. Так, довольно часто исследователи после работы с источниками литературы пытаются построить модель, описывающую характер исследуемой системы моделями вида:

$$\frac{\partial y_i}{\partial t} = f_i \left(t, x_j(t - \tau_{x_j}), y_i(t - \tau_{y_i}), \frac{\partial y_i(t)}{\partial x_j}, \frac{\partial^2 y_i(t)}{\partial x_{j_1} \partial x_{j_2}}, \dots \right),$$

где t – время, $y_i, i = \overline{1, I}$, как и выше, частные критерии, $x_j, j = \overline{1, J}$ – факторы, влияющие на объект и т.д. Такие модели являются весьма общими и, по мнению

Г.Г Малинецкого [51] могут вызвать глубокое уважение у специалистов, не занимающихся математическим моделированием. Недостатки моделей, записанных в столь общей форме, заключаются в следующем. Во-первых, для составления данного типа моделей требуется огромное количество разрозненной информации, доступ к которой получить непросто, во-вторых, определение коэффициентов функций $f_i(\cdot)$ представляет весьма сложную отдельную задачу. В-третьих, практически нет базы качественных решений системы уравнений. Опыт накоплен в основном, для случаев, когда $J = 2$ и нет запаздывания.

Значительное распространение, в теории социального моделирования получили модели на основе Марковских процессов – когда будущее системы зависит от «прошлого» лишь через «настоящее» (Вентцель):

$$AR(\cdot): x_t = \psi_1 \cdot x_{t-1} + \varepsilon_t$$

Приложение данных моделей возможно лишь при наличии большой статистической выборки по анализируемым параметрам, прогноз развития системы будет основан лишь на основе ретроспективы (адекватность таких прогнозов остается весьма сомнительной).

Например, весьма непростым является анализ даже элементарной модели – уравнения Хатчинсона:

$$\frac{dx}{dt} = ax(t)(1 - x(t - \tau)).$$

Оно, очевидно, относится к тому же классу моделей, и его трудно анализировать как аналитически, так и численно при больших значениях параметра a .

Первой моделью «не описательного» характера является математическая модель мировой динамики Дж. Форрестера (Мир-1) [101], которая позволяла описать и моделировать глобальные процессы (экономические, демографические, экологические и их взаимодействие в планетарном масштабе). Мировая динамика была описана пятью основными переменными, как функциями, зависящими от времени: 1) N – численность населения Земли; 2) K – основные фонды; X – доля

фондов в сельском хозяйстве; 4) R – объем невозобновляемых природных ресурсов; Z – количество загрязнений окружающей среды:

$$Q = Q_c + Q_F + Q_N + Q_Z,$$

где Q_c и Q_F – зависимость качества жизни от материального уровня жизни (C) и питания (F); Q_N и Q_Z отражают влияние факторов N и Z на качество жизни. Целью данной модели являлось выявление тенденций системы и ее качественных характеристик.

Впоследствии модель развития общества Мир-1 была модифицирована и улучшена Д. Медоузом [104]. Имитационная модель представляла из себя систему из двенадцати нелинейных дифференциальных уравнений для основных переменных. Однако усложнение модели привело лишь к более длительным расчетам (так как идентификация параметров затруднилась, а объем статистических данных по-прежнему оставался малым).

На следующем этапе попытки моделирования развития больших систем, была предпринята попытка описания динамики последних при помощи теории многоуровневых систем. Данная концепция была предложена М. Месаровичем и Э. Пестелем [62], которые предлагали рассматривать мир не как единое однородное целое, а как систему взаимодействующих регионов, различающихся по уровню развития и социально-экономической структуре. В модели Месаровича-Пестеля все страны мира были разбиты на десять регионов, каждый из которых описывался системой специальных подмоделей с одинаковой структурой. Основными подмоделями выступали следующие: экономики, демографии, энергетики, связь между которыми осуществлялась за счет импорта-экспорта и миграции. Существенным минусом данной модели являлось отсутствие обратных связей, что приводило к заданию некоторых параметров лицом принимающим решение (ЛПР).

Впоследствии, данные модели были модифицированы группой советских ученых – акад. Д.М. Гвишиани, акад. Н.Н. Моисеевым, проф. В.А. Егоровым и

акад. В.М. Матросовым. В результате, были получены модели, позволяющие управлять развитием системы. В настоящее время прогнозированием

Постепенное усложнение моделей привело к затруднению отражения реальных событий. Большинство ученых сходится во мнении, что разрабатывавшиеся в начале прошлого века модели не позволили предсказать реального развития экономических процессов. Таким образом, обозначилась достаточно важная и актуальная задача – разработка «простой» модели позволяющей с достаточной степенью точности описывать развитие социально-экономической системы, а так же получение достоверных прогнозных сценариев развития последней.

В последние годы участились случаи опубликования серьезных экономических прогнозов на десятилетия вперед, например, прогнозы корпорации «*PricewaterhouseCoopers*» – Мир в 2050 году [42] и фирмы «*Goldman Sachs*» – Мечтая вместе со странами БРИК» путь в 2050 год [63]. Однако, такие прогнозы, во-первых, по силам только крупным исследовательским коллективам, во-вторых, столь длительный горизонт прогнозирования не имеет достаточной степени достоверности, а в-третьих, в подобных прогностических системах используют весьма упрощенные модели типа производственной функции Кобба-Дугласа [31]:

$$Y = AK^{\alpha}L^{1-\alpha},$$

где K – физический капитал, L – численность рабочей силы, A – технический прогресс (совокупная производительность факторов), α – доля дохода, которая обеспечивается за счет роста капитальных затрат.

Помимо прогнозирования развития больших систем в целом, ряд исследователей занимаются развитием теории в приложении к теории регионального моделирования процессов.

Например, В.А. Цыбатов и Г.Р. Хасаев [82] создали модель регионального развития Самарской области. В ней модель развития региона на заданную перспективу предполагает иерархическую структуру моделей (каждый субъект

экономики региона рассматривается в виде агента со своими целями, определенными ресурсами и стратегией поведения) и имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{dX}{dt} = F_x(X, U, C_u, C, t) - \text{модель движения ресурсов;} \\ Y = F_y(X, C_u, C, t) - \text{модель наблюдения;} \\ Y = F_u(X, C_u, C, t) - \text{модель поведения субъектов региона (сценарные условия),} \end{cases}$$

где $C_u = F_c(t)$ – сценарные условия; $X(0) = X_0$ – начальные условия (информационная база); X – вектор фазовых координат, характеризующих состояние развития региона; Y – вектор показателей развития региона; U – вектор параметров управления формированием и распределением ресурсов; C – константы модели.

В практике экологического, социального и экономического моделирования часто используются модели динамики на основе линейных зависимостей вида

$$y(\vec{x}(t), \vec{z}(t), t) = a_0 + \sum_i a_i x_i(t) + \sum_k b_k z_k(t),$$

где $\vec{x}(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots\}$ – вектор факторов, $\vec{z}(t) = \{z_1(t), z_2(t), \dots\}$ – вектор возмущений, $y(\cdot)$ – реакция исследуемого объекта; как вариант, мультипликативные модели

$$y(\vec{x}(t), \vec{z}(t), t) = a_0 + \prod_i a_i x_i(t) + \prod_j b_j z_j(t),$$

либо, для функций одного аргумента –

$$y(x(t), z(t), t) = a_0 + \sum_i a_i x(t)^i + \sum_k b_k z(t)^k,$$

либо модели временных рядов в форме $y(t) = \sum_{i=0}^l a_i t^i$. Легко найти авторефераты докторских диссертаций по экономическим наукам ([29, с. 29], [55, с. 27], [54, с. 10, 16] и т.п.), в которых подобные модели используются для поддержки принятия решений путем прогнозирования свойств объекта в зависимости от принятых в будущем значений управляющих факторов $\vec{x}(t)$.

Если изложить подобные модели на естественном языке, получим примерно следующие формализованные заключения. Например, если вкладывать в объект инвестиции по графику $x_1(t)$, то на выходе получим значение некоторого показателя экономической эффективности $y(x_1(t), z_1(t))$ с учетом спроса на продукцию (возмущающего воздействия) $z_1(t)$. Ключевым здесь является термин «значение», так как подобные модели формализуют связь именно между значением факторов (возмущений) и окончательным, установившемся значением реакции. Это предположение в большинстве работ даже не формулируется, но молчаливо принимается за истинное. Далее производится идентификация a_i и b_j , учет обратных связей, выраженных некоторой функцией $F(y)$, а точнее

$$y(\vec{x}(t), \vec{z}(t)) = a_0 + \sum_i a_i x_i(t) + \sum_k b_k z_k(t) - F(y(\vec{x}(t), \vec{z}(t))) \quad (1)$$

и т.п., а единственный динамический элемент, допустимый в модели, это запаздывание фактора, как и в модели Хатчинсона выше, вида

$$y(\vec{x}(t)) = a_0 + \sum_i a_i x_i(t - \Delta t).$$

Однако предположение о прямой взаимосвязи между изменением фактора и установившемся изменении реакции не всегда выполняется. Например, удобряя поле по разумному графику, можно получить некоторый *рост* урожая (и дальнейшие экономические или социальные бонусы). Достоверно, из множества наблюдений известно, что внесенное (правильное) количество удобрений x_1 *ускоряет* рост урожая в каком-то диапазоне:

$$\frac{\partial y(x, z, t)}{\partial t} \approx a_0 + a_1 x(t) \quad \Bigg/ \quad \forall t: 0 < x(t) \leq x_{\max}, \quad a_1 > 0,$$

а снижение количества осадков в определенных условиях *снижает* скорость роста:

$$\frac{\partial y(x, z(t), t)}{\partial t} \approx a_0 + b_1 z(t) \quad \Bigg/ \quad \forall t: z_{\min} \leq z(t) \leq z_{\max}, \quad b_1 > 0, \quad \forall t: z(t) < 0.$$

Для сложных систем, особенно учитывающих естественные процессы в природе и обществе, идентификация коэффициентов связи между $y(t)$ и $x_i(t)$ приводит к порождению «попугайских» моделей (по терминологии К.С. Лосева, [50]), адекватно интерполирующих прошлое, но не способных к прогнозу будущего. Таким образом, получаемые модели непригодны для поддержки принятия решений. То же можно сказать об экстраполяции $y(t)$ вперед по данным временных рядов (трендов), особенно с учетом ошибок или ненаблюдаемых внешних возмущений. Кроме того, модели на основе полиномов принципиально не способны давать асимптотические приближения критерия, наблюдаемые в реальности. Действительно, известно, что повышение заработной платы способно несколько повысить производительность [76], однако этот рост небеспредельный. Рост производительности остановится при достижении некоторого увеличения оплаты труда, и дальнейший рост зарплат не будет приводить к росту производительности. Такого решения нельзя получить, используя полиномиальные модели. Однако оно является свойственным для моделей на основе дифференциальных уравнений, упомянутых выше.

Итак, модели на основе обыкновенных дифференциальных уравнений имеют [73] очевидные достоинства по сравнению с обычными моделями:

1. естественность описания положительных и отрицательных последствий от воздействия
2. возможность получения асимптотических решений.

Применение регрессионно-дифференциальных моделей (РДМ) на основе обыкновенного дифференциального уравнения (ОДУ) 1-го порядка дает возможность обнаружить некоторые новые эффекты в объектах, а кроме того, как минимум, не худшую погрешность прогнозирования [72, 35, 40]. Авторы этих работ предлагают использовать в качестве основы для модели обыкновенное дифференциальное уравнение первого порядка вида

$$\frac{dy(t)}{dt} = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i x_i(t) + b \cdot y(t), \quad (2)$$

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 $y_{исх}(t_k)$

$$S = \sum_{k=1}^K (y(t_k) - y_{исх}(t_k))^2 \quad (3)$$

определяются коэффициенты уравнения (1), интегрируемого в пределах годового ряда или горизонта прогноза модифицированным методом Эйлера 1-го порядка. Задача минимизации (3) решается любыми методами оптимизации, например, покоординатного или градиентного спуска [39]. Особенностью авторского подхода является то, что как основа модели используются общедоступные годовые ряды статистических данных. К сожалению, в современных условиях в РФ эти ряды не могут быть длительными. В 2010 произошла смена системы национального статистического учета (как часть ее, в учете организаций поменялась классификация с ОКОНХ на ОКВЭД), поэтому возникла общеизвестная проблема – данные об экономике РФ до 2010 года и после, фактически, несопоставимы.

Кроме того, авторы проверяют возможность и качество прогнозирования при использовании линейной регрессионной модели

$$y(x(t), t) = a_0 + \sum_i a_i x_i(t) \quad (4)$$

и, как правило, приходят к выводу, что модель вида (4) не лучше, а в большинстве случаев – хуже РДМ (2) в смысле аппроксимации исходных данных, или объясняющих свойств коэффициентов, или способности к прогнозированию.

Однако эконометрические модели на основе дифференциальных уравнений часто сложны в оснащении, а главное – не позволяют применять общедоступные статистические данные для прогнозирования развития объекта. Во многих моделях искусственно наложены ограничения на вид функции в правой части, обусловленные глубоким анализом предметной области. Так, в работе [6] предлагается модель вида

$$\frac{dy}{dt} = f_i^+ - f_i^-,$$

где f_i^+ – правая часть уравнения, включающая в себя все факторы, вызывающие рост переменной y , а f_i^- включает все факторы, вызывающие убывание переменной. Слагаемые правой части представлены в виде произведения функций, зависящих только от заранее идентифицированных факторов. Авторы объясняют это ограничение тем, что упрощается задача моделирования. Однако при этом необходимо предварительно определить, какие факторы вызывают рост реакции, какие – убывание; как можно представить эти факторы в виде произведений и т.п. Авторы работы [51], как и предыдущей, интересовали глобальные тенденции, возникновение бифуркаций в социально-экономической системе и их использование с целями управления, но не «оперативное», тактическое, управление краем.

Поэтому эта модель, удобная для дальнейших аналитических исследований, но вызывающая ряд ограничений, не лучшим образом подходит для ряда сложных экономических систем, в том числе для моделирования краевого социального потенциала. Модель мировой динамики Форрестера, разумеется, дает асимптотические приближения. Но для ее настройки модели нужны очень объемные данные (автор использовал данные с 1900 по 1970 год). В случае моделирования краевого СП это вызывает сомнения в том, что моделируется один и тот же объект. Действительно, условия развития СП (например, в Пермском крае) существенно отличались на отрезках времени 1900-1917, 1917-1941, 1941-1945 гг. и т.д.. Причем, последние изменения, как видно по динамике населения края, приведенной выше, вызваны политическими и социально-экономическими изменениями 1990-х годов и более поздними. Поэтому достоверность долговременной модели вызывала бы большие сомнения. На уровне управления региональной экономикой, как правило, ни вековые данные недоступны, ни прогноз развития событий на сто лет и более не требуется.

В работах [22] и [79] авторы также предлагают дифференциальные эконометрические модели, выбор факторов в которых также обусловлен глубоким анализом производственных процессов и взаимосвязью между агрегированными

факторами (такими, как объём выпуска, стоимость основных производственных фондов и темпы их прироста, общая и чистая прибыль, сумма налоговых отчислений и т.д.). Поскольку при построении динамической модели развития СП региона невозможно (или очень затруднительно) заранее глубоко исследовать процессы, определить взаимосвязи между факторами, о которых доступны данные, такой подход неприемлем. Ведь именно эта задача и ставится – создать модель, в ходе идентификации которой определится, какие факторы влияют положительно, какие – отрицательно, а влиянием каких факторов можно пренебречь.

Разумным представляется традиционный подход регрессионного анализа, когда заранее определяются только очертания модели (в данном случае, вид и порядок дифференциального уравнения), но никакие предположения о важности, взаимосвязях факторов и т.п. не делаются. Хотелось бы получить столь же простой инструмент, как регрессионная многофакторная модель, для которой не возникает серьезной проблемы идентификации, но лишенный вышеперечисленных недостатков.

В работе [38] произведен сравнительный анализ возможностей прогнозирования экологической системы по данным короткого годового ряда при помощи полиномиальных и дифференциальных моделей, коэффициенты которых найдены методом наименьших квадратов. Показано, что полиномиальная модель хорошо приближает «исходные данные» (на самом деле, полученные решением дифференциального уравнения, составленного с учетом специфики объекта), но даже тактическое, краткосрочное прогнозирование с ее помощью произвести невозможно (рис. 8).

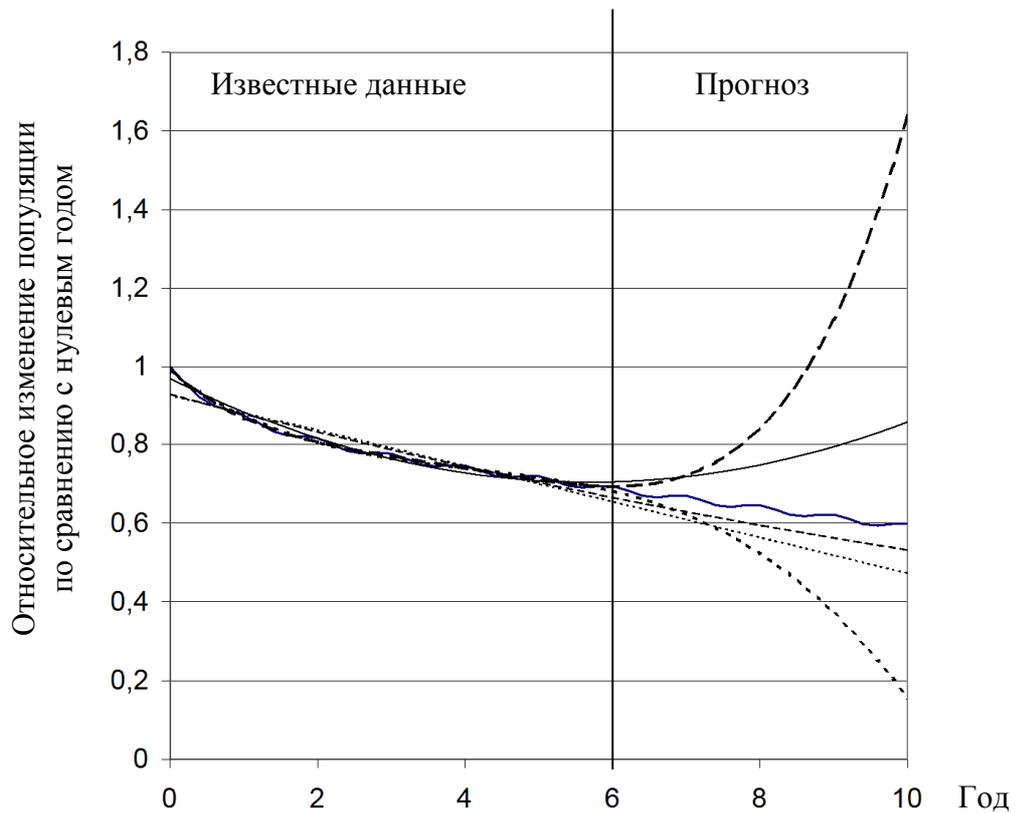


Рис.8—Неудачные попытки прогнозирования роста популяции разными

полиномиальными трендами вида
$$y(t) = \sum_{i=0}^I a_i t^i$$

Аналогичный результат получен и при использовании линейных многофакторных моделей, вне зависимости от степени используемого полинома (рис. 9).

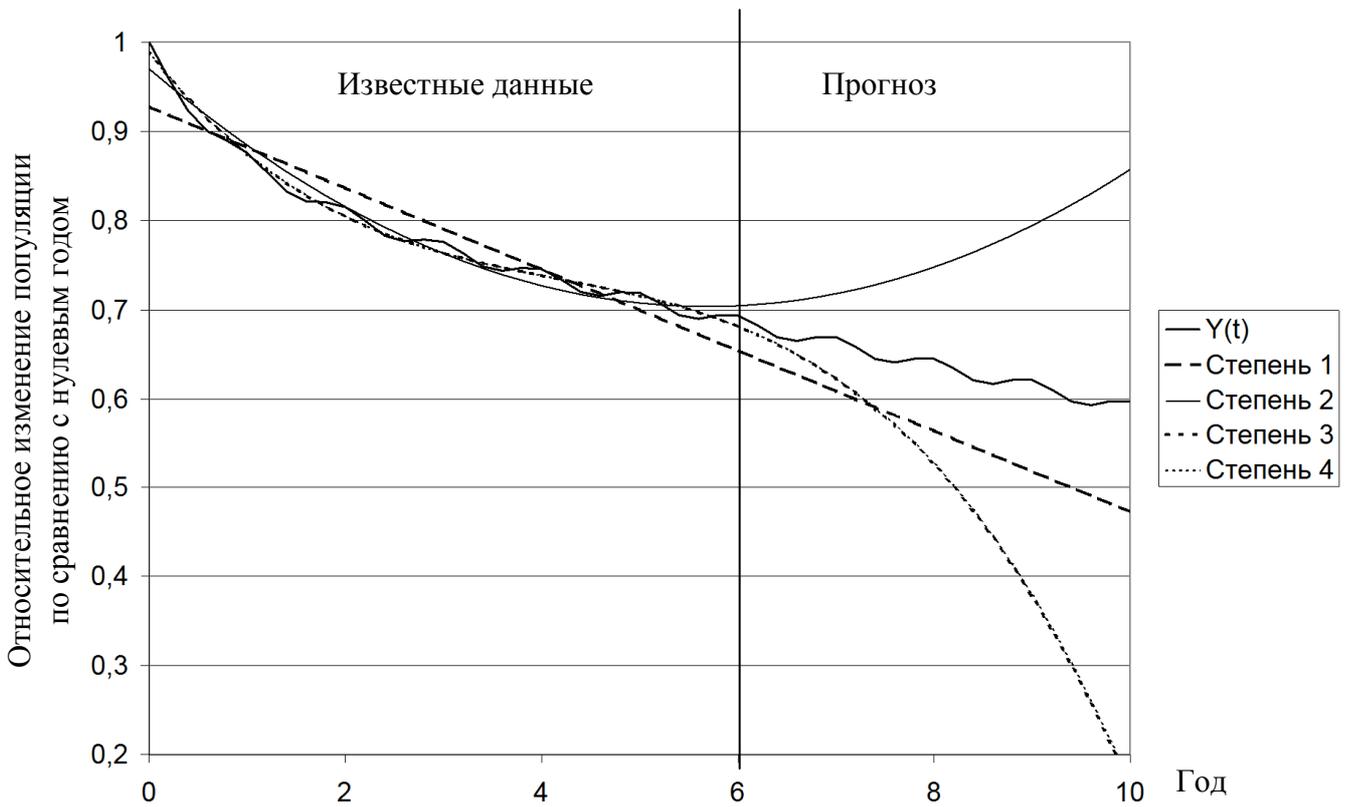


Рис.9—Неудачные попытки прогнозирования роста популяции полиномиальными моделями различных степеней

В то же время использование модели на основе дифференциального уравнения с учетом взаимного влияния факторов

$$\frac{dy(t)}{dt} = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n a_{ij} x(t)^i y(t)^j$$

позволяет получить прогнозы, *качественно* адекватные и обладающие небольшой погрешностью (рис. 10).

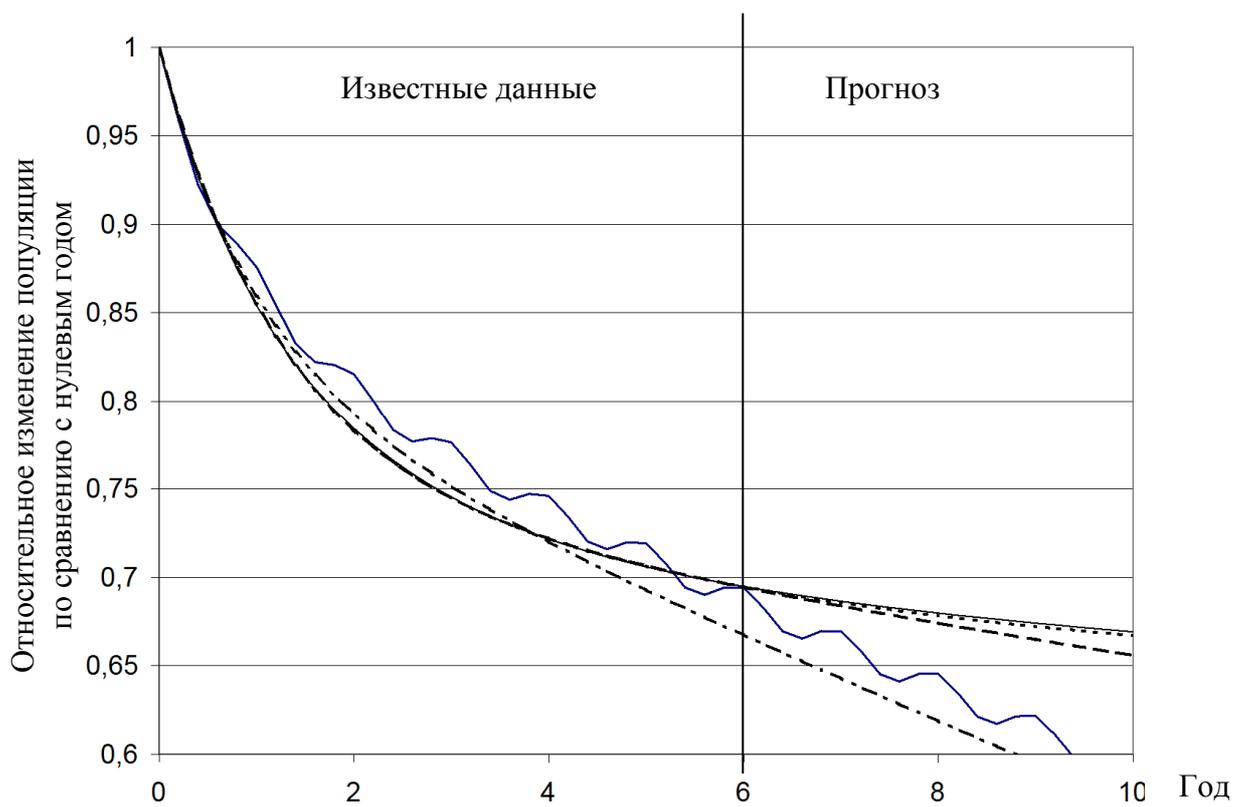


Рис.10—Результаты прогнозирования роста популяции на основе разных регрессионно-дифференциальных моделей

Конечно, нельзя считать, что описанные неудачные попытки *доказывают* невозможность удачных аппроксимаций и экстраполяций временных трендов в моделировании с использованием традиционных и широко распространенных методов. Однако это показывает, что использование регрессионно-дифференциальных моделей (РДМ) может, в принципе, привести к качественному росту прогнозов и, следовательно, принимаемых решений. Хотя в данном примере в основе модели изначально лежит дифференциальное уравнение первого порядка, и, конечно, прогнозные модели на основе полиномов приближают ее хуже, чем РДМ. Но и в других работах по регрессионно-дифференциальному моделированию [73, 39, 95 и др.] авторы приходят к выводу, что РДМ, во всяком случае, не хуже, чем линейные регрессионные модели аппроксимирует исходные данные, а получаемые с их помощью краткосрочные прогнозы имеют меньшую погрешность.

1.5. Выводы и заключение по главе

Таким образом, в результате проведенного обзора 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. Следовательно, задачами дальнейшего исследования являются:

1. Создание регрессионно-дифференциальной модели динамики социального потенциала на примере Пермского края.
2. Реализация модели в программном обеспечении, позволяющем идентифицировать параметры модели.
3. Исследование с помощью созданного программного обеспечения перспектив развития социального потенциала Пермского края и выработка рекомендаций лицам, принимающим решения, о влиянии на динамику СП.

ГЛАВА 2. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ КРАЕВОГО СОЦИАЛЬНОГО РЕСУРСА

2.1. Построение комплексного критерия оценки социального ресурса

В условиях постоянно меняющейся картины функционирования и развития общественной системы (как и любой сложной системы открытого типа) у ее руководства возникает задача эффективного управления, а так же прогнозирования ее дальнейшего развития. В частности, необходимо планировать рост и эффективное использование в государственных (и/или корпоративных) целях социального ресурса. Первой проблемой при постановке задачи управления СР, как и другими сложными системами, является невозможность его непосредственного измерения или оценки. Традиционными подходами к оценке подобных систем являются:

1. Декомпозиция СР на блоки и уровни → получение интегрального показателя качества на основе оценки блоков.
2. Косвенная оценка СР в зависимости от известных (устоявшихся, давно существующих) показателей наподобие индекса развития человеческого потенциала (ИРЧП). Как правило, подобные предложения ничем, кроме мнения авторов и элементарных проверок, не обоснованы.
3. Оценка СР в зависимости от непосредственно измеряемых (и, частично, общедоступных) статистических данных. В этом случае, как и в предыдущем, оценка СР является линейной комбинацией частных оценок с эмпирически (экспертно) определенными коэффициентами.

Во всех перечисленных случаях итоговая оценка получается в виде линейной свертки частных критериев y_i

$$y = \sum_{i=1}^N \alpha_i y_i, \quad (5)$$

где $\alpha_i \geq 0$ – весовое значение показателя.

Также, как в работе [94] рассмотрим решение задачи оценки СР для целей предприятий, общественных организаций, в частных случаях, органов местного

самоуправления, не имеющих доступ к иным данным, кроме общедоступных статистических наподобие [67]. Недостатки приводимых в общедоступных источниках годовых и квартальных рядов хорошо известны:

- большая задержка размещения информации;
- разреженность;
- непонятность формирования некоторых показателей и т.п.).

Из представленных на сайте Пермского отделения Росстата, были выбраны следующие статистические показатели оценки СР, с нашей точки зрения, имеющие или могущие иметь отношение к данной предметной области:

- 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.);
- y_8 численность выпускников СПО (чел.);
- y_9 численность выпускников ВПО (чел.).

Возникает задача определения весовых коэффициентов частных критериев в (1). Общепринятым [Орлов А.И. Нечисловая статистика] является подход, когда путем экспертных заключений или на основании дополнительной информации определяются *ранги* значимости частных критериев R_i , при этом меньшие значения рангов соответствуют большей значимости критериев. Например, этому удовлетворяет простая формула

$$a_i = 1/R_i. \quad (6)$$

Данная формула применима, однако, значения показателя y_7 взяты со знаком «минус», так как он отрицательно влияет на развитие СР, в отличие от всех остальных частных критериев (таблица 5)

Частные критерии, отобранные для оценки СР, и их числовое значение

Год	i	Частные критерии								
		y_{1i}	y_{2i}	y_{3i}	y_{4i}	y_{5i}	y_{6i}	y_{7i}	y_{8i}	y_{9i}
2000	1	2859	20,4	9,7	16,2	243	1429	-152	11936	8841
2001	2	2837	19,7	10,2	16,5	214	1430	-98	13200	10500
2002	3	2814	19	11	18	251	1441	-131	14700	12700
2003	4	2783	18,3	11,3	18,3	261	1411	-99	15400	13900
2004	5	2752	17,7	11,4	17,7	240	1447	-101	15100	14290
2005	6	2719	17,3	11	18,1	213	1419	-99	15675	15389
2006	7	2692	16,9	11,2	16,7	216	1438	-99	16064	15356
2007	8	2674	16,9	12,3	15,9	226	1436	-94	16295	15156
2008	9	2661	17	13,2	15,8	251	1447	-123	14804	15109
2009	10	2649	17,2	13,6	15,3	244	1449	-146	13444	15891
2010	11	2634	17,5	14,1	15,3	240	1441	-123	14161	15910
2011	12	2631	17,8	14,1	14,7	262	1438	-109	12662	15906

Для исключения влияния размерности показателей 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, $j = \overline{1,12}$, причем в 2000-м году $j=1$.

Поскольку выбор частных критериев из числа доступных был достаточно произвольным, применим стандартные методы для оценки его допустимости. Одним из способов проверки независимости выборок $y_k = \{y_{k1}, y_{k2}, \dots, y_{k12}\}$ и y_m является расчет их парной корреляции $R(y_k, y_m)$, которую можно получить с

использованием функции КОРЕЛЛ *MS Excel*. Произведя такой расчет, получили (таблица 6)

Таблица 6

Значения парных корреляций частных критериев (первые 7 строк из 36)

$R(y_k, y_m)$	Значение
$R(y_1, y_2)$	0,8648
$R(y_2, y_3)$	0,6459
$R(y_3, y_4)$	0,6776
$R(y_4, y_5)$	0,1595
$R(y_5, y_6)$	0,1282
$R(y_6, y_7)$	0,3626
$R(y_8, y_9)$	0,5048
...	

Всего проверено $C_{12}^2 = \frac{9!}{2!(9-2)!} = 36$ сочетаний, при этом все наибольшие значения $R(y_k, y_m)$ отображены в табл. 2. На первый взгляд, из результатов расчета следует, что некоторые из частных критериев №№ 1, 2, 3, 4, 8, 9 должны быть исключены из рассмотрения. В частности, исключение критерия y_2 вроде бы дает возможность не рассматривать далее ни $R(y_1, y_2)$, ни $R(y_2, y_3)$; то же можно сказать и о критерии № 3, с которым есть две корреляции с большим значением. Ниже мы проверим в ходе подбора оптимальной ранжировки критериев, подтвердилось ли предположение о влиянии парной корреляции на оценку СР.

Выбор весовых коэффициентов методом экспертиз имеет существенные недостатки. Несмотря на применение различных методов теории экспертиз для исключения субъективизма экспертов (расчетов корреляции, конкордации мнений и т.п.), полностью устранить возможность некачественной экспертизы никогда не удается. Собственно, это свойственно самой природе экспертизы, когда из

множества всех возможных экспертов организатор экспертизы вольно или невольно отбирает тех, кто может выдать устраивающую его ранжировку. Поэтому хотелось бы иметь какой-то критерий оценки ранжировки, не зависящий от подбора экспертов, метода обработки отдельных ранжировок и т.д. В произвольном случае такого критерия может не быть, но в отношении СР можно предположить следующее. Социальная система с большим количеством людей под воздействием каких угодно факторов (исключая глобальные возмущения, наподобие войны, переселения или мора) не может изменяться *быстро*. Поскольку численность населения Пермского края за последние 20 лет менялась *плавно* и не очень существенно, массового единовременного притока или оттока специалистов не случилось, другие упомянутые выше возмущения также отсутствовали, логично выдвинуть гипотезу, что оценка СР края так же должна меняться *плавно*. То есть лучшей должна оказаться та ранжировка, которая обеспечивает минимум оценки

$$\alpha_i : S = \sum_j (y_{j+1} - y_j)^2 \rightarrow \min \quad (7)$$

Для выбора ранжировок, обеспечивающих наиболее гладкое изменение оценки СР, создали таблицу *MS Excel* с данными табл. 1 и написали специальную *VBA*-программу, реализующую полный перебор перестановок рангов всех частных критериев методом Фишера-Йетса [Кнут], так как критериев сравнительно немного ($N=9$) и количество перестановок $N!=9! \approx 3,6 \cdot 10^5$. При большем количестве частных критериев придется использовать более эффективные методы перебора, например, отсекающие повторяющиеся перестановки в случае $\alpha_i = \alpha_j$ при $i \neq j$. Для каждой перестановки рассчитали S по (3) для выбора наилучшей ранжировки.

Указанным методом были получены следующие ранжировки:

- полная (123...9), где сохранены все исходные частные критерии;

- частичные ранжировки (123...), в которых мы предположили, что 1, 2 или 3 частных критерия могут быть отброшены, и решали задачу поиска отбрасываемых частных критериев;
- полные ранжировки вида 111222333 и 112233444, в которых мы предположили, что некоторые частные критерии могут иметь одинаковую значимость (а значит, и одинаковые весовые коэффициенты α_i в формуле 3).

Лучшие варианты ранжировки (1-9, 01-8, 001-7, 111222...) приведены в таблице 7

Таблица 7

Наилучшие ранжировки при разном выборе возможных рангов частных критериев

Частный критерий	Варианты ранжировки					
	1-9	01-8	001-7	0001-6	123	1234
y_1	1	1	1	1	1	1
y_2	2	2	2	2	1	1
y_3	8	7	0	0	3	4
y_4	3	3	3	4	1	2
y_5	9	0	0	0	3	4
y_6	7	6	6	6	2	4
y_7	5	8	7	0	2	3
y_8	4	4	4	3	2	2
y_9	6	5	5	5	3	3
S	0,3069	0,1607	0,1481	0,1468	0,517	0,4529

Наименьшее значение *негладкости* S получено при ранжировке 120406035, график зависимости оценки CP от номера года при этом приведен на рис. 12. На том же рисунке приведены тренды изменений оценки CP при других оптимальных ранжировках критериев из табл. 3. Очевидно, что ранжировка 120406035 (нижняя сплошная линия) действительно наилучшая в смысле гладкости оценки.

Гладкость ранжирования критериев обусловлена характером развития самой системы, которая «не может» (исключая флуктуационные сдвиги) быстро меняться. Полученная нами ранжировка не противоречит здравому смыслу – так,

в начале 2000-х годов экономика края активно росла, – наблюдался значительный рост доходов приносимых предприятиями, что отражалось в уровне ВРП (во многом обусловленный благоприятной экономической конъюнктурой), следствием явился рост налоговых поступлений, а так же увеличение валового регионального продукта в расчете на душу населения (рост доходов). Тогда как 2008-2010гг. характеризовались «провалами» экономики – сказалось воздействие мирового экономического кризиса – падение цен на экспортируемые краем ресурсы, как следствие, снижение инвестиций в развитие СР, а так же сокращение реальных доходов последнего. Однако, такая «понижательная» волна оказалась непродолжительной (во многом это обусловлено быстрым восстановлением прежнего уровня цен на ресурсную составляющую, а так же проводимой политикой руководства государства в части инвестиционной поддержки реального сектора).

Выставляя экспертно те или иные значения рангов (в диапазоне от 1-8) мы руководствовались личным экспертными соображениями, а так же характером поведения самого критерия. Результаты экспертных оценок впоследствии были проверены при помощи *MS Excel* (рис. 11).

Проанализируем адекватность полученных данных: так, например, выставив значимость для шестого критерия (численность экономически активного населения) мы получили однообразные результаты, как на основе экспертного мнения, так и по расчету *MS Excel* – критерий был отнесен в разряд «значимых» с рангом 6. Действительно, развитие системы социального ресурса определяется в большей части не просто фактическим наличием объекта социального ресурса (наличие в «натуре»), а степенью его вовлеченности в хозяйственный оборот, т.е. способностью приносить некие экономические выгоды агентам системы (хозяйствующим субъектам). Абсолютное рассогласование экспертного мнения и программного расчета наблюдается при ранжировании седьмого критерия (численность безработных), так, нами экспертно был присвоен данному критерию 8 ранг - «значимый», на основании того, что в отличие от 6 критерия, y_7 может оказывать большее влияние на

систему в части ее дестабилизации (оттягивание значительных бюджетных средств на поддержание жизнедеятельности СР). Программное средство перебросило критерий в «совсем не значащие», возможно, с одной стороны, потому, что критерий №6 включает в себя седьмой критерий, а с другой стороны, функционирование и развитие краевого социального ресурса обеспечивается лишь экономически активным населением – то есть дестабилизирующее влияние u_7 не несет прямого воздействие на экономического агента (все траты по содержанию, перепрофилированию и возможному трудоустройству берет на себя федеральное руководство).

Удивительно «не значимым» по результатам расчетной оценки оказался критерий № 3 (общий коэффициент рождаемости). Возможно, это опосредовано «безразличием системы» к развитию «собственных» или «ввезенных» ресурсов, то есть носителей СР можно завезти в регион, а не возвращать на своей территории. Ранговые оценки остальных частных критериев оказались во многом схожими.

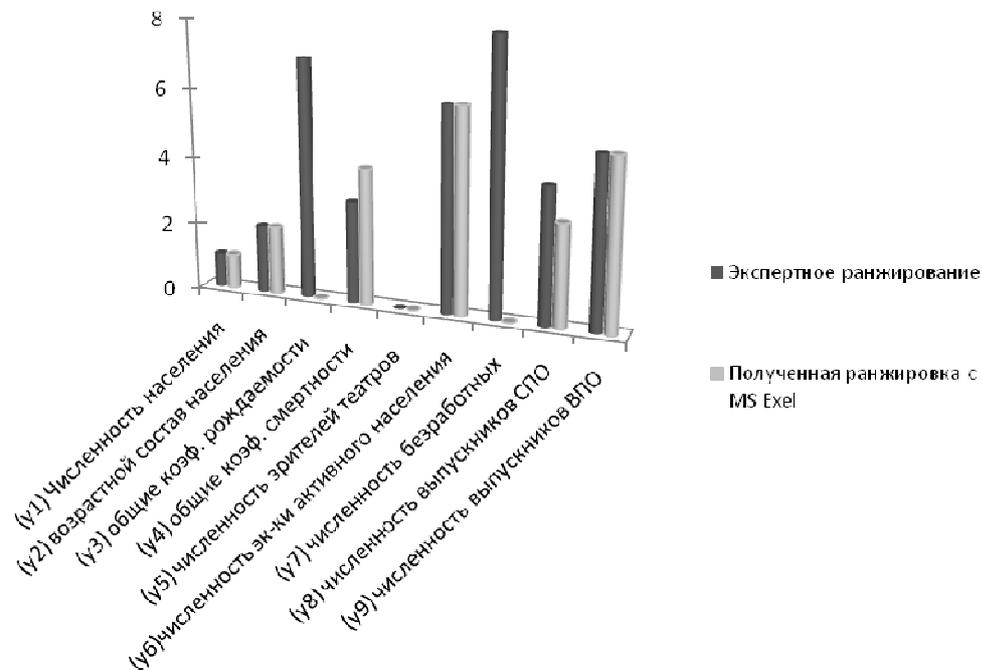


Рис.11–Сравнение экспертной оценки рангов и оптимальной оценки, полученной при помощи *MS Excel*

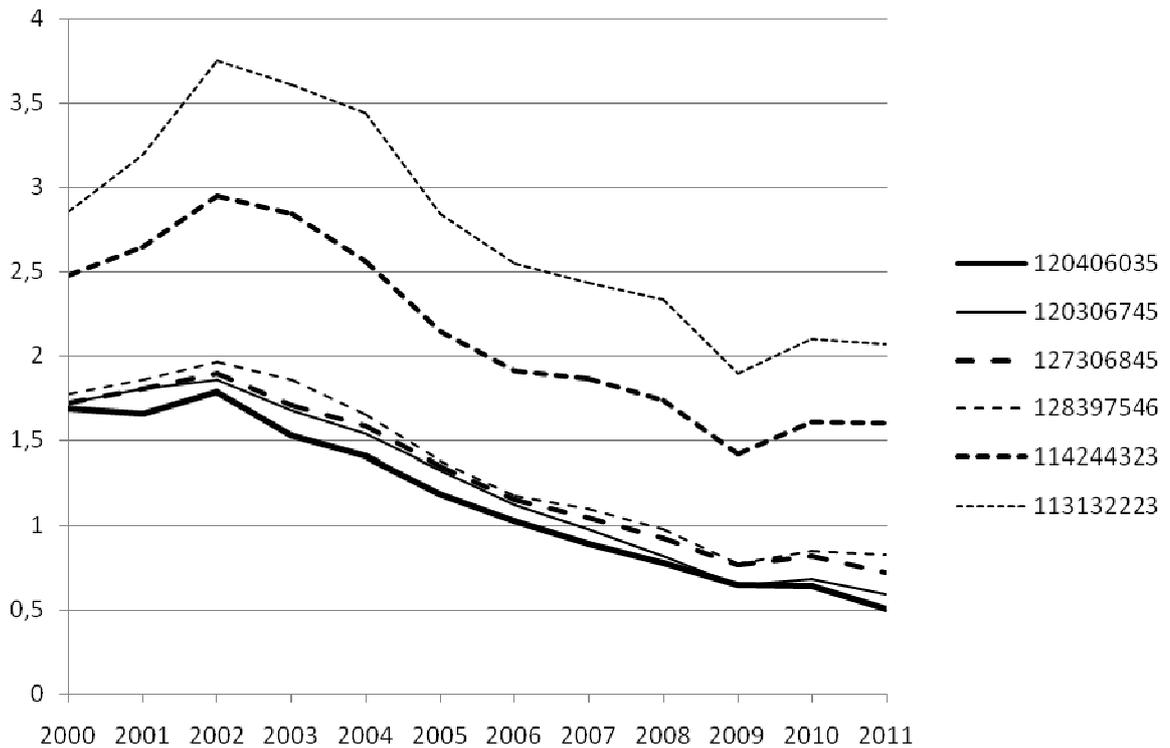


Рис.12–Изменение критерия оценки СР по годам при различных ранжировках частных критериев

Тренд на рис. 12, вероятно, отражает общероссийскую тенденцию падения качества социальных ресурсов как за счет уменьшения количества населения (для Пермского края – с 2869 тыс. чел. в 2000 до 2651 в 2011), так и за счет изменения его качественного состава. Действительно, такое предположение более обосновано, чем периодический рост оценки в 2002-2003 и 2010-2011 годах, который давала бы ранжировка 120406035 и близкие к ней. Если рост оценки СР в 2002-2003 годах еще можно объяснить какими-то постэффектами существования Советского Союза, то новое существенное (на 11%) увеличение оценки в 2010 г. вряд ли может найти рациональное объяснение.

Таким образом, выдвинутая выше гипотеза о том, что частный критерий №2 необходимо исключить из рассмотрения из-за его высокой корреляции с другими критериями не подтвердился. Возможно, это вызвано некоторой неопределенностью расчета возрастного состава населения Росстатом.

В то же время, критерий № 3, имеющий высокую парную корреляцию с критериями № 2 и № 4, в результате подбора оптимальных ранжировок оказался отброшен. Следовательно, например, коэффициент смертности важнее, чем

коэффициент рождаемости в ситуации, когда общая оценка СР практически монотонно падает.

Итак, в результате среди частных критериев оценки СР края, выбранных из числа общедоступных статистических данных, исключены малозначимые критерии, получена их обоснованная ранжировка и, следовательно, конечная формула расчета СР, которая может быть использована для прогнозирования его развития и/или поиска управляющих воздействий, направленных на улучшение социального ресурса края. В дальнейшем в работе используется комплексный критерий оценки СР, основанный на ранжировке частных критериев 120406035.

2.2. Факторы, влияющие на развитие социального ресурса

Рассмотрим группы факторов формирующих социальный ресурс.

Первая группа - это демографические факторы (численность, половозрастная структура, темпы природного прироста, средняя продолжительность жизни населения и т.п.).

В Российской Федерации по данным ВОЗ, на сегодняшний день, наблюдается депопуляция населения – низкая рождаемость и низкая продолжительность жизни (в среднем, 68 лет). На основании прогноза РОССТАТ в период с 2011 по 2020 год население трудоспособного возраста может сократиться в РФ более чем на 20 млн. человек, то есть по 1 млн. человек ежегодно.

Население России стареет, стремительно сокращается рождаемость; что может свидетельствовать о неудовлетворительном качестве жизни россиян (тяжелые условия труда, низкие доходы, отсутствие культуры здорового образа жизни и прорехи здравоохранения).

Вторая группа – социально-экономические факторы, к ним можно отнести:

1. общий уровень образования и профессиональной подготовки населения;
2. рынок труда, спрос на рабочую силу;
3. условия использования рабочей силы;
4. повышение квалификации;

5. социальное развитие персонала.

Высшее образование на сегодняшний день стало базовой потребностью российского общества - 85% семей предпочитают, чтобы их дети получили высшее образование; 45% семей готовы пойти при этом на серьезные материальные затраты (сопоставимые с затратами на обучение).

Но что может предложить «специалистам» отечественный рынок труда?

Доля мест для профессионалов с высшим образованием составляет менее 30%, имея при этом низкую эластичность. Следствием чего является «апатия» работника, а ведь именно личная мотивация является необходимым условием оборота человеческого капитала. Благодаря этому происходит качественное его возобновление посредством появления новых потребностей рынка производства товаров, которые постоянно растут и требуют новых компетенций и при котором повышение уровня знаний и практических навыков людей сопровождается развитием возможностей их практической реализации. За счет этого увеличиваются индивидуальные доходы, растет национальный доход страны.

Третья группа – институциональные факторы:

1. законы и законодательные акты, регулирующие права человека, его развитие и социально-трудовую сферу;
2. государственная политика в сфере человеческого и социального развития;
3. обеспечение равных прав и возможностей устранения дискриминации.

В России инвестированию в образование и повышению квалификации мешает именно несовершенство институциональной среды, слабое регулирование контрактных отношений, поэтому и работник, и работодатель зачастую чувствуют себя незащищенными. Обучение работника за счет организации (тем более общее) связано для работодателя с колоссальным риском – «оттока» социального ресурса в другую организацию.

В целях «удержания» работника (носителя СР) как в конкретном хозяйствующем субъекте (организации), так и в регионе в целом, руководству

соответствующего уровня (микро-уровня – в части предприятий и макро-уровня – в части края) требуется определить рычаги влияния на СР.

В качестве оказывающих влияние на развитие краевой системы социального ресурса нами были выбраны следующие факторы, данные о которых общедоступны (таблица 8).

В основе выбора факторов помимо общедоступности лежало детальное изучение работ посвященных анализу развития социального ресурса региональных образований [54, 55, 78]. Отобранные факторы были подвергнуты корреляционному анализу, который позволил отбросить дублирующие друг друга.

2.3. Выводы и заключение по главе

В главе построен комплексный критерий оценки краевого социального ресурса на основе оптимальной ранжировки частных критериев, обеспечивающей наибольшую гладкость критерия в пределах годового ряда. 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.

Таким образом, созданы все предпосылки для построения математической модели динамики СР, ставящей в соответствие критериальную оценку и значения годовых рядов факторов.

Таблица 8

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

	Год	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
$U_{исх}(t)$	Критерий оценки СР	1,9599	1,9465	2,0724	1,8109	1,5975	1,1835	1,1158	1,1695	1,2753	1,1643	1,3276	1,4233
$x_1(t)$	Коэффициент миграционного прироста населения, на 10 тыс. чел.	-6	-13	-13	-40	-51	-49	-46	-30	-25	-27	-46	-3
$x_2(t)$	ВРП на душу населения, тыс. руб.	43273,2	53152,7	63032,2	74677,3	95786,2	118619,4	140084,5	175365,6	223844,6	201324,3	238822,8	305200
$x_3(t)$	Общая площадь жилых помещений приходящаяся в среднем на 1 жителя, м ²	18,1	18,5	18,6	19	19,4	19,8	20,3	20,7	20,9	21,2	21,5	21,8
$x_4(t)$	Ввод в действие жилых домов, на 1000 чел.	4546	6785	4714	5468	5615	8821	9993	11602	10585	8702	10231	14582
$x_5(t)$	Удельный вес жилых домов построенных населением за свой счет, %	29	21,9	40,7	35,8	38,4	32,4	33,2	38,3	48,7	55,8	40,2	68,1
$x_6(t)$	Среднедушевые доходы населения, руб./мес.	490	2401	3254	4130	5257	6371	8202	10982	13481	16119	17641	19422

Таблица 8 . (окончание)

	Год	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
$x_7(t)$	Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата, руб.	470,4	2433,7	3421,9	4286,6	5283,5	6211,8	7748,9	9516,2	11856	14774,1	15227,6	17438,3
$x_8(t)$	Вклады на депозиты в Сбербанк, на начало года, тыс. руб.	5985	8358	11578	16681	20084	25021	34955	45240	50642	59750	80234	100718
$x_9(t)$	Средний размер назначенных пенсий, руб.	241,4	820,7	1123,2	1450,4	1732,1	1988,5	2490	2792,1	3599,7	4464,3	6042,8	7459,3
$x_{10}(t)$	Число больничных коек, тыс. шт. на конец года	38,6	37,3	34,5	33,2	33,4	32,2	28,5	27,8	24,9	23,7	23	22,8
$x_{11}(t)$	Число зарегистрированных преступлений, на 100 тыс. чел.	2710	2971	3087	2595	3113	3494	4492	4941	4302	3599	3262	2784
$x_{12}(t)$	Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, тыс. тн.	561	572	621	723	435	448	431	395	375	322	325	328
$x_{13}(t)$	Стоимость основных фондов, на конец года, тыс. руб.	350217	472286,5	594356	683649	724508	961938	1113976	1278827	1502190	1605119	1708048	1810977
$x_{14}(t)$	Оборот розничной торговли на душу населения, руб.	14103	19040	24118	29902	36379	47204	64985	80896	102553	107289	119864	132439

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА РЕГРЕССИОННО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ СОЦИАЛЬНОГО РЕСУРСА ПЕРМСКОГО КРАЯ

3.1. Теоретические основы регрессионно-дифференциального моделирования социально-экономических систем

3.1.1 Модель на основе ОДУ высокого порядка

Как показано в разделе 1.4, если не ограничиваться первым порядком ОДУ, для моделирования и прогнозирования динамики более сложных систем логично перейти к РДМ более высоких порядков

$$\frac{d^n y(t)}{dt^n} + \sum_{i=1}^{n-1} g_i \frac{d^i y(t)}{dt^i} = a + b \cdot y(t - \tau_0) + \sum_{i=1}^m c_i \cdot x_i(t - \tau_i) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m d_{ij} \cdot x_i(t - \tau_i) \cdot x_j(t - \tau_j) + \sum_{i=1}^m f_i \cdot [x_i(t - \tau_i)]^2, \quad (8)$$

где g_i – коэффициенты влияния младших производных, a – константа, описывающая влияние одной 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, τ_i – запаздывание воздействия i -го фактора, τ_0 – запаздывание в обратной связи, τ_i – запаздывание воздействия i -го фактора. РДМ дополняется начальными условиями

$$\frac{dy(0)}{dt} = y'_0, \quad \frac{d^2 y(0)}{dt^2} = y''_0, \quad \dots, \quad \frac{d^{(n-1)} y(0)}{dt^{(n-1)}} = y_0^{(n-1)}.$$

Неизвестными в данном случае являются все начальные условия, а также y'_0 , a , b , c_i , d_{ij} , f_i , τ_0 , τ_i . Их поиск, как и в указанных выше работах, произведем минимизацией критерия (3), то есть решением задачи минимизации

$$\begin{aligned} & \{y'_0, a, b, c_i, d_{ij}, f_i, \tau_0, \tau_i\}: \\ & : S(y'_0, a, b, c_i, d_{ij}, f_i, \tau_0, \tau_i) \rightarrow \min \end{aligned} \quad (9)$$

В частности, если не принимать во внимание запаздывание воздействия факторов, для РДМ на основе второго порядка получим уравнение

$$\begin{aligned} \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + g \cdot \frac{dy(t)}{dt} = a + b \cdot y(t) + \sum_{i=1}^m c_i \cdot x_i(t) + \\ + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m d_{ij} \cdot x_i(t) \cdot x_j(t) + \sum_{i=1}^m f_i \cdot [x_i(t)]^2 \end{aligned} \quad (10)$$

или, для краткости,

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

Поиск неизвестных, как и в работе [72], произведем минимизацией критерия

$$S = \sum_{k=1}^K (y(k) - y_{\text{исх}}(k))^2 \quad (11)$$

среднеквадратичного отклонения расчетной величины $y(t)$ от статистических значений $y_{\text{исх}}(t)$, то есть решением задачи минимизации

$$\{y'_0, a, b, c_i, d_{ij}, f_i, \tau_0, \tau_i\} : S(y'_0, a, b, c_i, d_{ij}, f_i, \tau_0, \tau_i) \rightarrow \min. \quad (12)$$

Предварительное обоснование выбора ОДУ высоких порядков для моделирования социально-экономических систем заключается в следующем. Выше, в разделе 2.1 мы, выбирая ранги частных критериев оценки социального ресурса, исходили из «высокой инерционности» большой социально-экономической системы, приводящей к «плавному» изменению реакции системы. Однако интегрирование ОДУ 1-го порядка при любой ступенчатой аппроксимации факторов, вполне допустимой как исходя из их характера (фактор действует без изменений в течение всего года), так и из особенностей статистических данных, всегда приведет к кусочно-линейному ломаному тренду. В то же время логично ожидать, что социальный ресурс

меняется, в отличие от природных ресурсов, оцениваемых по их добыче, достаточно гладко и непрерывно, то есть его тренд должен представлять собой гладкую кривую без разрывов функции (в случае, если численность населения не меняется скачкообразно) и ее производных. Этому соответствуют:

1. Интерполяция критерия оценки социального ресурса в промежуточных точках сплайном.
2. Модель на основе ОДУ высокого (2 и выше) порядка, позволяющая при интегрировании получить гладкую непрерывную кривую.

Возьмем в качестве метода интерполяции $y_i(t)$ в промежуточных точках, не совпадающих с данными годового ряда, полином третьей степени с кусочно-постоянными коэффициентами (кубический сплайн). Тогда уравнение на интервале $t \in [t_{i-1}, t_i]$ будет иметь вид:

$$y_i(t) = a + b_i(t - \tau_{i-1}) + c_i(t - \tau_{i-1})^2 + d_i(t - \tau_{i-1})^3,$$

где a, b, c, d — коэффициенты для этого отрезка; i — номер отрезка сплайна. Коэффициенты определяются из условия сшивания соседних сплайнов в узлах:

- 1) $y_i(t_{i-1}) = y(t_{\tau-1}), y_i(t_i) = y(t_i)$ — условие «сшивания», или равенство значений сплайнов f_i и аппроксимируемой функции y в узлах;
- 2) $y_i'(t_{\tau-1}) = y_{i-1}'(t_{\tau-1}), y_i''(t_{\tau-1}) = y_{i-1}''(t_{\tau-1})$ — условие гладкости «линейки»;
- 3) $y_0''(t_0) = 0; y_N''(t_N) = 0$ — условие «свободных концов линейки», которое может быть заменено другими концевыми условиями.

Выбор интерполяции сплайнами в нашем случае обоснован приведенной в главе 1 гипотезой о гладкости тренда критерия, обусловленной высокой инерционностью больших социально-экономических систем. Известно [8], что, в отличие от аппроксимации полиномами высоких степеней, сплайновые методы не могут привести к «разбалтыванию» расчета и получению значений, далеко отстоящих от узлов интерполяции (значений критерия в годовом ряде). Кроме того, предполагая в дальнейшем

использовать ОДУ высоких порядков в качестве основы модели, разумно сразу же интерполировать исходные данные гладкой кривой, так как решениями ОДУ высоких порядков вне зависимости от разрывности аргументов являются гладкие (без разрывов, изломов, точек перегиба) интегральные кривые.

3.1.2 Метод интегрирования

Уравнение (10) решается с применением модифицированного метода Эйлера для решения дифференциального уравнения высокого порядка. Модифицированный метод Эйлера решения задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения (ОДУ) 1-го порядка

$$\begin{cases} y'(x) = f(x, y) \\ y(x_0) = y_0 \end{cases} \quad (13)$$

хорошо известен и описан в литературе. В отличие от обычного метода Эйлера 1-го порядка

$$y(x + \Delta x) = y(x) + \Delta x \cdot f(x, y)$$

он предполагает вычисление правой части дифференциального уравнения дважды – на этапе предикции

$$y^* = y(x) + \Delta x \cdot f(x, y(x))$$

и этапе коррекции

$$y(x + \Delta x) = y(x) + \Delta x \cdot \frac{f(x, y(x)) + f(x + \Delta x, y^*)}{2}.$$

Аналогом его является метод Рунге-Кутты 2-го порядка.

Рассмотрим применение этого метода для решения обыкновенного дифференциального уравнения высокого порядка

$$y^{(n)} + g_{n-1} \cdot y^{(n+1)} + \dots + g_2 y'' + g_1 y' = f(x, y)$$

или

$$y^{(n)} + \sum_{i=1}^{n-1} g_i \cdot y^{(i)} = f(x, y(x)). \quad (14)$$

Стандартным методом решения является преобразование уравнения (14) в систему ОДУ 1-го порядка

$$\begin{cases} y'(x) = y_1(x) \\ y_1'(x) = y_2(x) \\ \dots \\ y_{n-1}'(x) = f(x, y) - \sum_{i=1}^{n-1} g_i \cdot y_i(x) \end{cases} \quad (15)$$

с начальными условиями

$$\begin{cases} y(x_0) = Y_0 \\ y_1(x_0) = Y_1 \\ \dots \\ y_{n-1}(x_0) = Y_{n-1} \end{cases} .$$

При решении обычным методом Эйлера получим расчетную схему

$$\begin{cases} y(x + \Delta x) = y(x) + \Delta x \cdot y_1(x) \\ y_1(x + \Delta x) = y_1(x) + \Delta x \cdot y_2(x) \\ \dots \\ y_{n-1}(x + \Delta x) = y_{n-1}(x) + \Delta x \cdot \left(f(x, y) - \sum_{i=1}^{n-1} g_i \cdot y_i(x) \right) \end{cases} . \quad (16)$$

Применение модифицированного метода Эйлера дает шаг предикции

$$\begin{cases} y^* = y(x) + \Delta x \cdot y_1(x) \\ y_1^* = y_1(x) + \Delta x \cdot y_2(x) \\ \dots \\ y_{n-1}^* = y_{n-1}(x) + \Delta x \cdot \left(f(x, y) - \sum_{i=1}^{n-1} g_i \cdot y_i(x) \right) \end{cases} \quad (16a)$$

и шаг коррекции

$$\left\{ \begin{array}{l} y(x + \Delta x) = y(x) + \Delta x \cdot \frac{y_1(x) + y_1^*}{2} \\ y_1(x + \Delta x) = y_1(x) + \Delta x \cdot \frac{y_2(x) + y_2^*}{2} \\ \dots \\ y_{n-1}(x + \Delta x) = y_{n-1}(x) + \Delta x \cdot \frac{f(x, y) - \sum_{i=1}^{n-1} g_i \cdot y_i(x) + f(x + \Delta x, y^*) - \sum_{i=1}^{n-1} g_i \cdot y_i^*}{2} \end{array} \right. \quad (16b)$$

Методы (16) и (16а) реализованы и сравнены на примере решения тестового уравнения

$$y'' - y' = 5x - 2y - 2, \quad (17)$$

которое при нулевых начальных условиях $y(0) = y'(0) = 0$ имеет точное решение

$$y(x) = \frac{1}{28} \left(70x - 19\sqrt{7} \exp\left(\frac{x}{2}\right) \sin\left(\frac{x\sqrt{7}}{2}\right) - 7 \exp\left(\frac{x}{2}\right) \cos\left(\frac{x\sqrt{7}}{2}\right) + 7 \right). \quad (18)$$

Реализация произведена на языке C++ в среде *Borland C Builder*. Созданы универсальные функции одного шага обычным методом Эйлера и модифицированным методом Эйлера.

Произведена проверка погрешности обоих методов при интегрировании ОДУ (17) с разным шагом и сравнением с точным решением (18). Полученные результаты приведены в таблице 9.

Таблица 9

Средняя относительная погрешность решения задачи (17) разными методами в зависимости от шага интегрирования

Метод / Шаг	Обычный	Модифицированный
$\Delta x = 0.1$	72,4%	24,5%
$\Delta x = 0.01$	5,37%	1,93%
$\Delta x = 0.001$	0,644%	0,0482%

Таким образом, модифицированный метод Эйлера при том же шаге интегрирования оказался, как минимум, втрое точнее обычного. Далее его применение к нашей задаче.

3.1.3 Методы спуска

Задача (17) решалась двумя методами: методом градиентного спуска и модифицированным методом покоординатного спуска.

Градиентный спуск заключается в вычислении на каждом m -м шаге, начинающемся для ОДУ 2-го порядка в точке $A_m = (y'_0, a, b, c_i, d_{ij}, f_i, \tau_0, \tau_i)$, вектора градиента критерия $\text{grad } S(A_m)$ и определения любым одномерным методом оптимизации шага спуска $\lambda = \arg \min_{\lambda} S(A_m - \lambda \cdot \text{grad } S(A_m))$, после чего происходит вычисление точки следующего шага $A_{m+1} = A_m - \lambda \cdot \text{grad } S(A_m)$. Для краткости здесь и далее обозначим $(y'_0, a, b, c_i, d_{ij}, f_i, \tau_0, \tau_i) = (z_1, z_2, \dots, z_k)$, где длина вектора переменных, подлежащих поиску для оптимизации критерия, k определяется выбранным видом ОДУ (его порядком, учитываются ли коэффициенты взаимного влияния, допускаются ли запаздывания и т.п.) и, в нашем случае, может достигать свыше 200.

Хорошо известными достоинствами градиентного метода является высокая скорость сходимости (квадратичная) и его распространенность. Однако если в ходе расчета будет обнаружен локальный минимум, метод не сможет покинуть его окрестность. Кроме того, метод является условно сходящимся. Расчет градиента предполагает вычисление вектора частных производных критерия по каждому фактору

$$\text{grad } S(A_m) = \left(\frac{\partial S}{\partial z_1}, \frac{\partial S}{\partial z_2}, \dots, \frac{\partial S}{\partial z_k} \right)^T,$$

а для численного расчета каждой производной нужно вычислить значение функции в точке, отстоящей от A_m :

$$\frac{\partial S(z_1^m, z_2^m, \dots, z_k^m)}{\partial z_i} \approx \frac{S(z_1^m, \dots, z_i^m + \Delta z_i^m, \dots, z_k^m) - S(z_1^m, \dots, z_i^m, \dots, z_k^m)}{\Delta z_i^m}.$$

Таким образом, для каждого вектора градиента необходимо рассчитать одну центральную точку $S(A_m) = S(z_1^m, z_2^m, \dots, z_k^m)$ и еще k значений критерия.

Модификация градиентного метода, заключающаяся в ограничении максимального шага для повышения сходимости расчетов

$$\lambda : \lambda \cdot \text{grad } S(A_m) \leq \lambda_{\max},$$

описана далее в этом разделе.

В модифицированном методе покоординатного спуска, в отличие от предыдущего, проблема остановки расчетов в локальном минимуме частично компенсируется, так как на каждом шаге производится построение сечений поверхности функции квадратичного рассогласования по каждому фактору на каждом шаге (рис. 13).

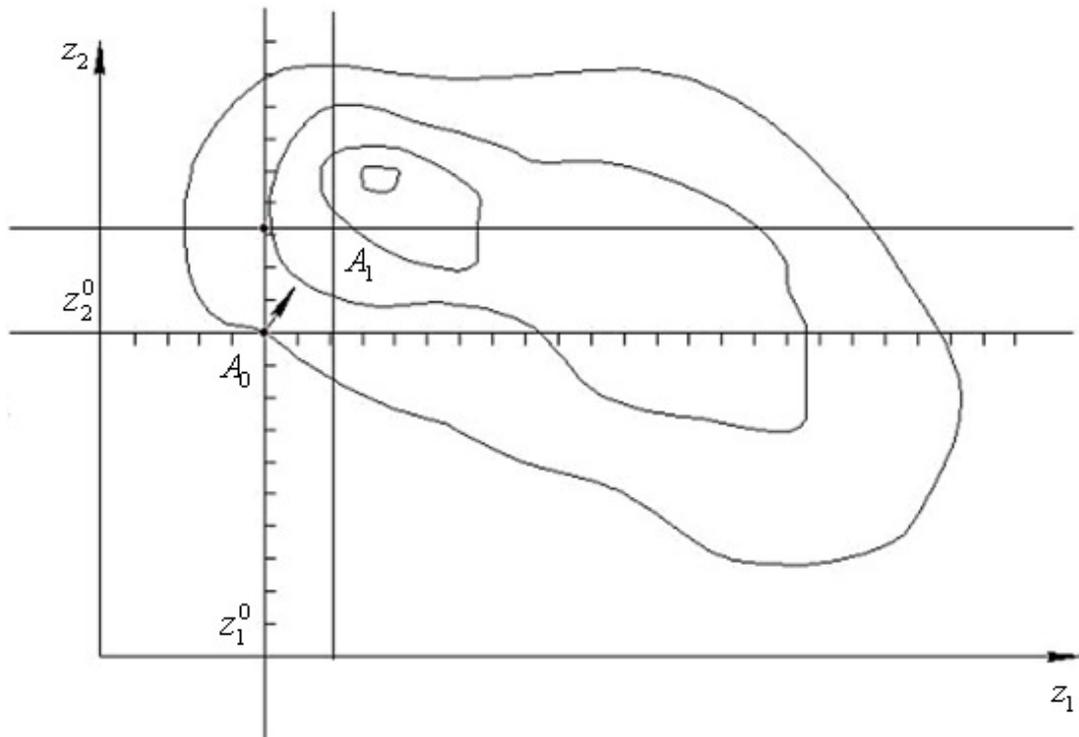


Рис. 13—Пояснение к модифицированному методу покоординатного спуска

Алгоритм модифицированного метода заключается в следующем.

1. Инициализируемся некоторым значением $A = \{z_1^0, z_2^0, \dots, z_k^0\}$,
установим начальное значение критерия $S_0 \gg 0$, минимальный шаг спуска δz , максимальное количество итераций.
2. Сбрасываем локальный и глобальный признаки продолжения расчета. Локальный признак устанавливается в «истина» в случае, если в п. 3 алгоритма произошел спуск по какой-то координате. Глобальный признак, равный «истина», позволяет после уменьшения шага спуска до предельного значения в случае, если спуск вообще происходил, вновь рассчитать сечения в широкой окрестности и, в некоторых случаях, выйти из локального минимума.
3. Устанавливаем начальный шаг спуска по каждой координате Δz_i (или, для нормированных значений факторов, один общий начальный шаг спуска Δz)
4. По каждой координате $z_i, i = \overline{1, k}$ производим расчет сечения из $\pm R$ значений критерия S , расположенных от $-R \Delta a$ до $+ R \Delta a$ следующим образом:
 - а. предположим, что текущая точка $A_m = \{z_1^m, z_2^m, \dots, z_k^m\}$ является точкой минимума на данной итерации, то есть $A_m^* = A_m$, где m – номер итерации
 - б. фиксируем значение всех переменных кроме одной, получая одномерную функцию $y(z_i, t): z_j = \text{const } \forall j = 1, 2, \dots, i-1, i+1, \dots, k$;
 - в. проводим одномерную оптимизацию по переменной x_i любым методом (в данной работе использовался метод золотого сечения);

d. если найденное в ходе одномерной оптимизации значение критерия $S(A_m^*) < S_0$, то

i. запоминаем $S_0 = S(A_m^*)$;

ii. запоминаем новое значение A_m^* ;

iii. устанавливаем локальный признак продолжения расчета и глобальный признак продолжения расчета.

5. Присвоить $A_{m+1} = A_m^*$.

6. Если локальный признак продолжения расчета установлен, перейти к п. 4.

7. Если $\Delta z \geq \delta z$ и количество итераций меньше максимального, уменьшить шаг $\Delta z = \Delta z / Z$ и перейти к п. 4 (использовались $Z = 2$ и $Z = 10$).

8. Если установлен глобальный признак продолжения расчета и количество итераций меньше максимального, перейти на п.2.

9. Алгоритм завершен, найдена точка $A^* = \arg \min_A S(A)$.

Таким образом, даже после достижения какого-то (локального или глобального) минимума используемый метод «пытается выйти» из найденной точки, то есть один раз производится расчет сечений по всем координатам с начальным, большим, шагом. Если выйти не удалось, шаг будет уменьшаться, но глобальный признак останется не установленным, и алгоритм завершится.

По результатам практической реализации обоих методов оказалось, что, несмотря на трудность вычисления градиента, градиентный метод сходится существенно быстрее по координатному. Однако в начале расчета градиентный метод достаточно часто расходится, и приходится несколько первых шагов делать по координатным методом, а по окончании счета градиентным методом в ряде случаев удавалось улучшить решение по координатным методом (выйти из локального минимума). Поэтому для

практического применения была выбрана разумная комбинация градиентного и модифицированного покоординатного спуска.

3.2. Программное обеспечение, реализующее модель

Программное средство, реализующее описанную выше модель, реализовано в среде *Borland C Builder* в ходе выполнения гранта МОН РФ № 8.8544.2013 и зарегистрировано ОФЭРНИО (св-во номер 20381 от 30.09.2014.).

Ввод данных осуществляется на вкладке (рис.14), где устанавливается количество лет, за которые имеются данные, и количество факторов. По мере изменения лет и количества факторов меняется размер таблицы в центральной части, куда необходимо занести не нормированные данные о реакции системы и факторах.

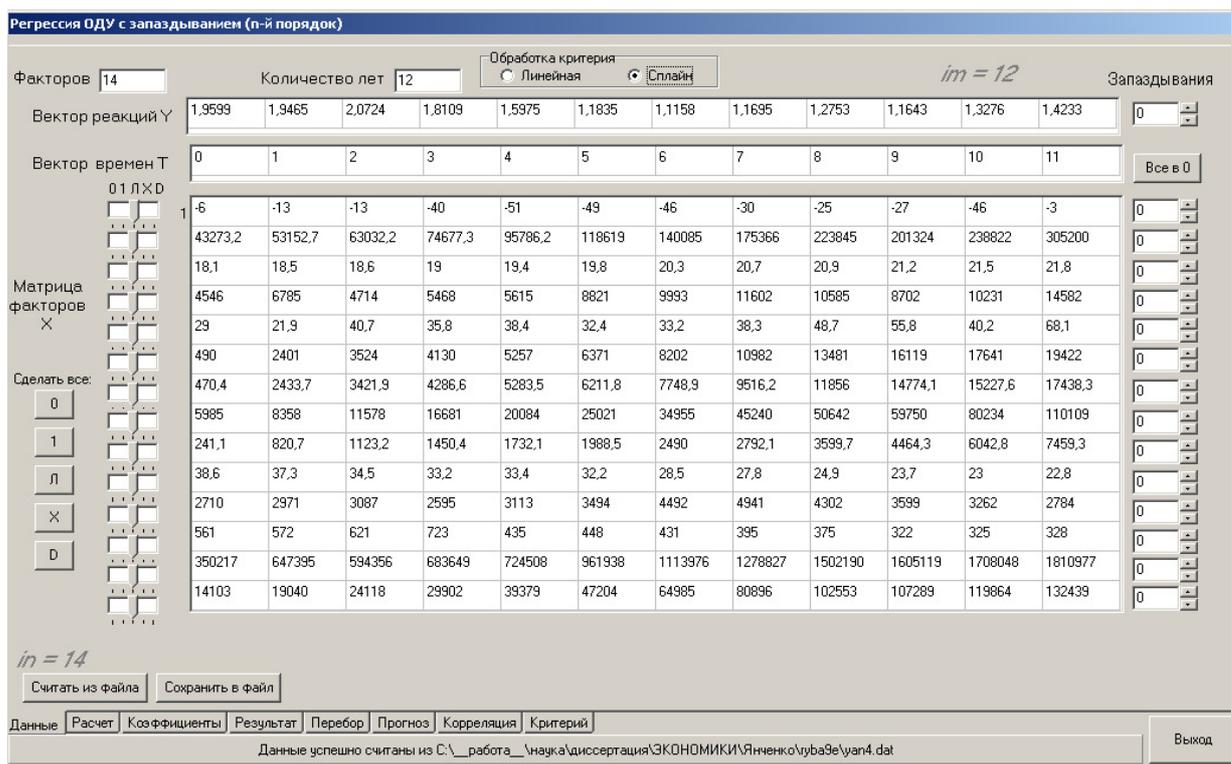


Рис.14–Интерфейс программного обеспечения: вкладка «Данные»

На этой же вкладке производится настройка интерполяции факторов «0», «1», «Л» и «X» (движками в левой части и кнопками установки всех движков в одно из положений), а также настройка интерполяции реакции (кусочно-линейная или сплайн). В правой части производится настройка

дискретных запаздываний (лагов) воздействий факторов, описанных далее в разделе 2.2.

Данные можно сохранить в файл или считать из файла.

На вкладке «Расчет» (рис. 15) для контроля выводятся нормированные годовые ряды факторов и реакции и производится настройка расчета.

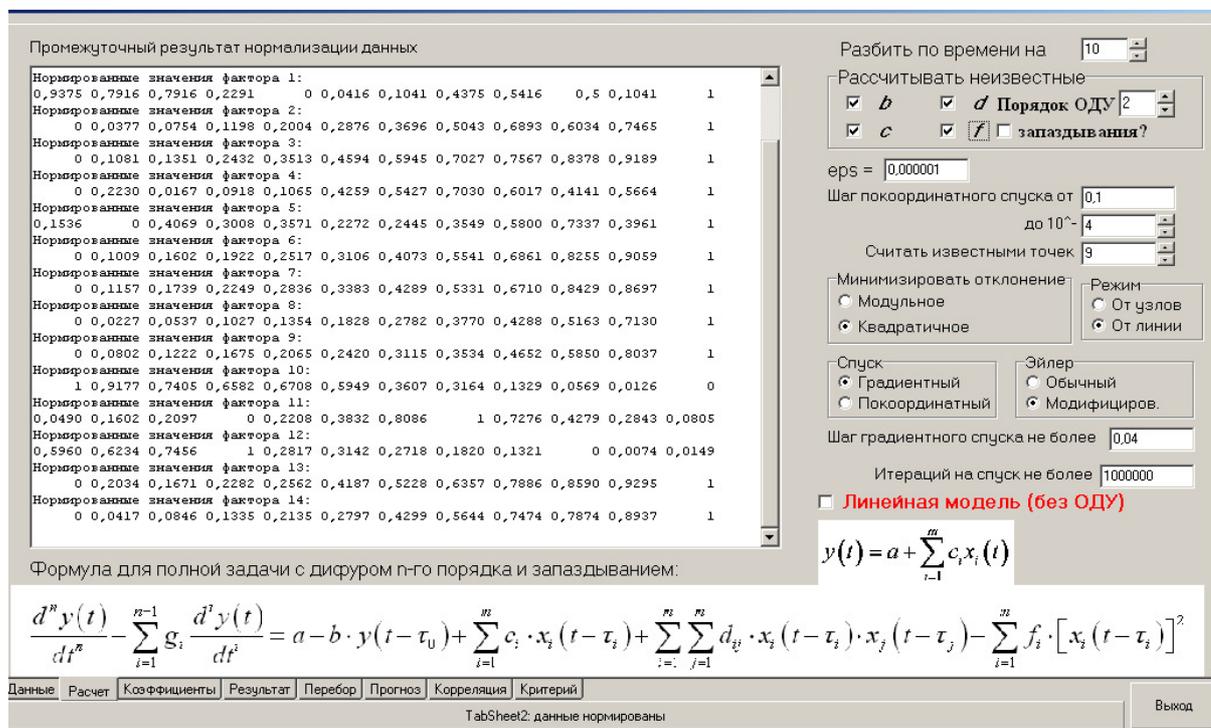


Рис.15–Интерфейс программного обеспечения: вкладка «Расчет»

Настройка расчета включает указание используемых коэффициентов (b – коэффициент обратной связи, c – вектор коэффициентов влияния факторов, матрица d и вектор f – коэффициенты взаимного влияния факторов), устанавливается порядок ОДУ, настраиваются метод решения ОДУ (Эйлера или модифицированный Эйлера) и метод спуска (градиентный или модифицированный по координатный). Кроме того ограничивается количество итераций и шаг градиентного спуска. Пробные расчеты показали, что при большом количестве переменных (более 150) метод градиентного спуска расходится следующим образом. На первых шагах некоторые коэффициенты (чаще всего a и b) принимают большие (более 100) по модулю значения, при этом метод интегрирования дифуравнения начинает

расходиться. Решение задачи оптимизации, соответственно, теряет смысл. Поэтому величина шага в направлении градиента, рассчитанная методом золотого сечения, ограничивается. Это замедляет расчет, но повышает сходимость метода.

Текущее значение всех коэффициентов модели можно контролировать на специальной вкладке (рис.16).

Регрессия ОДУ с запаздыванием (n-й порядок)

Коэффициент a Коэффициент b Y'все

C1	1,2107	-0,3516	0,2432	1,2222	-6,8412	0,9459	0,5161	1,1479	0,1018	-0,3959	0,5575	1,6053	0,7167	1,5014	
	-0,0001	-0,0001	0,0000	0,0002	-0,0006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0003	-0,0002	-0,0013	0,0000	0,0000	
	-0,0001	0,0000	0,0001	-0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	-0,0001	-0,0005	0,0000	0,0000	0,0000	
	0,0000	0,0001	0,0002	-0,0002	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0003	0,0001	-0,0006	0,0002	0,0000	0,0000	
	0,0002	-0,0002	-0,0002	-0,0004	0,0000	-0,0001	0,0000	-0,0001	0,0000	0,0002	-0,0007	0,0003	0,0000	0,0000	
	-0,0006	0,0002	0,0003	0,0000	0,0000	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	-0,0005	-0,0003	-0,0007	0,0000	0,0000	
	0,0000	0,0002	0,0003	-0,0001	0,0003	0,0004	0,0004	0,0002	0,0003	0,0000	-0,0004	0,0000	0,0000	0,0000	
D11	0,0000	0,0002	0,0003	0,0000	0,0003	0,0004	0,0004	0,0002	0,0003	0,0001	-0,0004	0,0001	0,0000	0,0000	
	0,0000	0,0001	0,0002	-0,0001	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0002	0,0000	-0,0003	0,0000	0,0000	0,0000	
	0,0000	0,0001	0,0003	0,0000	0,0002	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	-0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	
	-0,0003	-0,0001	0,0001	0,0002	-0,0005	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001	0,0005	-0,0002	0,0002	0,0000	0,0000	
	-0,0002	-0,0005	-0,0006	-0,0007	-0,0003	-0,0004	-0,0004	-0,0003	-0,0002	-0,0002	-0,0012	-0,0001	0,0000	0,0000	
	-0,0013	0,0000	0,0002	0,0003	-0,0007	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001	0,0002	-0,0001	-0,0009	0,0000	0,0000	
	0,0002	0,0001	0,0003	-0,0001	0,0003	0,0003	0,0004	0,0002	0,0003	0,0002	-0,0005	0,0002	0,0000	0,0000	
	0,0000	0,0001	0,0002	-0,0002	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0003	0,0000	-0,0005	0,0000	0,0000	0,0000	

Пуск Стоп Расчет Очистить Сохранить Считать

F1

G1

Данные Расчет Коэффициенты Результат Перебор Прогноз Корреляция Критерий Выход

Tab3Enter: массивы распределены

Рис.16–Интерфейс программного обеспечения: вкладка «Коэффициенты»

Здесь же можно очистить (обнулить) все коэффициенты, сохранить и считать рассчитанные значения коэффициентов.

Процесс приближения расчетного тренда (зеленая линия) к исходному (красная линия) наглядно представлен на специальной вкладке (рис. 17).

Сюда также выводятся для справки количество неизвестных, время расчета, относительная погрешность аппроксимации и прогноза. В таблице в правой части формы реальное и аппроксимированное значения критерия выводятся также в цифровой форме.

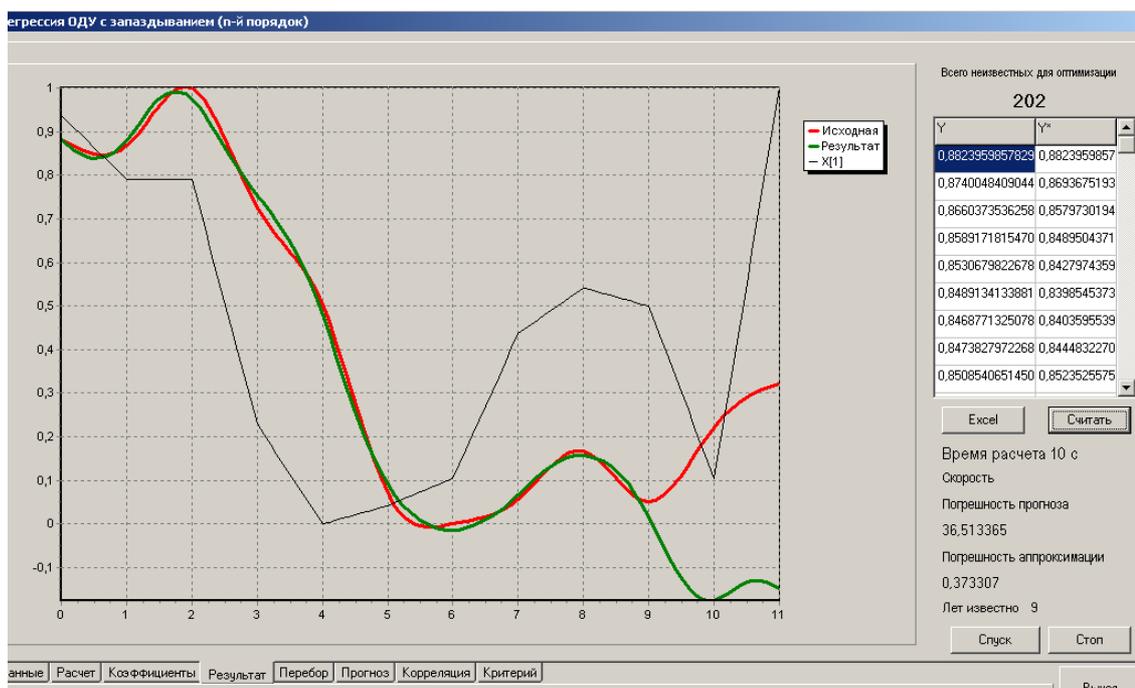


Рис.17–Интерфейс программного обеспечения: вкладка «Результат»

Вместо алгоритма ручного подбора интерполяции факторов, предложенного в [72], в программном средстве реализованы численные методы перебора: полный перебор, случайный перебор и перебор с применением генетических алгоритмов (рис.18).

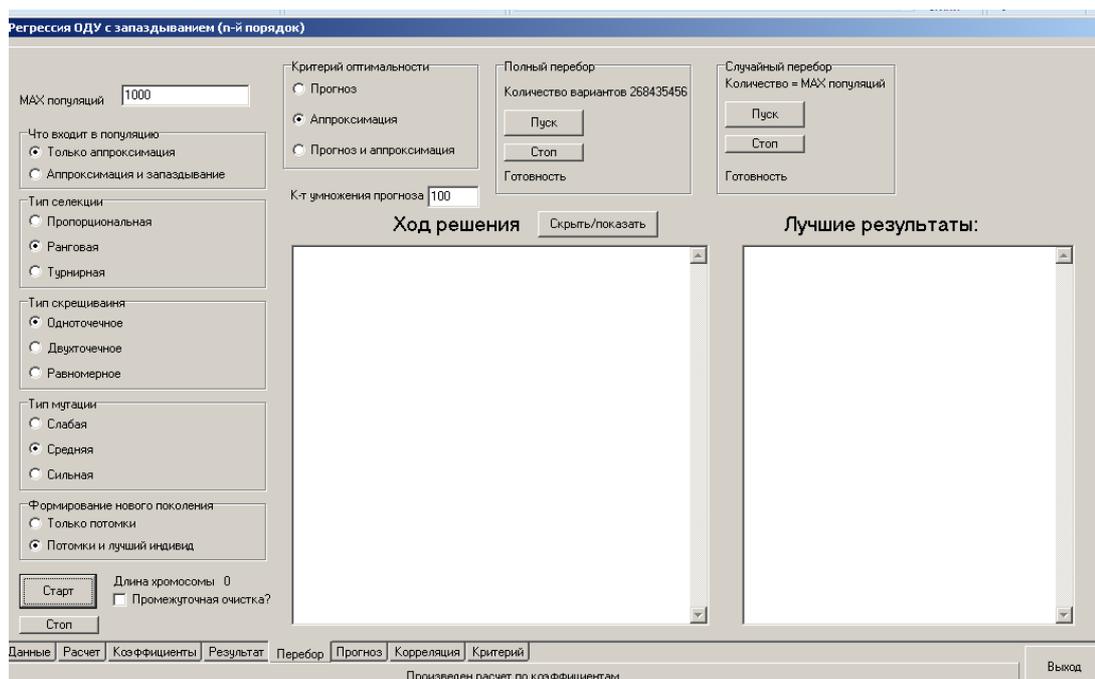


Рис.18–Интерфейс программного обеспечения: вкладка «Перебор»

Здесь определяются настройки генетического алгоритма (состав популяции, типы селекции, скрещивания, мутации, способ формирования нового поколения), задается количество генерируемых популяций.

В программе использована свободно распространяемая библиотека генетических алгоритмов с сайта http://www.harrix.org/main/project_math_harrix_library.php. К ней дописаны функции создания битовой популяции из комбинаций «движков» (рис.14 форма 1) и обратного преобразования. Поскольку каждый «движок» имеет одно из четырех положений («0», «1», «Л» или «X»), для их кодирования достаточно двух битов. Таким образом, в нашем случае популяция имеет размер $14 \cdot 2 = 28$ бит.

Ход решения, а также ряд улучшающихся популяций выводятся в специальные окна. По окончании расчета «движки» устанавливаются программой в лучшую из найденных комбинаций.

Для упрощения корреляционного анализа факторов, произведенного в главе 2, сделана специальная вкладка (рис. 19).

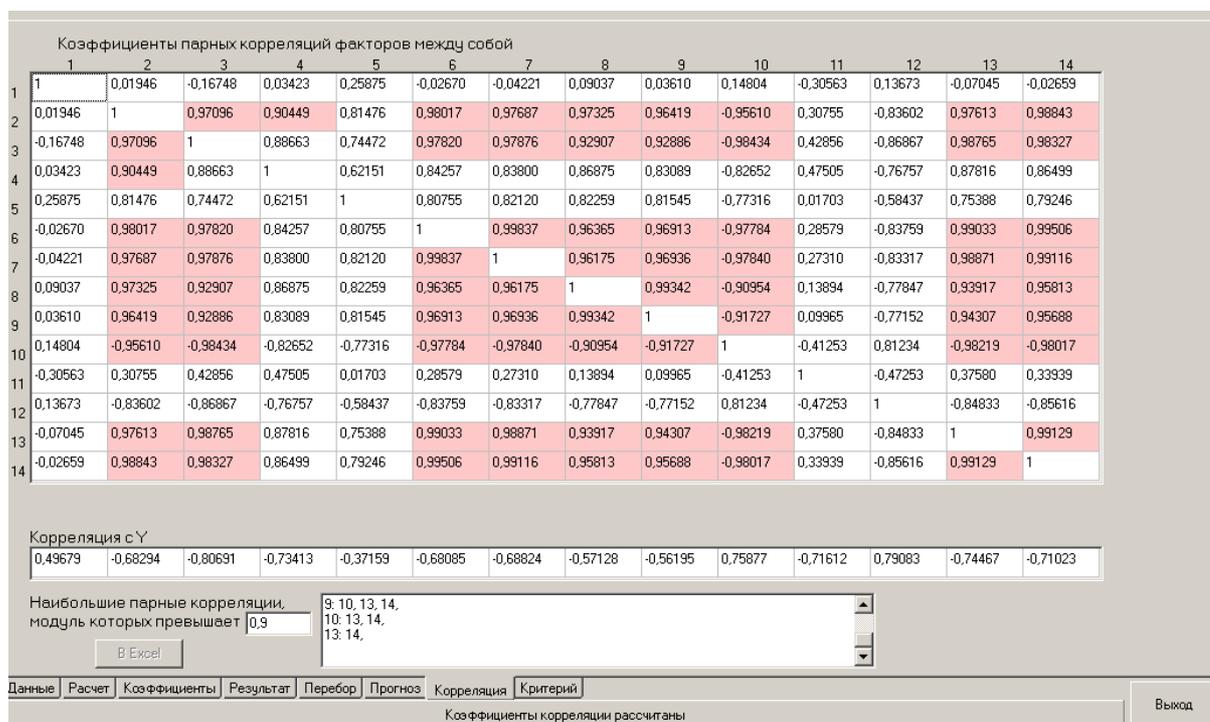


Рис.19–Интерфейс программного обеспечения: вкладка «Корреляция»

Здесь вычисляются коэффициенты парной корреляции между факторами по известной формуле [8]:

$$R_{xy} = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_i (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\overline{y \cdot x} - \bar{y} \cdot \bar{x}}{\sqrt{\sigma_x^2 \cdot \sigma_y^2}}$$

где средние значения $\bar{x}_i = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K x_i(t_k)$ и $\bar{x}_j = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K x_j(t_k)$, i, j – номера факторов, R_{xy}^2 – коэффициент детерминации. Если $R_{xy}^2 = 0.95$, то в 95% случаев изменения X приводят к изменению Y .

Проверка статистической значимости коэффициента корреляции производится по формуле:

$$t = |R_{xy}| \frac{\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R_{xy}^2}},$$

где n – количество степеней свободы (в нашем случае - точек).

В случае если $t > t_{\text{табл}}(n-2, \alpha)$, где α – уровень значимости, коэффициент корреляции статистически значим, и его можно использовать. При уровне значимости 0,05 и менее, статистически незначимы коэффициенты корреляции, связывающие любые факторы с факторами №№ 1 и 11.

Проверим коэффициенты корреляции и уровень значимости для пар факторов 1 и 5 и критерия. Выберем уровень значимости 0,05, что часто используется в подобных задачах. Получим следующие результаты (таблица 10).

Данные для проверки уровня значимости и парной корреляции

x_1	x_5	y
-6	29	1,9599
-13	21,9	1,9465
-13	40,7	2,0724
-40	35,8	1,8109
-51	38,4	1,5975
-49	32,4	1,1835
-46	33,2	1,1158
-30	38,3	1,1695
-25	48,7	1,2753
-27	55,8	1,1643
-46	40,2	1,3276
-3	68,1	1,4233

Коэффициенты корреляции $R_{1y} = 0.49679$ и $R_{5y} = -0.37159$. Значимость коэффициентов $T_{1y} = 1.81015$ и $T_{2y} = 1.26571$. Табличная значимость при 10 точках и $0.05 = 2.31$, поэтому оба коэффициента корреляции не только имеют небольшие значения, но и статистически незначимы.

Несмотря на то, что коэффициенты парной корреляции вроде бы не имеют отношение к регрессионно-дифференциальным уравнениям (а только к линейным регрессионным), представляет интерес изучение влияния межфакторной корреляции на отброс или оставление фактора в поисках их лучшей интерполяции.

Также для удобства сделана форма прогнозирования, позволяющая при известных коэффициентах модели экстраполировать реакцию на указанное количество лет вперед (рис. 20). Использование этой формы предполагает два действия исследователя:

1. Определить характер изменения каждого фактора (постоянный, линейный, квадратичный).

Нормированные значения факторов по годам

Фактор	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,9375	0,7916	0,7916	0,2291	0	0,0416	0,1041	0,4375	0,5416	0,5	0,1041	1
2	0	0,0377	0,0754	0,1198	0,2004	0,2876	0,3696	0,5043	0,6893	0,6034	0,7465	1
3	0	0,1081	0,1351	0,2432	0,3513	0,4594	0,5945	0,7027	0,7567	0,8378	0,9189	1
4	0	0,223	0,0167	0,0918	0,1065	0,4259	0,5427	0,703	0,6017	0,4141	0,5664	1
5	0,1536	0	0,4069	0,3008	0,3571	0,2272	0,2445	0,3549	0,58	0,7337	0,3961	1
6	0	0,1009	0,1602	0,1922	0,2517	0,3106	0,4073	0,5541	0,6861	0,8255	0,9059	1
7	0	0,1157	0,1739	0,2249	0,2836	0,3383	0,4289	0,5331	0,671	0,8429	0,8697	1
8	0	0,0227	0,0537	0,1027	0,1354	0,1828	0,2782	0,377	0,4288	0,5163	0,713	1
9	0	0,0802	0,1222	0,1675	0,2065	0,242	0,3115	0,3534	0,4652	0,585	0,8037	1
10	1	0,9177	0,7405	0,6582	0,6708	0,5949	0,3607	0,3164	0,1329	0,0569	0,0126	0
11	0,049	0,1602	0,2097	0	0,2208	0,3832	0,8086	1	0,7276	0,4279	0,2843	0,0805
12	0,596	0,6234	0,7456	1	0,2817	0,3142	0,2718	0,182	0,1321	0	0,0074	0,0149
13	0	0,2034	0,1671	0,2282	0,2562	0,4187	0,5228	0,6357	0,7886	0,859	0,9295	1
14	0	0,0417	0,0846	0,1335	0,2135	0,2797	0,4299	0,5644	0,7474	0,7874	0,8937	1

Очевидно, например, что фактор 9 в последние года имеет ярко выраженную тенденцию к росту, близкую к линейной (при аппроксимации его средствами *MS Excel* за 8-11 года уравнением $x_9(t) = 0.182 \cdot t - 1.018$ получим коэффициент корреляции $R^2 = 0.986$), фактор 11 – аналогичную, почти линейную тенденцию к снижению ($x_{11}(t) = -0.208 \cdot t + 2.360$, $R^2 = 0.979$), тогда как фактор 12 в последние года почти стабилизируется. Поэтому разумно предполагать, что если не оказывать никакого влияния на факторы, они будут изменяться примерно так же, то есть линейно (или квадратично) расти, снижаться или оставаться на неизменном уровне. Проведя подобное исследование для всех факторов, выяснили, что хорошей аппроксимацией для них в последние известные года будет (таблица 12):

Таблица 12

Исследование характера изменения факторов в года №№ 8-11

Фактор	R_1^2	R_2^2	Характер
1	0,118	0,663	Постоянный
2	0,662	0,991	Квадратичный
3	0,999	0,999	Линейный
4	0,484	0,999	Квадратичный
5	0,217	0,475	Постоянный
6	0,985	0,995	Линейный
7	0,935	0,943	Линейный
8	0,948	0,999	Квадратичный
9	0,986	0,995	Линейный
10	0,907	1,000	Квадратичный
11	0,979	0,989	Линейный
12	0,503	0,917	Линейный
13	1,000	1,000	Линейный
14	0,965	0,994	Линейный

В таблице приняты обозначения R_1^2 – достоверность линейной аппроксимации, R_2^2 – достоверность квадратичной аппроксимации (рассчитано в *MS Excel*).

Оценка фактора № 12 как линейного основана на том, что, несмотря на высокую достоверность аппроксимации (рис. 22), визуально аппроксимирующая парабола достаточно далека от исходных значений в годах №№9-11, а главное, имеет значительно больший наклон в последней точке, чем тренд исходных данных. Поэтому, в данном случае, линейная аппроксимация по годам 9-11 (имеющая достоверность $R_1^2 = 1.000$) более приемлема.

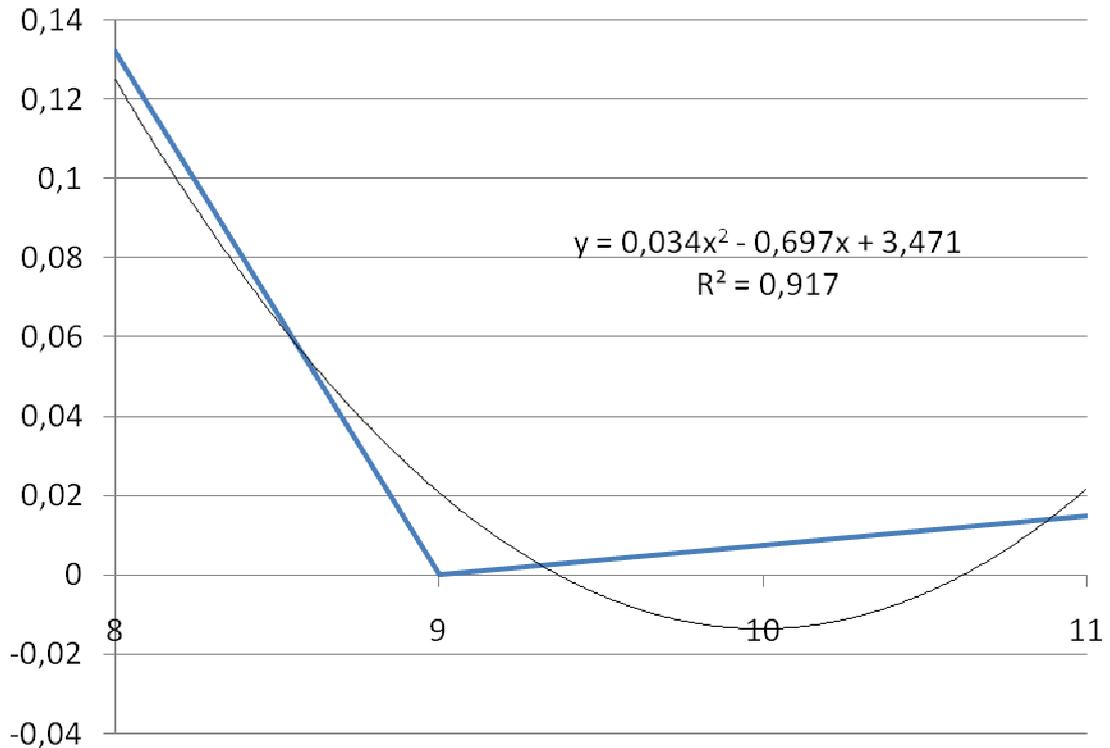


Рис.22–Визуальная оценка качества аппроксимации фактора 12.

Данная вкладка программы предназначена для упрощения построения прогнозов и прогнозных областей, как рассмотрено далее в главе 4.

Последняя вкладка программы предназначена для ранжирования частных критериев и поиска оптимальной (с точки зрения гладкости) ранжировки, как описано в разделе 2.1. (рис. 23)

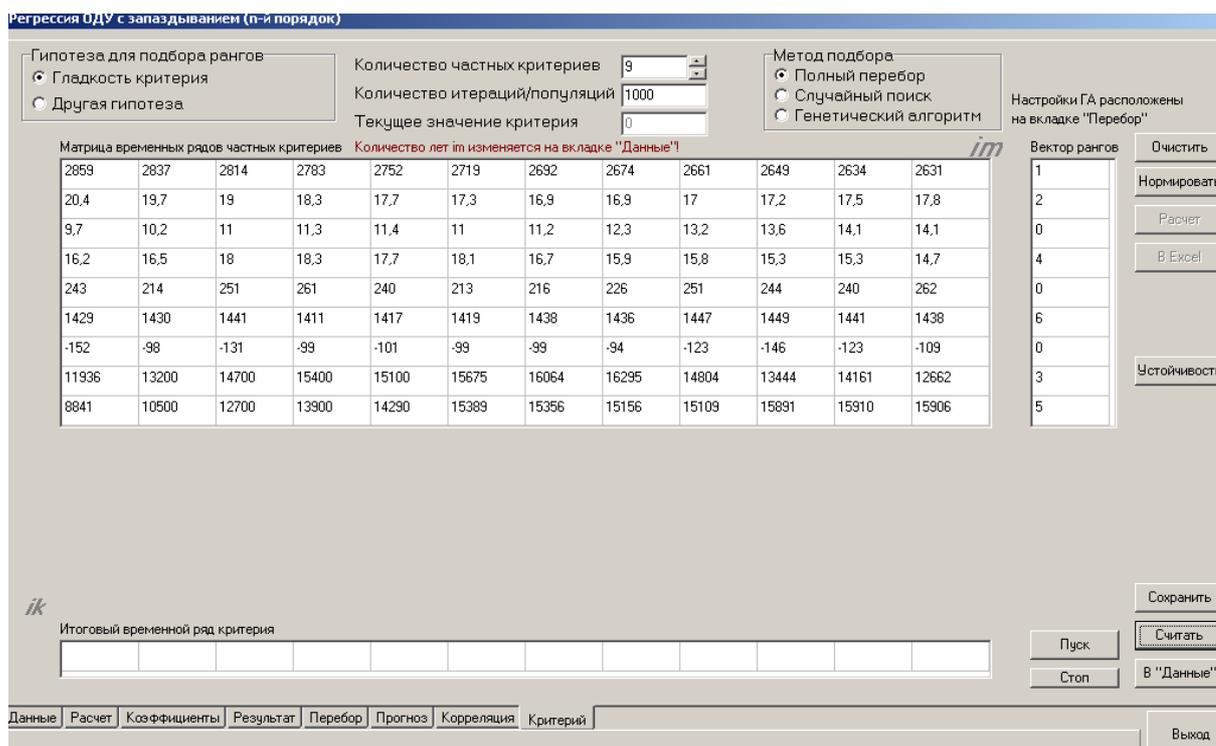


Рис.23–Интерфейс программного обеспечения: вкладка «Критерий»

Реализованы методы случайного, полного и генетического перебора, аналогичные описанным выше. Перед перебором и расчетами значения частных критериев подвергаются нормировке. После расчета итогового (комплексного) критерия в соответствии с финальной ранжировкой частных критериев, эти значения можно передать на первую вкладку (см. выше).

Таким образом, созданное программное обеспечение реализует все описанные в работе модели, алгоритмы и методы регрессионно-дифференциального анализа и прогнозирования и существенно облегчает исследование сложных многофакторных социально-экономических систем.

3.3. Проверка возможности использования линейной модели и регрессионно-дифференциальной модели 1-го порядка

Проверим возможность построения линейной модели социального ресурса вида (4).

Установим линейную интерполяцию факторов как свойственную линейной модели. В результате при установке всех 11-ти известных лет получаем достаточно точную аппроксимацию (рис. 24)

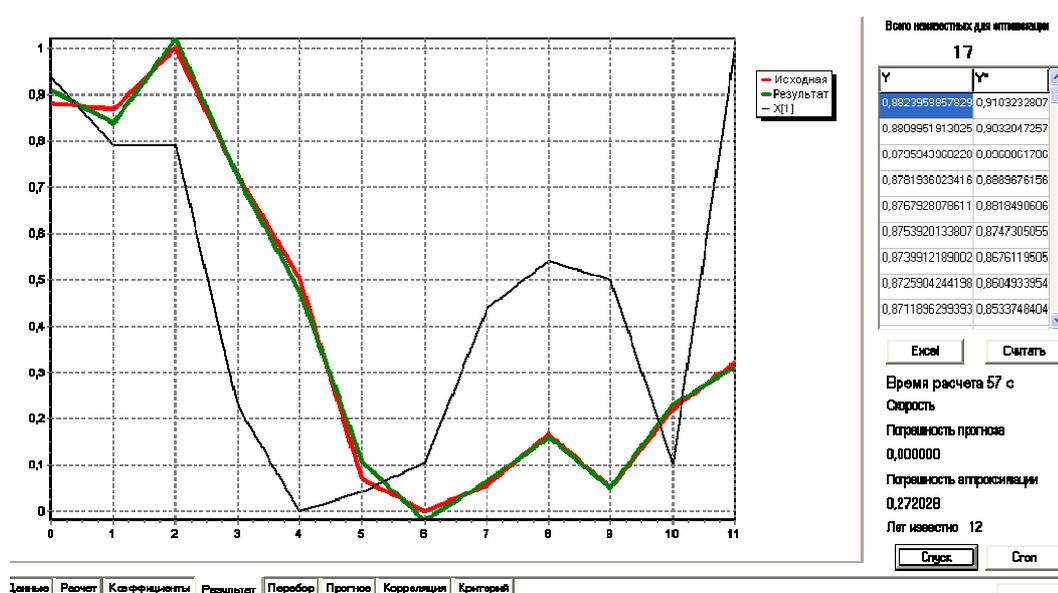


Рис.24–Тренд развития социального ресурса с использованием линейной модели по 11-ти известным точкам

однако стоит уменьшить количество условно известных лет на 1 и получить «прогноз» последнего года, как получаем совершенно неадекватный тренд вида (рис. 25)

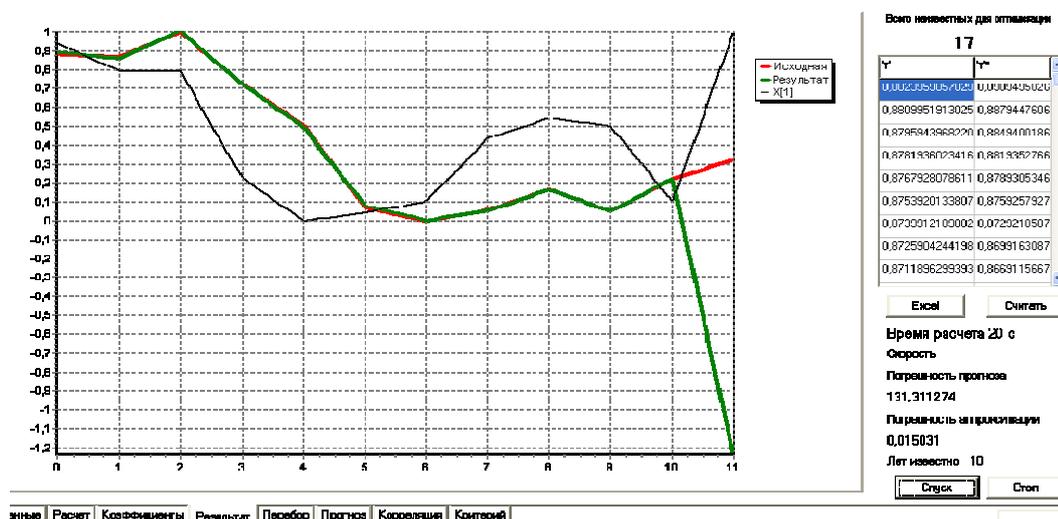


Рис.25–Модель развития системы CP по 10-ти известным точкам

Относительная погрешность прогноза всего на один год составляет

$$\delta y(11) = \left| \frac{y(x(11), 11) - y(11)}{y(11)} \right| = \left| \frac{0.32 - (-1.24)}{0.32} \right| \approx 485\%$$

где $x(11)$ – значение вектора факторов в 11-м году, $y(x(11),11)$ – расчетное значение реакции по формуле (4) в 11-м году, $y(11)$ – известное значение реакции в 11-м году. Столь высокая погрешность неприемлема для практического прогнозирования развития СР с использованием линейной регрессионной модели, соответствующей формуле (4).

В практике эконометрического моделирования широко применяются [59] авторегрессионные модели вида

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

где $a_i, i = \overline{1, I}$ – коэффициенты авторегрессии, I – порядок модели. Наибольшее распространение получили авторегрессионные модели 1-го порядка, иначе называемые марковскими моделями или моделями марковских процессов. Марковским называют случайный процесс, эволюция которого после любого заданного значения временного параметра t не зависит от эволюции, предшествовавшей t , при условии, что значение процесса в этот момент фиксировано («будущее» процесса не зависит от «прошлого» при известном «настоящем»; иначе говоря, «будущее» процесса зависит от «прошлого» лишь через «настоящее») [71].

Проверим возможность прогнозирования динамики СР при помощи авторегрессионных моделей 1-го, 2-го и 3-го порядков. Для моделей высоких порядков 1-е значение рассчитывается по формуле авторегрессии 1-го порядка, 2-е значение – по формуле авторегрессии 2-го порядка.

Поиск коэффициентов авторегрессионных моделей произведем, решая задачу

$$a_i, i = \overline{1, I} : S_{AP} = \sum_{k=2}^{12-K} (y_{исх}(t_k) - y_{AP}(t_k))^2 \rightarrow \min ,$$

где K – горизонт постпрогноза (1, 2 или 3 года). Решение задачи производилось мастером поиска решения в *MS Excel*.

Результаты постпрогнозирования для моделей 1-го и 2-го порядка на 1 год, для модели 3-го порядка на 1, 2 и 3 года приведены на рис. 26.

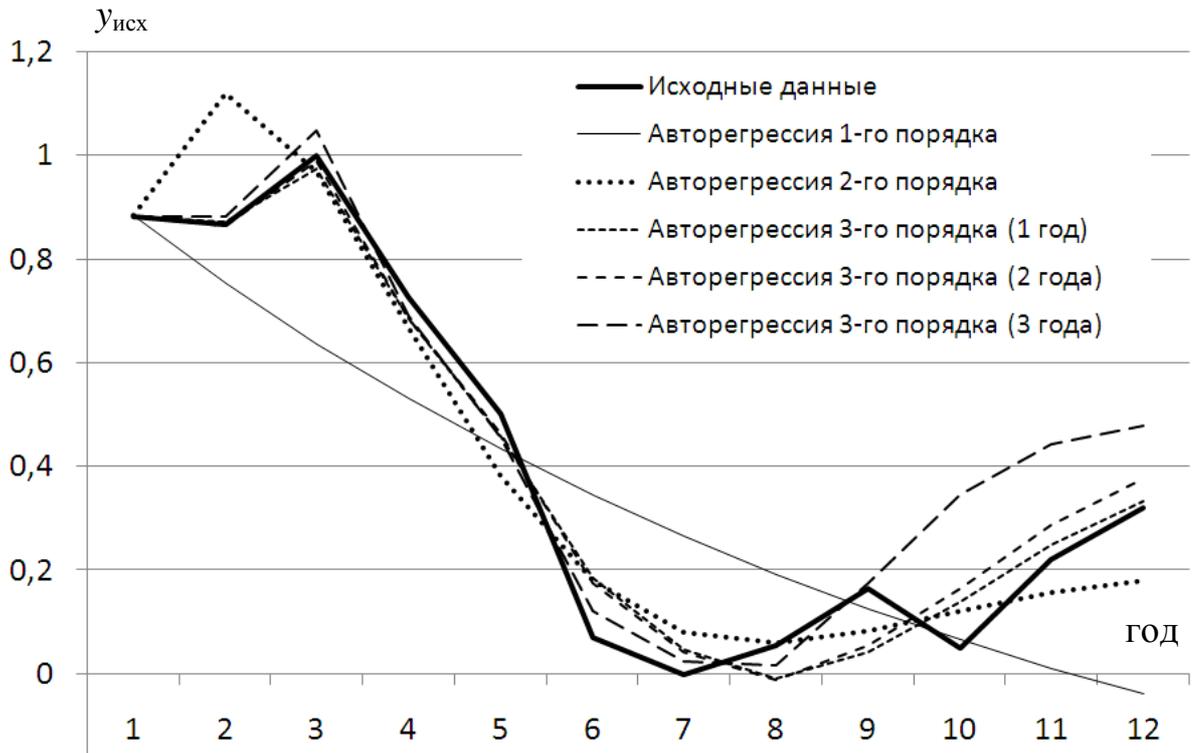


Рис.26– Неудовлетворительные результаты постпрогнозов с использованием авторегрессионных моделей

Погрешность постпрогноза на 1 год, рассчитанная по формуле

$$\Delta_{12} = \frac{|y_{\text{исх}}(12) - y_{\text{АР}}(12)|}{y_{\text{исх}}(12)} \cdot 100\%$$

для авторегрессионных моделей 1-го и 2-го порядков неудовлетворительная (таблица 13). Авторегрессионная модель 3-го порядка дает удовлетворительный постпрогноз на 1 год, однако существенно «сглаживает» данные. Увеличение горизонта постпрогноза до 2 или 3 лет показывает, что и авторегрессионная модель 3-го порядка не дает возможности прогнозирования динамики СР. Использование авторегрессионных моделей более высоких порядков нерационально из-за малой длины годового ряда критерия оценки СР.

Авторегрессионные модели динамики СР и характеристики их качества

I	K	a_0	a_1	a_2	a_3	S_{AP}	Δ_{12}
1	1	-0,0484	0,9087			0,3991	111,62%
2	1	0,0507	1,2098	-0,4947		0,1171	44,02%
3	1	0,1231	0,8494	0,1253	-0,4239	0,0476	4,11%
3	2	0,1389	0,8237	0,1565	-0,4574	0,0456	17,08%
3	3	0,2245	0,7454	0,1885	-0,5461	0,0110	48,66%

Однако полученные нами неудовлетворительные результаты прогнозирования могут объясняться низким «качеством» (зашумленностью) исходных данных. Проверим возможность прогнозирования с использованием фильтра Калмана, что используется для зашумленных систем [17, 70].

Фильтр Калмана [33] – эффективный рекурсивный фильтр, оценивающий вектор состояния динамической системы, используя ряд неполных и зашумленных измерений. Широко используется в инженерных и эконометрических приложениях: от радаров и систем технического зрения до оценок параметров макроэкономических моделей. Калмановская фильтрация является важной частью теории управления, играет большую роль в создании систем управления. Совместно с линейно-квадратичным регулятором фильтр Калмана позволяет решить задачу линейно-квадратичного гауссовского управления. В большинстве приложений размерность вектора состояния объекта превосходит размерность вектора данных наблюдения, при этом фильтр Калмана позволяет оценивать полное внутреннее состояние объекта.

Фильтр Калмана предназначен для рекурсивного дооценивания вектора состояния априорно известной динамической системы, то есть для расчёта текущего состояния системы необходимо знать текущее измерение, а также предыдущее состояние самого фильтра. Таким образом, фильтр Калмана, подобно другим рекурсивным фильтрам, реализован во временном, а не в частотном представлении. В отличие от других подобных фильтров (*RLS*, *LMS*, *ARIMA* и др.),

фильтр Калмана оперирует не только оценками состояния, а еще и оценками неопределенности (плотности распределения) вектора состояния.

Фильтр работает в два этапа [84]. На этапе прогнозирования фильтр экстраполирует значения переменных состояния, а также их неопределенности. На втором этапе по данным измерения (полученного с некоторой погрешностью) результат экстраполяции уточняется. Благодаря пошаговой природе алгоритма, он может в реальном времени отслеживать состояние объекта, используя только текущие замеры и информацию о предыдущем состоянии и его неопределенности.

Действительно, правильно примененный стандартный блок фильтра Калмана (рис. 27) в *MatLAB* позволяет восстановить вид зашумленной синусоиды (рис. 28). Для проверки в пакете *Simulink* была создана тестовая схема, в которой к синусоидальному сигналу прибавлялся сигнал источника белого гауссовского шума. В реальных системах (например, связи) есть возможность некоторое время «слушать шум в линии», подавая для настройки фильтра на вход только шум, без сигнала. В нашем случае шум будем считать неизвестным, и подадим на вход «*Err*» сигнал с другого аналогичного источника белого шума с тем же математическим ожиданием.

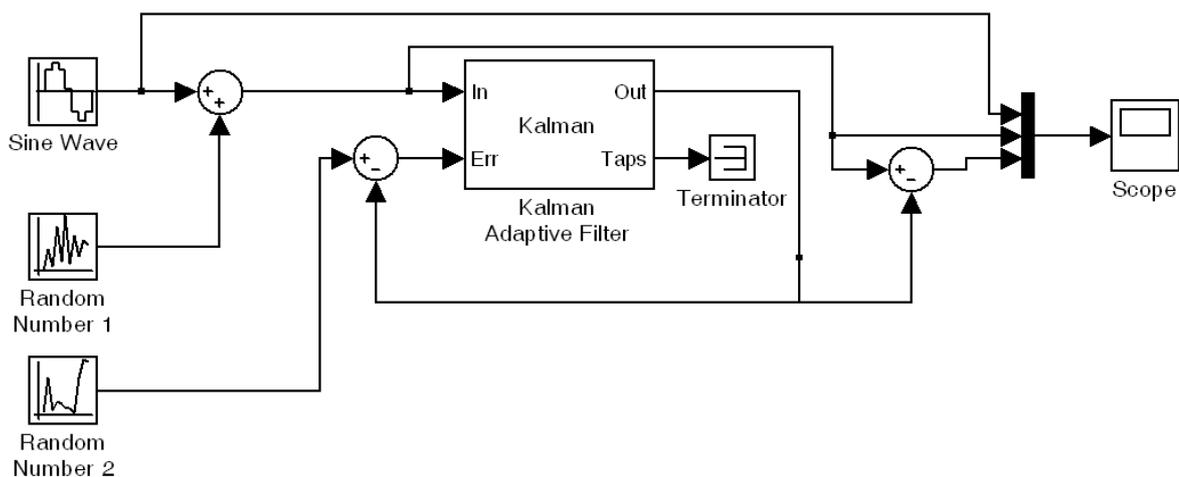


Рис.27–Модель с использованием фильтра Калмана в *MatLAB*

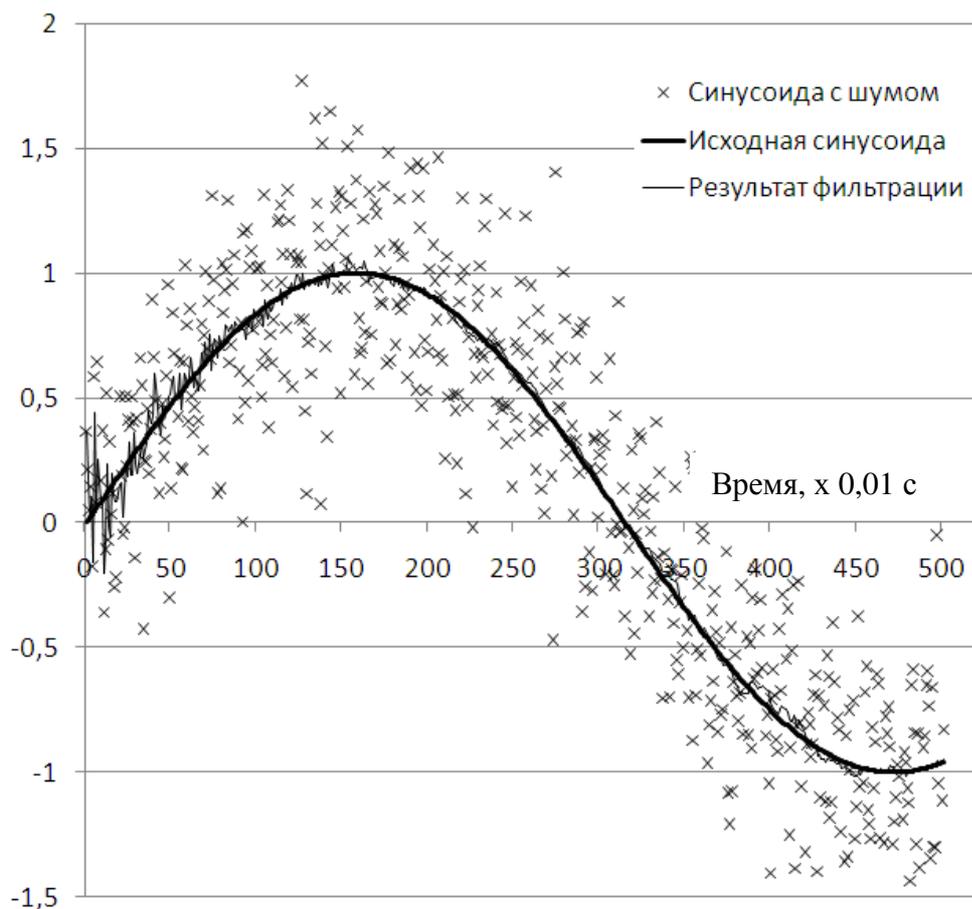


Рис.28–Результат фильтрации зашумленной синусоиды при одинаковом математическом ожидании исходного и образцового шумов

Хороший результат фильтрации достигается, только если математическое ожидание шума, добавленного к исходному сигналу, и образцового шума, используемого для настройки фильтра, одинаковы. Генератор образцового шума может использоваться при этом и другой, чем искажающий сигнал. Если математическое ожидание шумов будет разным, фильтр даст смещение конечного сигнала, равное разности математических ожиданий (рис. 29).

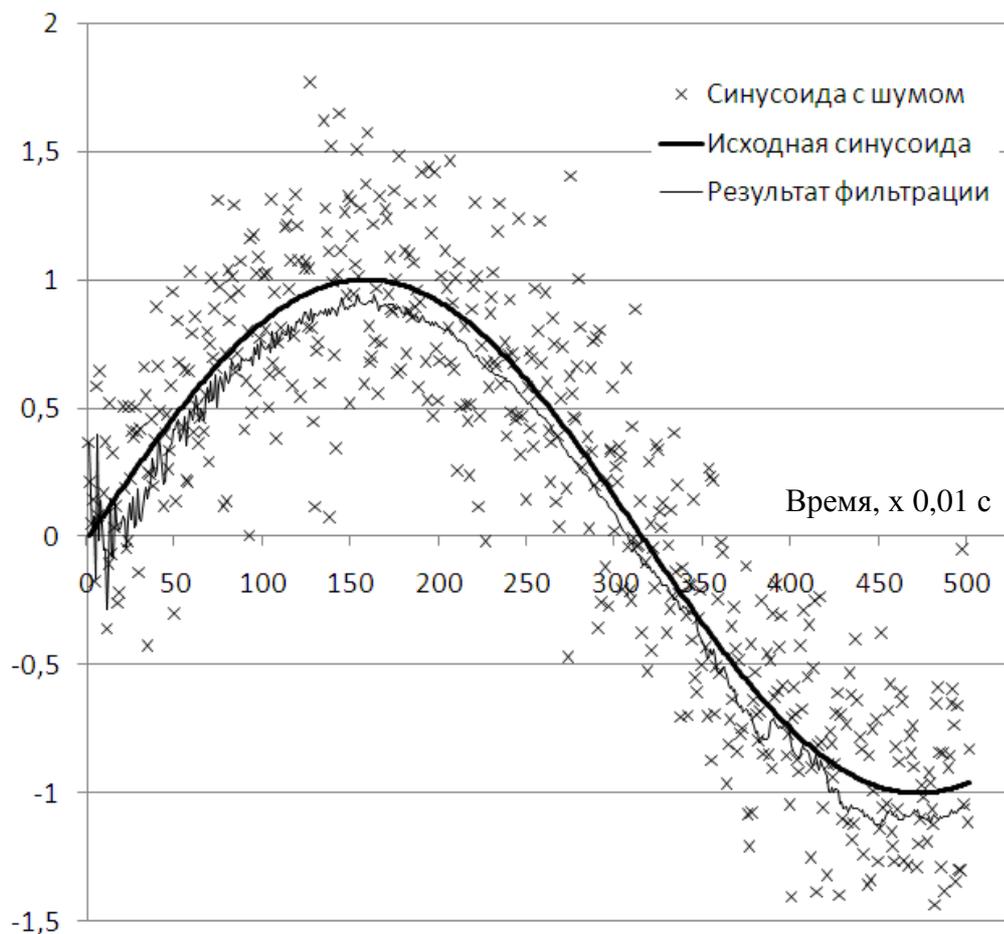


Рис.29–Результат фильтрации зашумленной синусоиды при разном математическом ожидании исходного и образцового шумов

Подчеркнем, что фильтр относится к адаптивным, и хороший результат фильтрации получается не сразу, а примерно через 150-200 точек от начала тренда, как видно на рис. 27 и 28.

В моделировании сложных зашумленных экономических систем фильтр Калмана иногда успешно применяется для краткосрочного предсказания поведения системы [70].

Представим исходные данные задачи в виде, свойственном для задачи фильтрации случайного процесса при помощи фильтра Калмана. Цель фильтра – минимизировать дисперсию оценки векторного случайного процесса $\vec{x}(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_{14}(t)\}$, изменяющегося во времени следующим образом [70]:

$$\begin{cases} \vec{x}(t_{k+1}) = \Phi(t) \cdot \vec{x}(t_k) + \vec{v}(t_k) \\ \vec{y}(t_k) = H(t) \cdot \vec{x}(t_k) + \vec{w}(t_k) \end{cases} \quad (19)$$

или [33]

$$\begin{cases} \frac{d\vec{x}(t_{k+1})}{dt} = \Phi(t_k) \cdot \vec{x}(t_k) + \vec{v}(t_k), \\ \vec{y}(t_k) = H(t_k) \cdot \vec{x}(t_k) + \vec{w}(t_k) \end{cases}, \quad (19a)$$

где $\Phi(t_k)$ – матрица перехода, рассчитанная на отрезке $t \in [t_1, t_k]$, $H(t)$ – аналогичная матрица выхода, $\vec{v}(t)$ и $\vec{w}(t)$, соответственно – вектора шума процесса и шума наблюдения. В системах, базирующихся на фильтрации длинных рядов значений случайного процесса ([17, 84]) в качестве переходной матрицы используется единичная, и рассматривается объект

$$\vec{x}(t_{k+1}) = \vec{x}(t_k) + \vec{v}(t_k).$$

В теории автоматического управления, напротив, поведение объекта как совсем случайное рассматривать нельзя. Поэтому на некотором (достаточно длинном) промежутке времени производится его идентификация статистическими методами или путем проведения активного эксперимента. В результате в пространстве состояний составляется модель вида (19a).

Используем данный метод для моделирования динамики СР. В нашем случае, так как выходом системы является единственный скалярный критерий, модель (19a) примет вид

$$\begin{cases} \vec{x}(t_{k+1}) = \Phi(t_k) \cdot \vec{x}(t_k) + \vec{v}(t_k) \\ y(t_k) = \vec{h}(t_k) \cdot \vec{x}(t_k) + w(t_k) \end{cases} \quad (20)$$

где $\vec{h}(t_k)$ в данном случае не матрица, а вектор.

Идентифицируем матрицы перехода и выхода для всей длины годовых рядов нормированных значений критерия оценки СР и факторов.

Для этого в *MS Excel* поместили таблицу нормированных значений годовых рядов факторов и, в другом диапазоне, таблицу с начальными значениями

матрицы Φ . В нашем случае годовые ряды факторов заняли диапазон $B1:M14$, а переходная матрица $O1:AB14$.

В диапазоне $B17:M30$ реализовали вычисление векторов $\vec{x}(t_{k+1}), k = \overline{1,11}$ по формуле (для ячейки $C17$, например)

$$=МУМНОЖ(\$O\$1:\$AB\$14;B\$17:B\$30),$$

которую превратили в вектор формул (выделили диапазон $C17:C30$, нажали $F2$ и $Ctrl+Shift+Enter$), затем скопировали столбец $C17:C30$ на диапазон $D17:M30$.

В диапазоне $B33:B46$ вычислим квадрат невязки между расчетным и действительным значением рядов факторов по формуле (для ячейки $C33$, например) $=(C1-C17)^2$. В диапазоне $C47:L47$ просуммируем столбцы невязок. В ячейке $C48$ просуммируем все невязки $=СУММ(C47:L47)$, кроме последней.

В результате получили задачу минимизации

$$S_1 = \sum_{j=1}^{14} \sum_{i=1}^{11} (x_j^*(t_i) - x_j(t_i)) \rightarrow \min, \quad (21)$$

где $x_j^*(t_i)$ – исходное нормированное значение в i -й отсчет годового ряда j -го фактора, $x_j(t_i)$ – значение, рассчитанное по формуле (20). Найдя мастером поиска решений неизвестную матрицу перехода, получим возможность оценки ее качества постпрогнозом последних годовых значений $\vec{x}(12)$ (таблица 14).

Показатели качества постпрогноза последнего значения годовых рядов факторов

Фактор	$x_i(t)$	$x_i^*(t)$	$ x_i^*(t) - x_i(t) $	$\frac{ x_i^*(t) - x_i(t) }{x_i^*(t)} \cdot 100\%$
x_1	-0,8848	1	1,8634	190,42%
x_2	0,5327	1	0,5149	49,15%
x_3	1,2311	1	0,1452	13,37%
x_4	0,4858	1	0,5175	51,58%
x_5	0,3082	1	0,6569	68,07%
x_6	0,9779	1	0,0869	8,16%
x_7	1,0589	1	0,0029	0,27%
x_8	0,6970	1	0,3257	31,85%
x_9	0,7297	1	0,3015	29,24%
x_{10}	0,1457	0	0,0355	32,22%
x_{11}	1,2917	0,0806	1,0840	521,94%
x_{12}	0,3422	0,0150	0,2060	151,20%
x_{13}	0,9135	1	0,1593	14,85%
x_{14}	0,9423	1	0,1319	12,27%

Полученная матрица перехода приведена в таблице 16.

Отфильтрованные годовые ряды факторов

Фактор	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}	t_{11}	t_{11}
x_1	0,9375	0,7350	0,7143	0,2416	-0,0062	0,0497	0,0073	0,3666	0,4365	0,4652	-0,0426	-0,8848
x_2	0,0000	0,0355	0,0588	0,1314	0,2057	0,2671	0,3058	0,4627	0,5068	0,5024	0,4617	0,5327
x_3	0,0000	0,0795	0,1371	0,2346	0,3089	0,5074	0,4878	0,6217	0,5929	0,7429	0,9519	1,2311
x_4	0,0000	0,2416	0,0078	0,0965	0,1205	0,3749	0,4831	0,6050	0,4777	0,3393	0,2833	0,4858
x_5	0,1537	0,0265	0,3799	0,2885	0,3488	0,1875	0,2241	0,2800	0,4736	0,6169	0,5834	0,3082
x_6	0,0000	0,0934	0,1575	0,1914	0,2374	0,3392	0,2994	0,5073	0,5164	0,7112	0,8407	0,9779
x_7	0,0000	0,1444	0,1597	0,2249	0,2758	0,3100	0,3960	0,4326	0,5294	0,7274	0,9479	1,0589
x_8	0,0000	0,0147	0,0681	0,0948	0,1107	0,2024	0,2677	0,3004	0,3035	0,4071	0,5830	0,6970
x_9	0,0000	0,0914	0,1372	0,1529	0,1846	0,2540	0,2843	0,2663	0,3412	0,4741	0,6685	0,7297
x_{10}	1,0000	0,8601	0,6674	0,6422	0,6242	0,6106	0,2943	0,2621	0,0053	0,0134	0,0414	0,1457
x_{11}	0,0490	0,1574	0,2105	-0,0105	0,2075	0,4003	0,6708	0,8926	0,5868	0,3936	0,5050	1,2917
x_{12}	0,5960	0,5781	0,6660	0,9419	0,2917	0,3626	0,1467	0,1392	-0,0137	0,0030	0,2473	0,3422
x_{13}	0,0000	0,1977	0,1610	0,2202	0,2387	0,4374	0,4027	0,5779	0,6245	0,7496	0,8221	0,9135
x_{14}	0,0000	0,0357	0,0733	0,1386	0,1953	0,2666	0,4068	0,4689	0,5818	0,6731	0,8192	0,9423

Таблица 16

Матрица перехода для отфильтрованных годовых рядов факторов, полученная по 11-ти известным годам

0,5610	0,6165	-0,9985	2,0916	0,5893	-1,0697	0,6899	-0,0920	-0,5219	0,3292	-0,2584	-0,3323	-0,9275	0,5834
-0,0938	0,5728	-0,2242	0,5185	0,3472	0,0428	-0,0429	0,5428	0,2589	0,0302	0,0448	0,0633	-0,5622	0,0804
-0,1459	0,0460	-0,0580	0,0758	0,3607	-0,1370	0,6029	0,1857	0,2336	0,2408	-0,0233	-0,1321	-0,1285	0,5449
-0,0968	0,4374	0,8169	0,6602	0,4036	-0,4477	-1,0957	1,8334	0,8984	0,4298	-0,1198	-0,2577	-1,4584	0,1592
0,0744	-0,2267	-0,5091	0,8350	0,6049	-0,1212	1,1658	-1,5716	-0,6353	-0,2787	-0,0292	0,2415	0,9769	-0,2290
0,0101	0,2132	-0,3528	0,1426	0,2014	-0,2169	0,8267	-0,0368	0,0255	0,0853	-0,0280	-0,0520	-0,1865	0,7785
0,1411	0,0216	0,4275	-0,0842	0,1162	-0,2437	0,1768	0,0540	0,0032	0,0403	-0,2180	-0,0592	0,2268	0,6645
0,0372	-0,1260	0,1493	0,3414	0,2291	0,0730	0,0955	0,5806	0,4623	0,0579	-0,2467	-0,1699	-0,1762	-0,1296
0,0559	0,1381	-0,0103	0,0922	0,1198	0,2427	0,2370	0,1825	0,1738	0,1076	-0,2366	-0,1264	0,0342	0,0597
-0,0926	-0,1046	-0,6742	-0,0114	0,4438	-0,5420	1,0621	-0,2975	-0,1120	0,8299	0,0365	0,0789	-0,4836	0,7307
-0,2272	-0,4918	0,6805	0,1134	-0,7650	-0,7903	0,2143	1,5372	0,8446	0,5539	0,0911	-0,1181	-0,9644	1,2562
0,2666	-1,5997	-1,0930	0,0875	1,1320	-0,0279	0,9804	0,0216	2,3421	0,2288	0,6451	-0,1783	0,4429	-2,0655
-0,0213	0,5507	-0,1595	0,0665	0,2558	-0,2173	0,3720	0,1345	-0,0094	0,2623	0,0324	-0,1437	-0,3278	0,8274
0,0642	0,2139	0,3576	0,1710	0,1302	0,0098	-0,1504	0,4873	0,2517	0,0006	-0,1408	-0,0641	-0,0735	0,2573

Таким образом, некоторые факторы после идентификации хорошо прогнозируются хотя бы на один год, а другие (№№ 1, 5, 11 и 12) – с очень большой погрешностью, несмотря на то, что квадратичная невязка (21.5) составила всего 0,05128.

Далее идентифицируем вектор выхода \bar{h} аналогичным образом. В диапазоне O85:AB85 разместим начальные приближения вектора. В диапазоне C85:M85 разместим значения годового ряда критерия оценки социального ресурса, в C86:M86 – те же значения, вычисленные по второй части формулы (21.4) с использованием полученных годовых рядов факторов $x_i(t)$, то есть для ячейки C86, например, =МУМНОЖ(\$O\$85:\$AB\$85;C51:C64).

В диапазоне C87:M87 рассчитаем квадратичные невязки по формуле (для ячейки C87, например) =(C86-C85)^2, суммируем их в целевую ячейку формулой =СУММ(C87:L87) и проведем поиск решения задачи

$$S_2 = \sum_{i=1}^{11} (y(t_i) - \hat{y}(t_i)) \rightarrow \min ,$$

а значение $y(12)$ (в ячейке M86) рассчитаем по полученным матрицам перехода и выхода аналогичным образом по формуле =МУМНОЖ(\$O\$85:\$AB\$85;M51:M64). Вектор выхода приведен в таблице 17.

Таблица 17

Вектор перехода для годового ряда критерия, полученный по 11-ти известным годам

h_1	h_2	h_3	h_4	h_5
-1,4859	4,3983	-6,6124	-19,4587	-9,2918
h_6	h_7	h_8	h_9	h_{10}
-6,3577	2,3191	-12,3516	10,4118	0,1939
h_{11}	h_{12}	h_{13}	h_{14}	
8,6429	2,4446	15,5273	6,1260	

Вместо $y^*(12) = 0.3215$ получили $y(12) = 1.5424$, то есть относительная погрешность постпрогноза на один год составила 379,87%. Таким образом,

простой переход к представлению модели в пространстве состояний ничего не улучшает (в смысле качества постпрогноза на 1 год) по сравнению с полученными в разделе 3.3 результатами постпрогноза по линейной модели.

Применим к нашим исходным данным фильтр Калмана. Алгоритм рекурсивного обновления оценки вектора $\vec{\hat{x}}(t_k)$ выглядит следующим образом [80]:

1. задаться начальным значением $\vec{\hat{x}}(t_1) = \vec{x}(t_1)$ и корреляционной матрицей

$$P(t_1) = I \text{ (единичная матрица);}$$

2. вычислить прогнозируемое значение наблюдаемого сигнала без учета шума

$$\hat{y}(t_k) = \vec{h} \cdot \Phi \cdot \vec{\hat{x}}(t_{k-1});$$

3. вычислить невязку $e(t_k) = y(t_k) - \hat{y}(t_k)$;

4. вычислить калмановский коэффициент усиления

$$K(t_k) = P(t_{k-1}) \vec{h}^T(t_k) \times (\vec{h}^T P(t_{k-1}) \vec{h} + R)^{-1},$$

где $P(t_{k-1})$ - предсказанная ошибка, $\vec{h}^T(t_k)$ - транспонированный вектор выхода, R – ковариация шума измерений;

5. «обновим» оценку состояния системы с учетом измерений, получив при этом истинный вектор состояний $y_z(t_k)$:

$$y_z(t_k) = \hat{y}_k^- + K(t_k)(y_z(t_k)) - \vec{h}(t_k) \cdot \hat{y}_k^-),$$

где \hat{y}_k^- - прогнозное значение наблюдаемого сигнала в момент времени k .

6. отрегулируем ошибку ковариации P_k :

$$P_k = (I - K(t_k) \vec{h}) P(t_{k-1}).$$

Видно, что хотя среднее значение погрешности постпрогноза по всем факторам уменьшилось с 268,42% до 83,90% и максимальная погрешность постпрогноза у факторов № 11 и № 12 уменьшилась примерно в 10 раз, сглаживание фильтром привело к росту ошибки постпрогноза на факторах №№ 2, 4, 6, 8, 9, 13 в 4...15 раз, и только у факторов №№ 5, 7 и 14 ошибка постпрогноза

снизилась в 2 и более раз. Поэтому фильтрация сама по себе не улучшила радикально прогностических свойств факторной модели в пространстве состояния.

Оценим улучшения прогноза обобщенного критерия с использованием отфильтрованных годовых рядов факторов. Для этого по годам 1-11 подберем вектор выхода модели (20), как это уже делали выше (таблица 18)

Таблица 18

Вектор перехода для годового ряда критерия, полученный по 11-ти известным годам с фильтрацией

h_1	h_2	h_3	h_4	h_5
-0,3010	0,8793	-1,8133	-4,4322	-0,7428
h_6	h_7	h_8	h_9	h_{10}
-3,8546	5,3906	-6,7607	-1,0291	-0,2328
h_{11}	h_{12}	h_{13}	h_{14}	
2,7428	1,0630	6,3830	-1,1075	

При постпрогнозе 12-го значения критерия вместо ранее полученного значения 1,5424 получили $y(12) = 1.2560$. Следовательно, погрешность постпрогноза на один год хотя и снизилась с 379,87% до 290,74% (рис.30), тем не менее, использовать фильтр Калмана для прогнозирования динамики социального ресурса не представляется возможным.

Этому может быть множество объяснений:

Фильтр Калмана не успевает «настроиться» на коротком ряду данных. Как видно из рис. 28 и рис. 29, для успешной работы фильтру необходимо порядка 150...200 начальных точек, тогда как наши годовые ряды содержат только 14 точек.



Рис.30– Иллюстрация невозможности постпрогноза на 1 год по модели в пространстве состояний с учетом и без учета фильтра Калмана

Модель в пространстве состояний (20) принципиально мало отличается от линейной модели, описанной в разделе 1.4, разве что наличием векторов шума факторов и шума модели. Так как оба вектора, по условиям успешного использования фильтра Калмана, должны иметь нулевое математическое ожидание [33], а линейная модель (4) не в состоянии прогнозировать динамику СР даже на один год, было бы странным, если бы аналогичная модель в пространстве состояний оказалась лучше.

Использование фильтра Калмана не устраняет недостатка, на основании которого нами была выбрана именно дифференциальная многофакторная модель: природа выбранных факторов такова, что, в целом, понятно, как они могут быть связаны с динамикой социального ресурса, но не с установившимися значениями параметров его оценки (частных критериев).

В связи с чем, для всех факторов необходимо назначить или определить вид их интерполяции между узлами. Например, «стоимость основных фондов 1113976 тыс. руб. в 2006 г.» может означать, как стоимость на 1 января, так и на 31 декабря. В первом случае необходимо использовать ступенчатую интерполяцию,

«распространяя» значение в начале года на весь год («левая» интерполяция), во втором – «правую» интерполяцию. Общий перечень возможных видов интерполяции:

- «левый» (указано значение в начале года, действующее до конца года; далее обозначен «0»);
- «правый» (указано значение в конце года, действовавшее весь год; далее обозначен «1»);
- линейный (указано значение в начале года, которое линейно изменяется до конца года; далее обозначен «Л»);
- фактор выключен (далее обозначен «X»).

Исследуем возможность применения модели на основе ОДУ 1 порядка с произвольным выбором интерполяции факторов. При 10-ти «известных» годах и «левой» интерполяции факторов получим «прогноз» на 11-й год вида (рис.31).

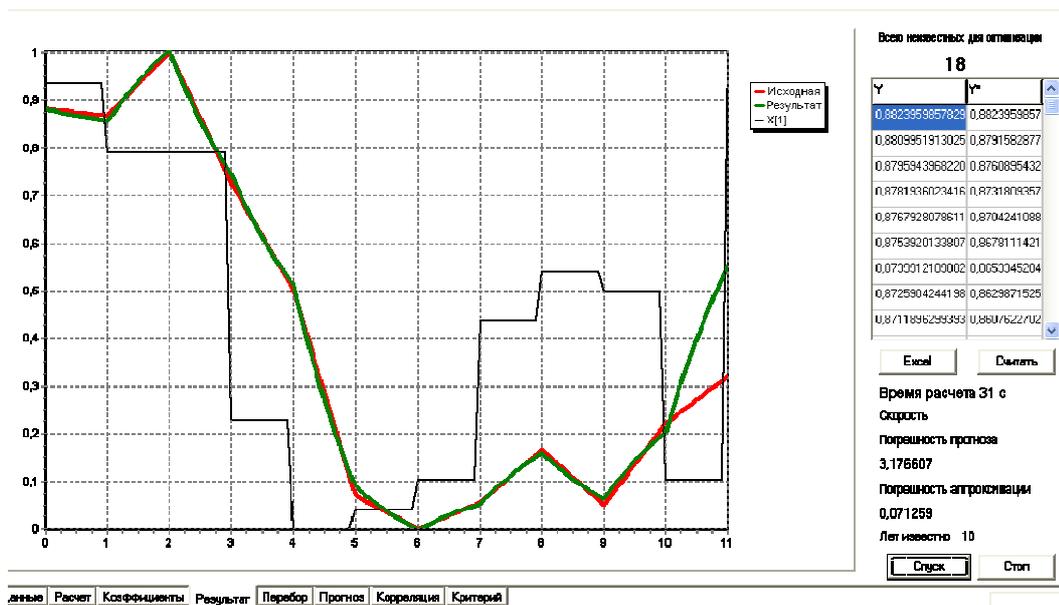


Рис.31–Тренд развития системы CP по 10-ти известным точкам

Погрешность прогноза $\delta y(11) = \left| \frac{0.32 - 0.55}{0.32} \right| \approx 72\%$, что также исключает

возможность прогнозирования. Найдем методом, описанным в [73] наилучшую аппроксимацию факторов, отражающую особенности их социально-

экономического характера. В данном случае, получили аппроксимацию вида 00ЛЛ011001Л101 и прогноз вида (рис. 32)

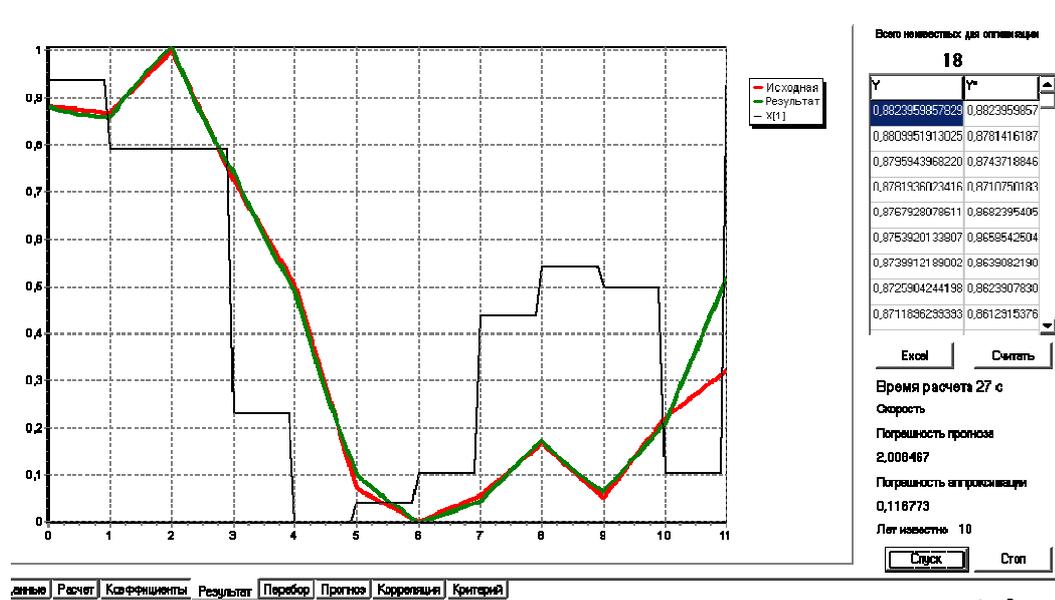


Рис.32–Тренд развития системы CP с установленной аппроксимацией факторов 00ЛЛ011001Л101

с большой погрешностью $\delta y(11) = \left| \frac{0.32 - 0.52}{0.32} \right| \approx 61\%$.

Исследуем возможность применения модели на основе ОДУ 1-го порядка с учетом коэффициентов взаимного влияния факторов вида

$$\frac{dy(t)}{dt} = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i \cdot x_i(t) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_{ij} \cdot x_i(t) \cdot x_j(t) + b \cdot y(t) \quad (22)$$

При 10-ти «известных» годах и «правой» аппроксимации факторов получим «прогноз» на 11-й год вида (рис.33).

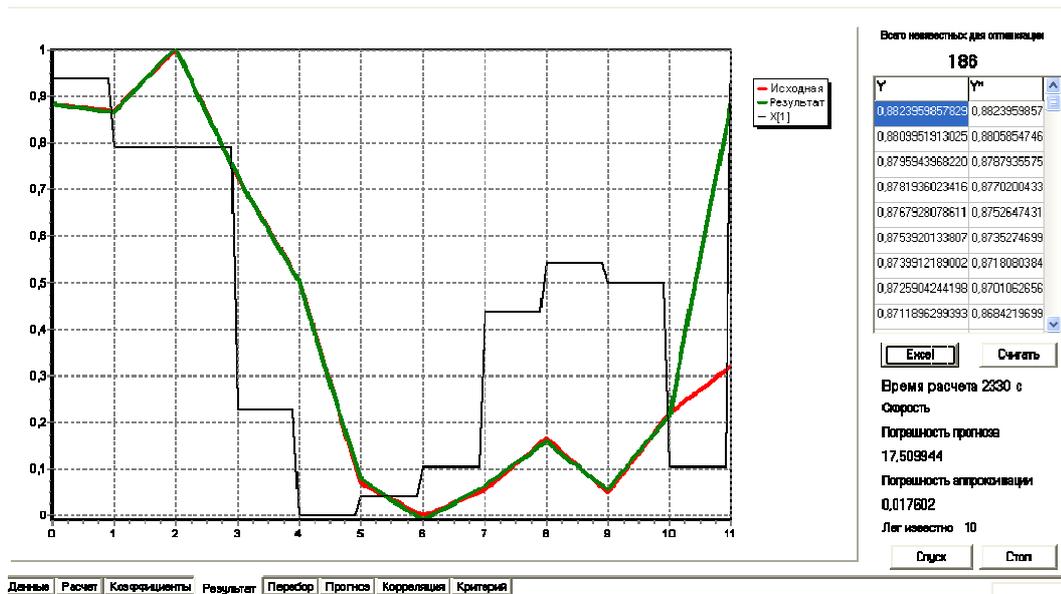


Рис.33–Прогноз на 1 год по уравнению (22)

Погрешность прогноза $\delta y(11) = \left| \frac{0.32 - 0.88}{0.32} \right| \approx 175\%$, что, очевидно,

исключает возможность прогнозирования. При наилучшей аппроксимации факторов, в данном случае, 11ЛX0ЛXЛ10000, получили прогноз с погрешностью всего 21%, однако при двух «неизвестных» годах и той же настройке аппроксимации получен прогноз вида (рис. 34).

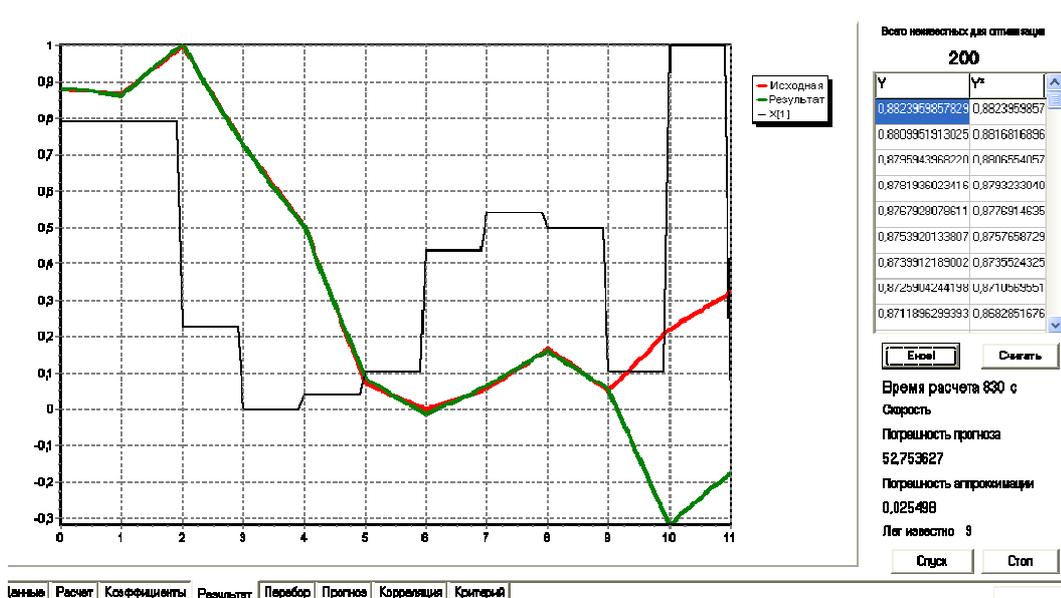


Рис.34–Прогнозный сценарий развития CP при 9 известных точках с оптимальной аппроксимацией факторов

с погрешностью $\delta y(11) = \left| \frac{0.32 - (-0.17)}{0.32} \right| \approx 153\%$

При попытке определения горизонта прогнозирования модели получаем погрешность прогноза от 184% до 198% (рис.35)

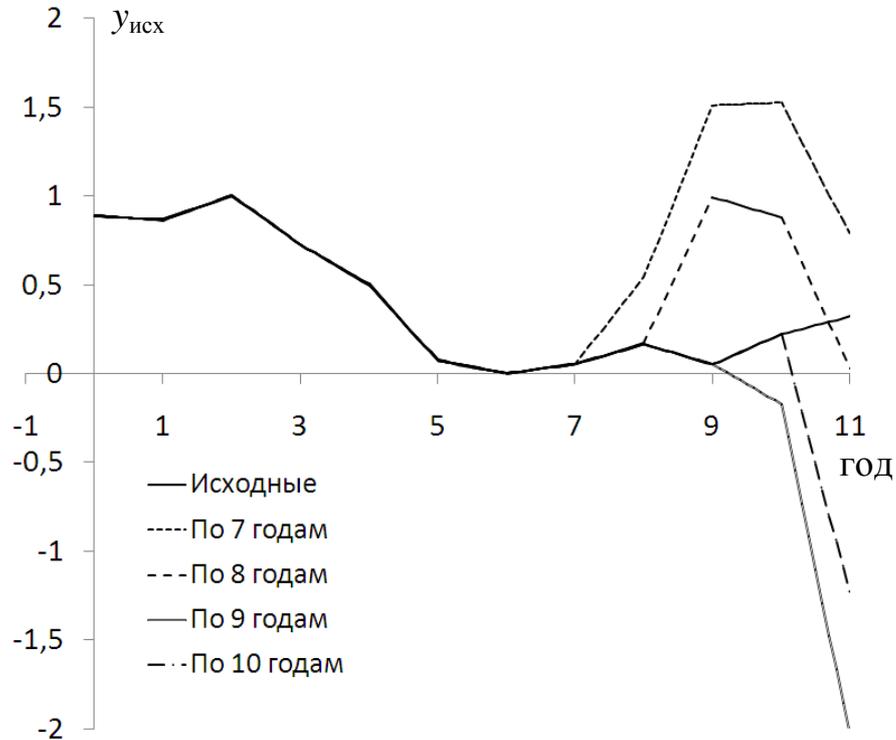


Рис.35– Иллюстрация невозможности постпрогноза при использовании РДМ 1-го порядка

Таким образом, методика, основанная на использовании регрессионного обыкновенного дифференциального уравнения 1-го порядка, предложенная в [72], не позволяет прогнозировать развитие социального ресурса Пермского края, поскольку минимальная погрешность прогноза при наилучших условиях (включая оптимальную аппроксимацию факторов) всего на один год составляет более 61%.

3.4. Регрессионно-дифференциальная модель 2-го порядка

В соответствии с принятым в разделе 1.4 допущением о том, что адекватность модели достаточно проверить по ее способности прогнозировать развитие системы на 1 год вперед, создадим последовательно модели, повышая их

порядок до тех пор, пока эта способность не будет достигнута. Для исходных данных будем применять сплайн-интерполяцию, как обосновано в разделе 2.3.

Модель на основе ОДУ 2-го порядка без учета коэффициентов взаимного влияния хорошо аппроксимирует сплайн исходных данных (рис.36)

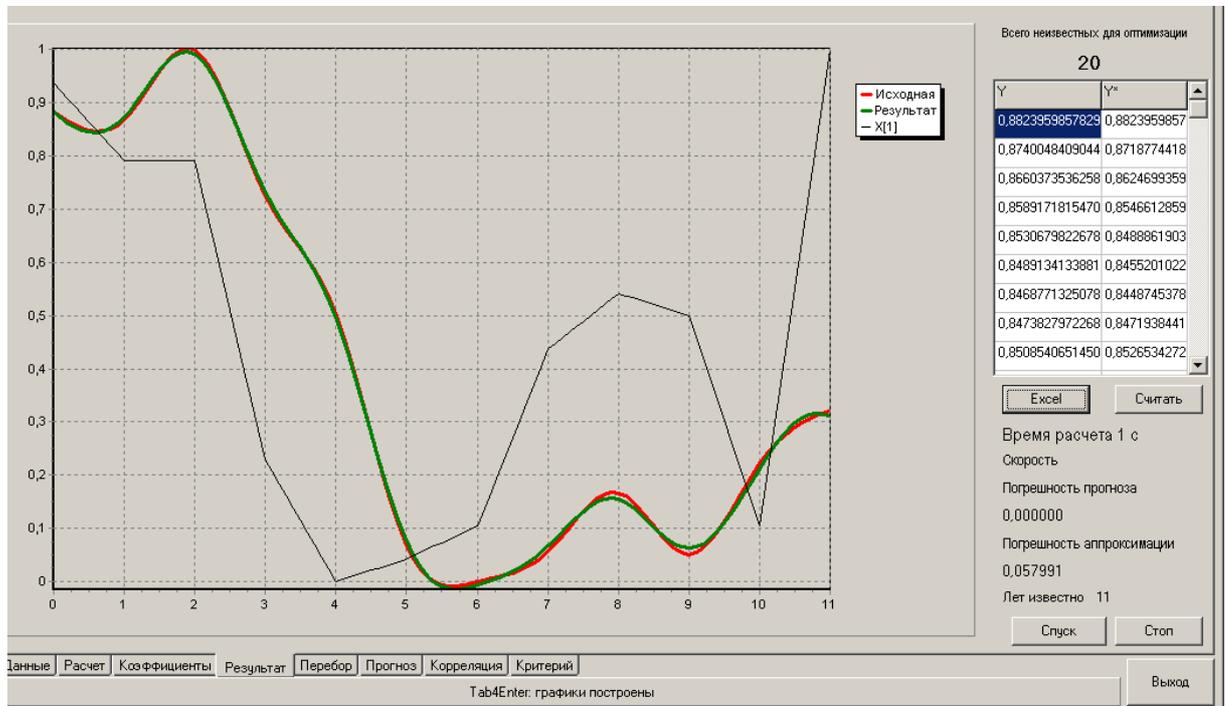


Рис.36–Прогноз поведения системы СР на базе ОДУ-2-го порядка без учета взаимовлияния факторов

При уменьшении количества «известных» лет не только до 10, но и до 6 качество прогноза на оставшиеся года остается весьма удовлетворительным (рис. 37).

При уменьшении количества «известных» лет не только до 10, но и до 6 качество прогноза на оставшиеся года остается весьма удовлетворительным: $S \leq 0.001$, относительная погрешность прогнозирования

$$\delta y(11) = \left| \frac{0.3215 - 0.3121}{0.3215} \right| \approx 2.9\%.$$
 Коэффициенты модели при этом $a = -3,3824$, $b = -1,9846$, $c = \{-3,7038; 3,9046; 1,2779; -0,4543; 3,5161; 2,9395; 0,9091; -5,5241; 3,7115; -1,9885; 1,6937; 0; 0,7022\}$, $y'_0 = 0,3428$. Коэффициент c_{13} (и,

соответственно, фактор x_{13}) отброшены, так как при учете этого фактора значение (21) получалось хуже, чем без него.



Рис.37–Сравнение исходных и прогнозных данных на максимальный горизонт при использовании РДМ 2-го порядка

Следовательно, исходя из выдвинутого выше предположения, можно считать, что модель на основе ОДУ 2-го порядка с учетом коэффициентов взаимного влияния факторов может быть применима для моделирования развития краевого социального ресурса.

Уточнение интерполяции факторов с применением генетического алгоритма привело к комбинации ЛЛЛЛЛЛЛЛЛЛЛЛЛЛхЛ (таблица 19), при этом погрешность аппроксимации $|y(t_k) - y_{исх}(t_k)|$ в каждой точке не превышала 0,00383.

Результат подбора оптимальной интерполяции факторов

	Фактор	Интерполяция	Коэффициент влияния c_i в формуле (10)
$x_1(t)$	Коэффициент миграционного прироста населения, на 10 тыс. чел.	Линейная	0,5775
$x_2(t)$	ВРП на душу населения, тыс. руб.	Линейная	-3,7038
$x_3(t)$	Общая площадь жилых помещений приходящаяся в среднем на 1-го жителя, м ²	Линейная	3,9046
$x_4(t)$	Ввод в действие жилых домов, на 1000 чел.	Линейная	1,2779
$x_5(t)$	Удельный вес жилых домов построенных населением за свой счет, %	Линейная	-0,4543
$x_6(t)$	Среднедушевые доходы населения, руб./мес.	Линейная	3,5161
$x_7(t)$	Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата, руб.	Линейная	2,9395
$x_8(t)$	Вклады на депозиты в Сбербанк, на н.г., тыс. руб.	Линейная	0,9091
$x_9(t)$	Средний размер назначенных пенсий, руб.	Линейная	-5,5241
$x_{10}(t)$	Число больничных коек, тыс. шт. на к.г.	Линейная	3,7115
$x_{11}(t)$	Число зарегистрированных преступлений, на 100 тыс. чел.	Линейная	-1,9885
$x_{12}(t)$	Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, тыс. тн	Линейная	1,6937
$x_{13}(t)$	Стоимость основных фондов, на к.г., тыс. руб.	Выключен	
$x_{14}(t)$	Оборот розничной торговли на душу населения, руб.	Линейная	0,7022

Заметим, что коэффициенты c_i в таблице 18 нельзя рассматривать, как характеризующие *воздействие* фактора на динамику развития критерия. То есть из табл. 18 не следует, что ввод в действие жилых домов замедляет развитие социального ресурса края.

Тренды расчетного $y(t)$ и исходного $y_{исх}(t)$ значения критерия приведены на рис. 38.

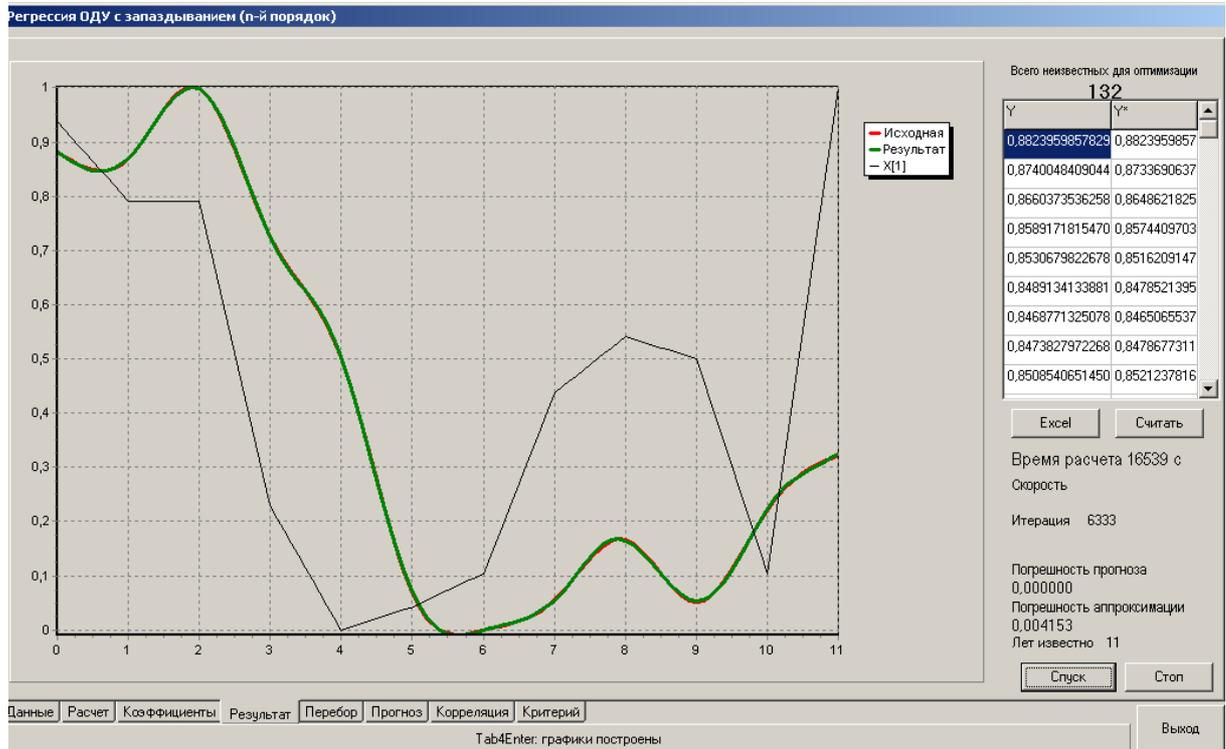


Рис.38–Тренды расчетного $y(t)$ и исходного $y_{исх}(t)$ значения критерия развития СР

Коэффициенты полученной модели следующие: $a = -3.3824$, $b = -1.9846$, коэффициенты c_i приведены выше в табл. 18.

Следовательно, исходя из выдвинутого выше предположения, можно считать, что модель на основе ОДУ 2-го порядка более применима для моделирования развития краевого социального ресурса, чем РДМ на основе ОДУ 1-го порядка, линейная многофакторная модель, модель в пространстве состояний и фильтр Калмана. С другой стороны, дальнейшее усложнение модели не требуется, так как уже обеспечивается достаточное качество прогноза в пределах разумного горизонта.

Исследование свойств полученной модели позволяет дать ответ на вопросы:

1. Какие факторы являются наиболее важными для динамики развития СР, то есть к изменению каких факторов модель наиболее чувствительна?

2. Какие изменения факторов (или их комбинации) позволяют прогнозировать улучшение развития СР в пределах оперативного (3-5 лет) горизонта прогнозирования?
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 это делают при исследовании моделей вида (4). Для каждого коэффициента производилось его изменение на $\pm 4\%$ (таблица 20), при этом контролировалось относительное изменение реакции системы

$$\delta y(11) = \frac{y(x(11), 11) - y(x(11) \pm \Delta x_i(11), 11)}{y(x(11), 11)}.$$

Несмотря на то, что наибольшие по модулю значения имеют коэффициенты при факторах 2 (ВРП на душу населения), 3 (общая площадь жилых помещений), 9 (средний размер назначенных пенсий) и 10 (удельное число больничных коек), как оказалось, наибольшее влияние на динамику развития СР оказывает фактор 10 (рис. 39).

Вывод не столь абсурден, как может показаться на первый взгляд. Дело в том, что данный показатель «влечет» за собой множество других: количество и площадь лечебных учреждений, средний уровень заболеваемости, уровень финансирования здравоохранения и т.д. Как отмечается в [72, 6], вероятно, РДМ (в отличие от линейной многофакторной модели) «чувствует» воздействия подобных составляющих фактора. Значение $c_{10} = -1,9885$ не самое большое, но и не самое малое из всех коэффициентов при факторах модели.

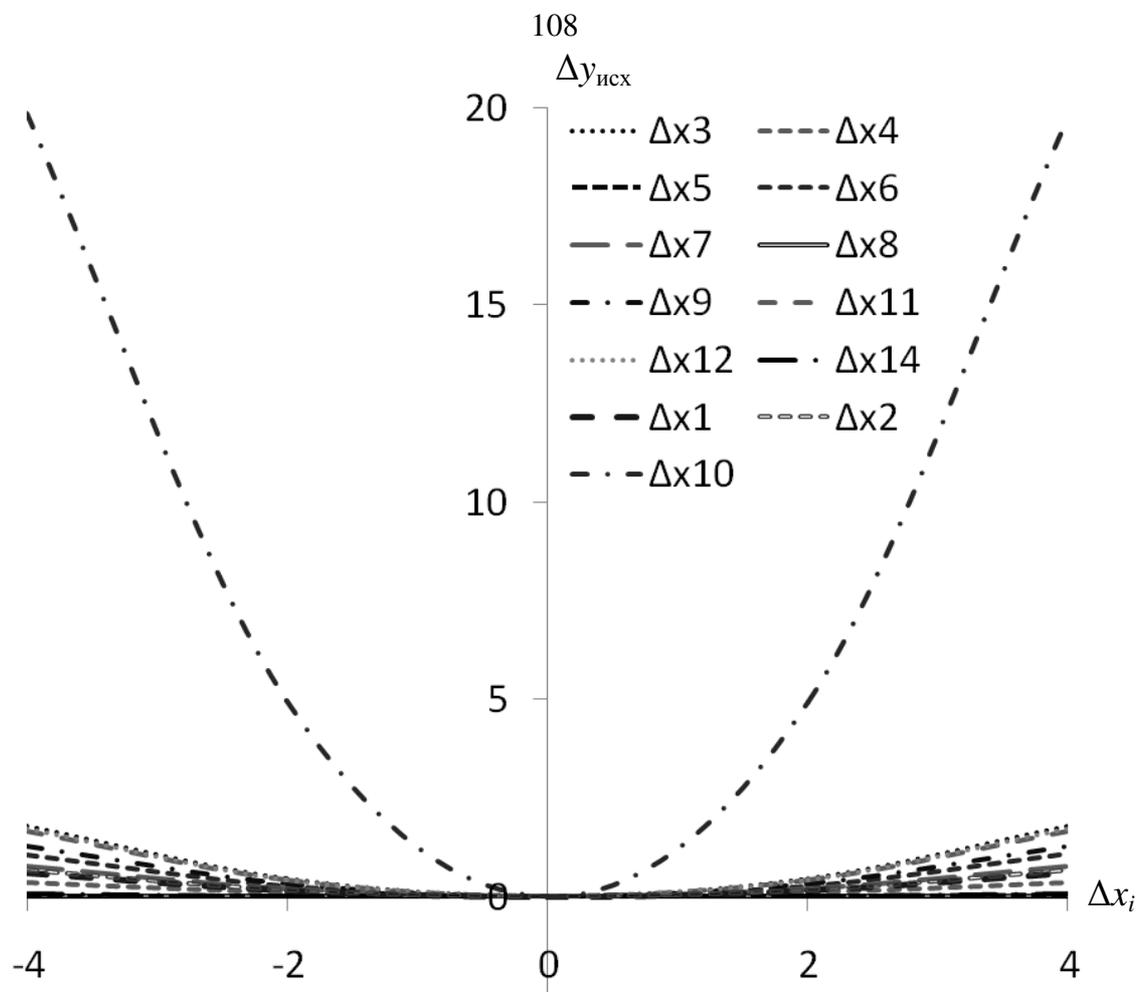


Рис.39—Исследование чувствительности модели (ось ординат) к малому изменению факторов (ось абсцисс)

Влияние остальных факторов на колебание реакции сопоставимо, хотя факторы с большими коэффициентами c_i , как правило, оказывают большее влияние, чем остальные. Так, наименьшие коэффициенты в модели при факторах: 5 (удельный вес жилых домов, построенных населением за свой счет), 14 (оборот розничной торговли на душу населения) соответствуют небольшой чувствительности системы к их изменению.

Исследование чувствительности модели к малому изменению факторов

\tilde{x}_i	Δx_i				
	-4	-2	0	2	4
1	0,60743	0,15211	0,0014	0,15153	0,60105
2	0,68538	0,17235		0,17138	0,68346
3	1,79697	0,44967		0,45103	1,79968
4	0,37665	0,09567		0,09416	0,37363
5	0,00843	0,00093		0,01724	0,04058
6	1,07536	0,26900		0,27144	1,08024
7	0,76982	0,19276		0,19462	0,77354
8	0,02309	0,00641		0,00693	0,02414
9	1,29104	0,32416		0,32164	1,28601
10	19,8462	4,96456		4,92885	19,7747
11	1,66493	0,41843		0,41689	1,66185
12	1,72793	0,43395		0,43426	1,72856
13	0,09006	0,02354		0,02301	0,08900

Поверхности изменения прогнозов близки к плоским, что говорит об устойчивости системы СР в том смысле, что малое взаимное изменение факторов не приводит к большим изменениям реакции системы. Так, взаимовлияние факторов количества жилых домов (x_4) и номинальной заработной платы (x_7) укладывается в рамки представлений об экономике: чем больше заработная плата, тем больше жилья может быть построено вообще в регионе (рис. 40). Примерно аналогичные плоские поверхности отклика получены для всех возможных пар факторов.

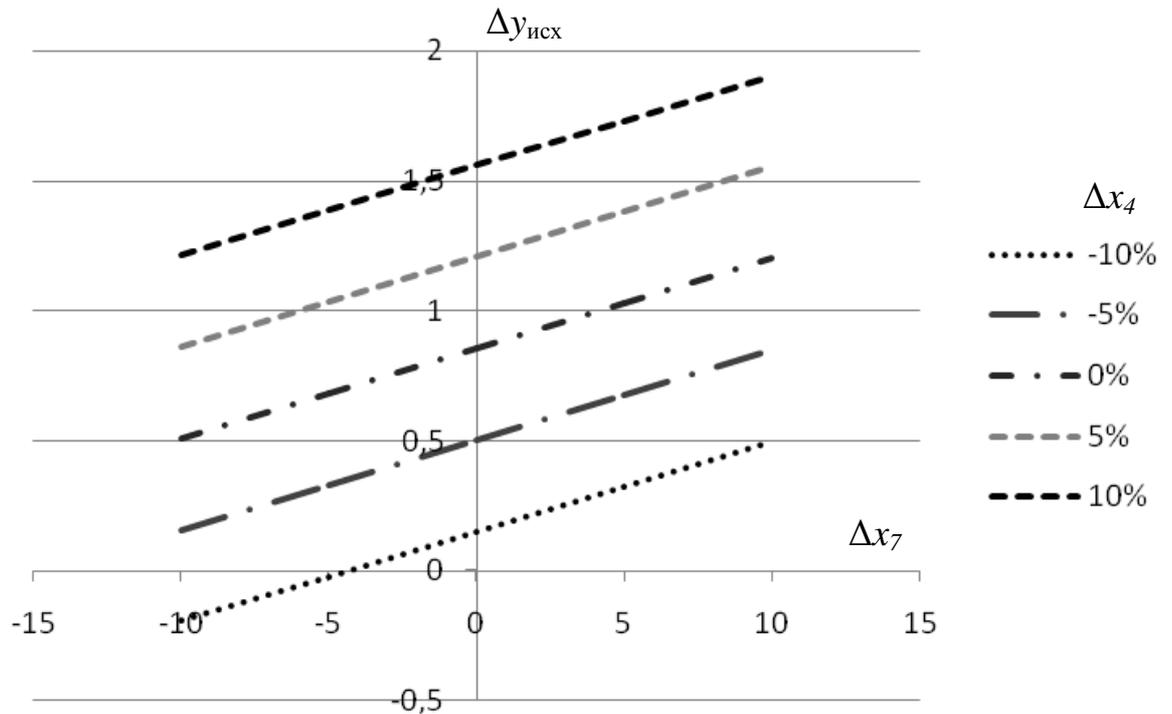


Рис.40–Исследование чувствительности модели к малому изменению количества построенного жилья в регионе (x_4) и размера номинальной оплаты труда (x_7)

Вывод об устойчивости модели представляется весьма важным. Это означает, что, несмотря на очевидную нелинейность системы, описанной дифференциальным уравнением, в пределах малых колебаний факторов отклик системы имеет линейный характер. То есть до некоторых пределов можно при прогнозе последствий принятых решений по развитию СР просто масштабировать достижения, полученные при других уровнях воздействий.

Таким образом, нами выявлены управляющие рычаги воздействия на развитие системы социального ресурса, влияя на которые краевое руководство может влиять на развитие СР в регионе.

3.5 Выводы и заключение по главе

Теоретически разработана регрессионно-дифференциальная модель развития краевого социального ресурса на основе обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка. 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, рекурсивного фильтра Калмана, модели в пространстве состояний, 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.

Выявлены управляющие факторы воздействия на развитие системы краевого социального ресурса.

Задачами дальнейшего исследования являются:

1. исследовать поведение модели при одиночном и совместном воздействии на управляющие факторы;
2. выявить зоны негативного и позитивного прогноза развития системы краевого социального ресурса;
3. при получении негативного прогнозного сценария развития СР предложить возможные пути изменения последнего.

ГЛАВА 4. ПРОГНОЗЫ РАЗВИТИЯ СОЦИАЛЬНОГО РЕСУРСА КРАЯ

4.1 Исследование возможности прогнозирования с помощью регрессионно-дифференциальной модели

После получения коэффициентов, описывающих регрессионно-дифференциальную модель, встает вопрос о возможности ее использования для прогнозирования развития объекта. Выше, в разделе 3.3 было принято предположение, что если РДМ не в состоянии «спрогнозировать» значение в последнем году ряда, на самом деле известное, то она, по индукции, не сможет также спрогнозировать поведение объекта в следующие года. Однако это ведь не означает, что если модель хорошо прогнозирует один год, то она будет прогнозировать и следующие года. Проверим на примерах погрешность прогнозирования с использованием РДМ.

Прогнозирование нужно не само по себе, а для решения задач управления. Поэтому следует разделять две разные ситуации. Прежде чем прогнозировать реакцию объекта надо спрогнозировать значения факторов в будущие года. Факторы за пределами известного ряда данных могут изменяться «сами по себе», без воздействий со стороны ЛПР или других внешних сил, а могут в пределах разумного целенаправленно изменяться.

Примем допущение, что предоставленные сами себе факторы будут изменяться так же, как они менялись за несколько последних лет. То есть для их прогнозирования необходимо:

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

Выделим три следующих возможных уравнений поведения 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 $x(t) = \bar{x} \pm \Delta x$. В этом случае будем считать, что предоставленный сам себе фактор будет оставаться на уровне одного из значений в пределах $\bar{x} \pm \Delta x$. В том числе, можно использовать последнее значение годового ряда.

Известно [8], что для расчета коэффициентов линейной регрессии необходимо решить систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) вида

$$\begin{pmatrix} I & \sum_i t_i \\ \sum_i t_i & \sum_i (t_i)^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_i x_i \\ \sum_i (x_i \cdot t_i) \end{pmatrix}. \quad (23)$$

В удобном для использования виде ее решение выглядит как

$$\begin{cases} b = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x}) \cdot (t_i - \bar{t})}{\sum_i (t_i - \bar{t})^2}, \\ a = \bar{x} - b \cdot \bar{t} \end{cases}, \quad (24)$$

где I – длина ряда данных, $\bar{x} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I x_i$ и $\bar{t} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I t_i$ – средние значения фактора и времени, в который зафиксирована его величина.

По индукции можно записать для квадратичной регрессии

$$\begin{pmatrix} I & \sum_i t_i & \sum_i (t_i)^2 \\ \sum_i t_i & \sum_i (t_i)^2 & \sum_i (t_i)^3 \\ \sum_i (t_i)^2 & \sum_i (t_i)^3 & \sum_i (t_i)^4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_i x_i \\ \sum_i (t_i \cdot x_i) \\ \sum_i (t_i^2 \cdot x_i) \end{pmatrix}$$

Решение такой системы приводит к

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\sum t^2 x \cdot (\sum t)^2 - \sum xt \cdot \sum t \cdot \sum t^2 - \sum t^3 \cdot \sum y \cdot \sum t + \sum x \cdot (\sum t^2)^2 - I \cdot \sum t^2 x \cdot \sum t^2 + I \cdot \sum t^3 \cdot \sum xt}{\sum t^4 \cdot (\sum t)^2 - 2 \cdot \sum t \cdot \sum t^2 \cdot \sum t^3 + (\sum t^2)^3 - I \cdot \sum t^4 \cdot \sum t^2 + I \cdot (\sum t^3)^2} \\ \frac{(\sum t^2)^2 \cdot \sum xt + I \cdot \sum t^3 \cdot \sum t^2 x - I \cdot \sum t^4 \cdot \sum xt - \sum t \cdot \sum t^2 \cdot \sum t^2 y + \sum t \cdot \sum t^4 \cdot \sum x - \sum t^2 \cdot \sum t^3 \cdot \sum x}{\sum t^4 \cdot (\sum t)^2 - 2 \cdot \sum t \cdot \sum t^2 \cdot \sum t^3 + (\sum t^2)^3 - I \cdot \sum t^4 \cdot \sum t^2 + I \cdot (\sum t^3)^2} \\ \frac{\sum t^2 x \cdot (\sum t^2)^2 - \sum xt \cdot \sum t^2 \cdot \sum t^3 - \sum t^4 \cdot \sum x \cdot \sum t^2 + \sum x \cdot (\sum t^3)^2 - \sum t \cdot \sum t^2 x \cdot \sum t^3 + \sum t \cdot \sum t^4 \cdot \sum xt}{\sum t^4 \cdot (\sum t)^2 - 2 \cdot \sum t \cdot \sum t^2 \cdot \sum t^3 + (\sum t^2)^3 - I \cdot \sum t^4 \cdot \sum t^2 + I \cdot (\sum t^3)^2} \end{pmatrix}$$

(индексы у x_i и t_i опущены для экономии места).

Для определения вида подходящей регрессии фактора вычислим коэффициенты линейной корреляции [20], характеризующие близость исходных данных к полученным регрессией. Для линейно корреляции между рядами x_i и y_i формула коэффициента имеет вид

$$R = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_i (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\overline{y \cdot x} - \bar{y} \cdot \bar{x}}{\sqrt{\sigma_x^2 \cdot \sigma_y^2}},$$

где $\sigma_x^2 = \overline{x^2} - \bar{x}^2$ и $\sigma_y^2 = \overline{y^2} - \bar{y}^2$ – дисперсия переменных x и y соответственно.

Квадрат коэффициента парной корреляции для любых видов регрессии в *MS Excel* рассчитывается как

$$R^2 = \frac{ssreg}{sstotal},$$

где $ssresid = \sum (y - y(x))^2$, y – исходные, $y(x)$ – вычисленные значения,

$$sstotal = \sum (y - \bar{y})^2, \quad \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (\text{по исходным, а не вычисленным, значениям}),$$

$$ssreg = sstotal - ssresid.$$

Примем, что если $R^2 \geq 0.95$, то выбранный вид регрессионной зависимости удовлетворительно описывает поведение фактора в пределах ретроспективы.

Причем, поскольку линейная регрессия является частным случаем квадратичной, алгоритм выбора вида регрессии будет следующий:

1. Если для линейной регрессии $R^2 \geq 0.95$, то вид регрессии – линейный.
2. 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.

Проверим возможность прогнозирования при помощи РДМ для нескольких рядов исходных данных. Выберем такие тестовые задачи Коши, чтобы и факторы, и реакция сразу находились в интервале $[0,1]$, то есть нормировка не изменяла значений в рядах данных. Этому удовлетворяют, например, ряды факторов, рассчитанные по формулам $x_1(t) = 1 - 0.2t$ и $x_2(t) = 0.02513t^2 + 0.07434t$ и задачи Коши:

$$A. \frac{dy(x,t)}{dt} = -0.1 - 0.6y(x,t) + 1.3x_1(t), \quad y(x,0) = 0.$$

$$B. \frac{d^2y(x_1, x_2, t)}{dt^2} = 0.2 - 0.2y(x_1, x_2, t) + 0.1x_1(t) - 0.7x_2(t) + 0.1 \frac{dy(x_1, x_2, t)}{dt},$$

$$y(x_1, x_2, 0) = 0, \quad \frac{dy(x_1, x_2, 0)}{dt} = 0.$$

Точные решения этих задач:

$$A. y(t) = -0.433333t - 2.72222(\exp(-0.6t) - 1)$$

$$B. y(t) = 2.15548 - 0.087955t^2 - 0.448145t + \\ + 1.25092 \exp(0.05t) \cdot \sin(0.44441t) - 2.15548 \exp(0.05t) \cdot \cos(0.44441t)$$

Будем, по аналогии с данными исходной задачи и определенным выше горизонтом прогнозирования, считать известными данные за 6 лет ($t_i \equiv i = \overline{0,5}$) и прогнозировать на 4 года $i = \overline{6,9}$. Для модели А будем строить РДМ на основе ОДУ 1-го порядка, для модели В – на основе ОДУ 2-го порядка. Проверка обеих моделей на возможность прогнозирования последнего года показала

удовлетворительный результат (погрешность прогнозирования $y(5)$ по данным $i = \overline{0,4}$ 2,7% для модели А и 2,1% для модели В).

Рассчитаем коэффициенты для обеих моделей в нормализованном представлении, получим уравнения:

$$A. \frac{dy(x,t)}{dt} = -0.1022 - 0.5561y(x,t) + 1.226x_1(t)$$

$$B. \frac{d^2y(x_1, x_2, t)}{dt^2} = 0.1557 - 0.2324y(x_1, x_2, t) + \\ + 0.0263x_1(t) - 0.5988x_2(t) + 0.3914 \frac{dy(x_1, x_2, t)}{dt}$$

Оценим погрешность аппроксимации (при $i = \overline{0,5}$) и прогнозирования (таблица 21), (рис. 41).

Таблица 21

Погрешность аппроксимации тестовых моделей

i	Модель А		Модель В		Абсолютная погрешность	
	Исходные данные	РДМ	Исходные данные	РДМ	Модель А	Модель В
0	0	0	0	0	0	0
1	0,7950	0,7730	0,1390	0,1562	0,0220	0,0172
2	1,0000	1,0177	0,4790	0,4768	0,0177	0,0022
3	0,9720	0,9642	0,8430	0,8366	0,0078	0,0064
4	0,7420	0,7424	1,0000	1,0033	0,0004	0,0033
5	0,4200	0,4262	0,6710	0,6598	0,0062	0,0112
6	0,0480	0,0522	-0,3400	-0,5326	0,0042	0,1926
7	-0,3520	-0,3470	-2,1790	-2,7030	0,0050	0,5240
8	-0,7670	-0,7638	-4,8650	-5,7040	0,0032	0,8390
9	-1,1900	-1,1910	-8,2760	-9,1020	0,0010	0,8260
10	-1,6180	-1,6230	-12,1680	-12,1500	0,0050	0,0180

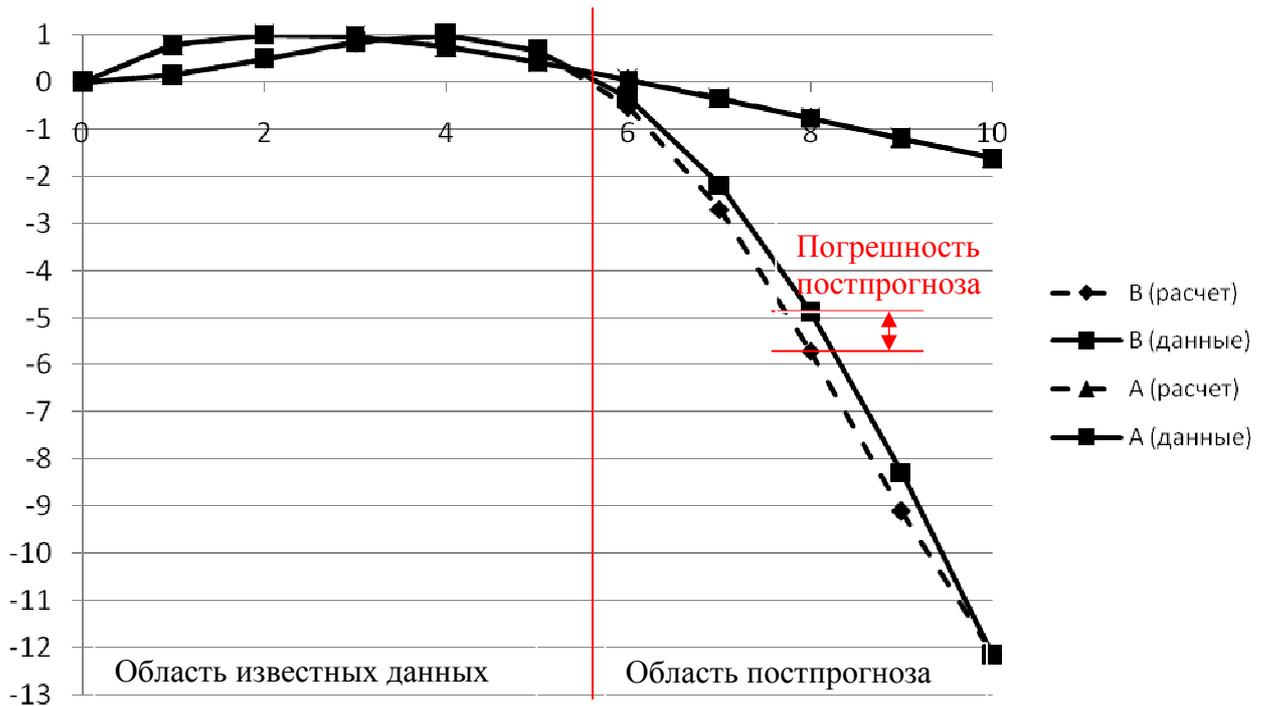


Рис.41–Тренды прогнозов тестовых моделей

Таким образом, РДМ вполне удовлетворительно аппроксимирует и прогнозирует обе тестовые модели на том же горизонте прогнозирования, что определен для основной модели. Построенный инструмент моделирования позволяет удовлетворительно аппроксимировать исходные данные об объекте, если они вообще могут быть описаны дифференциальным уравнением, и прогнозировать его развитие на несколько лет.

4.2. Прогнозирование развития социального ресурса в зависимости от изменения одиночных факторов

Построим прогнозы развития системы СР на определенный выше горизонт планирования (4 года) вперед при незначительных изменениях ($\pm 5\%$) управляемых факторов (x_2 , x_7 , x_9 и x_{10}).

Для каждого из этих факторов модели производилось изменение на $\pm 5\%$, при этом контролировалось относительное изменение реакции системы. В программном обеспечении для этого создана специальная вкладка (рис. 42). На ней же, как описано в предыдущем разделе, определяются тенденции поведения факторов в пределах ретроспективы (в нашем случае - 4 года).

Регрессия ОДУ с запаздыванием (n-й порядок)

Продолжительность прогноза

X	Р	Лин	Кв	%
X1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
X2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
X3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
X4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
X5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
X6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
X7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
X8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
X9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
X10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
X11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
X12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
X13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
X14	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0
X15	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0

Вектор времен для прогноза

Очистить

Результат прогноза

Вывод

Нормализованный

Денормализованный

1	1	1			
1.364	1.837	2.421			
1.081	1.162	1.243			
1.715	2.71	3.987			
1	1	1			
1.094	1.188	1.282			
1	1	1			
1.377	1.844	2.402			
1.196	1.392	1.589			
0.0189	0.0694	0.1515			
-0.1231	-0.3268	-0.5305			
0.015	0.015	0.015			
1.071	1.141	1.212			
1.106	1.213	1.319			

Определение характера изменения факторов (R^2)

R^2(Лин)	R^2(Кв)	Вид
0.1189	0.6640	Пост
0.6620	0.9919	Квад
1.0000	1.0000	Лин
0.4844	0.9991	Квад
0.2170	0.4757	Пост
0.9854	0.9950	Лин
0.9357	0.9436	Пост
0.9482	0.9999	Квад
0.9870	0.9956	Лин
0.9076	1.0000	Квад
0.9791	0.9895	Лин
0.5028	0.9171	Пост
1.0000	1.0000	Лин
0.9660	0.9944	Лин

Определить

В движки

Ретроспектива лет

Расчет

Excel

Данные | Расчет | Коэффициенты | Результат | Перебор | Прогноз | Корреляция | Критерий

Tab4Enter: графики построены

Выход

Рис.42–Работа с вкладкой «Прогноз»

Последовательно меняя значения $x_n(t)$ оценили сначала влияние на относительное изменение прогноза динамики СР каждого фактора в отдельности, а затем синергетическое влияние пар факторов.

В результате получили набор прогнозных сценариев развития системы (рис. 43, таблица 22).

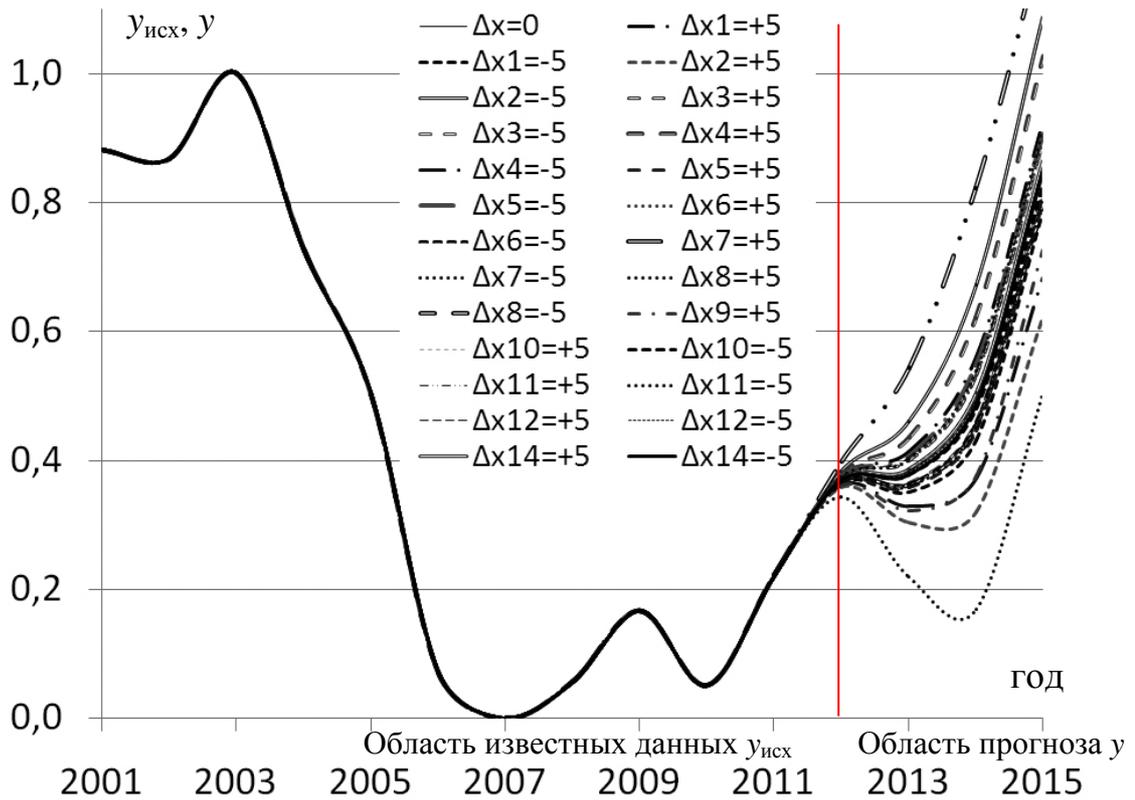


Рис.43–Исследование чувствительности модели (ось абсцисс) к малому изменению факторов (ось ординат)

При отсутствии отклонений управляемых факторов от найденной ранее тенденции, краевой СР испытывает сначала некоторое снижение по сравнению с уровнем 2013 года, затем начинается его рост. Однако по состоянию на момент горизонта прогноза его оценка все же не достигает значений 2002-2004 годов.

Таблица 22

Проверка чувствительности модели к малым изменениям факторов

Год (t) лет	$\Delta x=0$	$\Delta x_1=+5$	$\Delta x_1=-5$	$\Delta x_7=+5$	$\Delta x_7=-5$	$\Delta x_8=+5$	$\Delta x_8=-5$	$\Delta x_9=+5$	$\Delta x_9=-5$	$\Delta x_{10}=+5$	$\Delta x_{11}=+5$	$\Delta x_{12}=+5$	$\Delta x_{14}=+5$	$\Delta x_{14}=-5$
2001	0,8824													
2002	0,8684													
2003	1,0000													
2004	0,7266													
2005	0,5036													
2006	0,0708													
2007	0,0000													
2008	0,0561													
2009	0,1667													
2010	0,0507													
2011	0,2214													
2012	0,3701	0,3755	0,3647	0,3976	0,3427	0,3733	0,3669	0,36	0,3802	0,3708	0,3663	0,3704	0,3708	0,3694
2013	0,3821	0,4139	0,3502	0,5443	0,2198	0,4018	0,3624	0,3222	0,4419	0,387	0,3597	0,3835	0,3862	0,3779
2014	0,496	0,5602	0,4318	0,8228	0,1692	0,5394	0,4526	0,3755	0,6165	0,5114	0,4510	0,4988	0,5043	0,4877
2015	0,855	0,9241	0,7859	1,207	0,5032	0,9104	0,7996	0,7253	0,9847	0,884	0,8065	0,858	0,8639	0,8461

Этому легко найти объяснение, связанное с тем, что на рубеже перехода от СССР к РФ в конце 1990-х годов, на волне подъема промышленности, в крае был накоплен существенный социальный ресурс, отвечающий тем частным критериям, которые приняты нами для оценки. С небольшим запаздыванием, объясняемым приходом выпускников из учреждений образования и повышением квалификации ранее принятых трудовых ресурсов, рост СР прекратился, и началось его быстрое падение.

Аналогичную картину с запаздыванием, но меньшим по величине, можно наблюдать при спаде СР в 2009-10 годах, вызванную, во-первых, общим кризисом, а во-вторых (в отношении Верхнекамского ТПК), событиями 2006-2008 годов, связанными с закрытием предприятий, затоплением калийного рудника в г. Березники и т.д. Всё это вызвало определенный отток населения, включая квалифицированных работников, а значит, и оценка СР упала.

Повышение цен на экспортные нефть и газ в 2009-2011 годах вызвало общий подъем в стране, который сказался и на оценке СР в Пермском крае, где нефтедобыча является важной составляющей использования природно-ресурсного капитала, наряду с калийными солями, лесопромышленностью и металлургией. Замедление динамики СР в 2013 году вызвано, возможно, ухудшением общей политической обстановки в стране, ужесточением законодательства и сопутствующими процессами, к которым требуется адаптация населения. Этим вызвано некоторое падение оценки СР, которое затем переходит в некоторый рост, стимулируемый высокими (до момента написания настоящей работы) ценами на нефть и приспособлением населения (основного носителя СР) к условиям существования.

Если рассматривать возможности ускорения и замедления роста краевого СР, то наибольшее ускорение динамики СР происходит при 5%-ном росте фактора x_7 (среднемесячная номинальная заработная плата), что вполне естественно. Наибольшее сдерживание СР вызывает 5%-ное уменьшение фактора x_7 , а также 5%-ное увеличение номинального ВРП. Последнее объясняется тем, что рост номинального ВРП (в отличие от реального) вызывается, как правило,

инфляцией, ростом цен, увеличением обязательных расходов населения, но не увеличением его реальной покупательной способности, а значит, трудоустройство на предприятиях становится менее привлекательным. К снижению оценки СР ведет так же увеличение пенсий (фактор x_9) – бремени для предприятий, являющихся основой формирования краевого СР.

Рассмотрим подробнее влияние на прогноз оценки СР наиболее значимых управляемых факторов (таблица 23, рис. 44-45).

Таблица 23

Прогнозный сценарий развития краевого СР на 2012-2015 гг. при разных изменениях ВРП (фактора x_2)

t , лет	$\Delta x=0$	$\Delta x_2=+5$	$\Delta x_2=+10$	$\Delta x_2=-10$
2012	0,3701	0,3576	0,345	0,3953
2013	0,3821	0,3039	0,2258	0,5384
2014	0,496	0,3199	0,1439	0,8481
2015	0,855	0,6221	0,3892	1,321

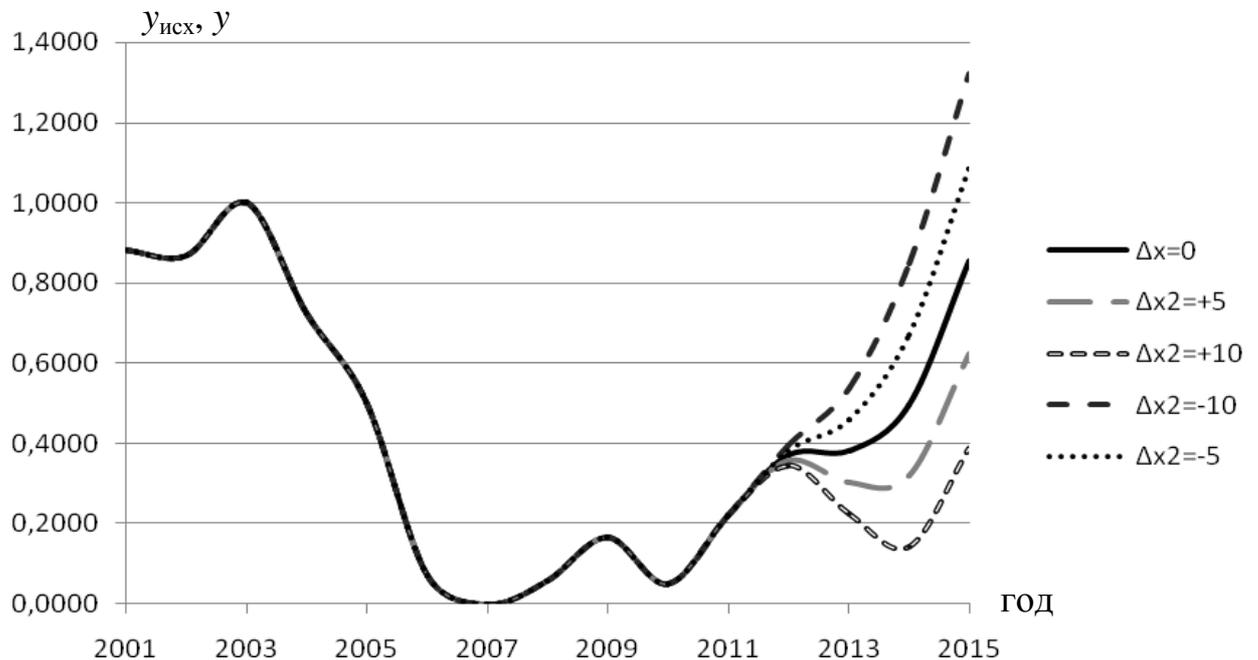


Рис.44–Влияние изменения ВРП на душу населения (Δx_2) на прогноз развития социального ресурса

Как видно из рис. 44, незначительный рост ВРП на +5...10% приводит к значительному ухудшению развития СР, что может быть обусловлено

идентификацией параметра роста. Различают номинальный валовой региональный продукт (выражен в текущих ценах) и реальный ВРП (отображен в сопоставимых ценах). Рост первого говорит об ухудшении экономической ситуации в регионе (растут цены, инфляция), тогда как рост реального валового регионального продукта говорит о росте реального сектора производства. В нашем случае, растет именно номинальный ВРП, как следствие, происходит ухудшение развития краевого ресурса.

Одинокое воздействие фактора x_7 (размер заработной платы), вызывает обратную реакцию системы, по сравнению с фактором x_2 (рис.45). С ростом номинальной заработной платы наблюдаем улучшение СР. Это естественно, ведь больший объем средств у населения может быть направлен на саморазвитие. Вызывает сомнение, что путем 10%-ного роста заработной платы в регионе можно действительно улучшить СР вдвое и превзойти показатели 2000-х годов, но, скорее всего, общая тенденция верна: чем больше рост заработной платы, тем привлекательнее регион как для притока квалифицированных работников, так и с точки зрения удержания подготовленных в регионе кадров.

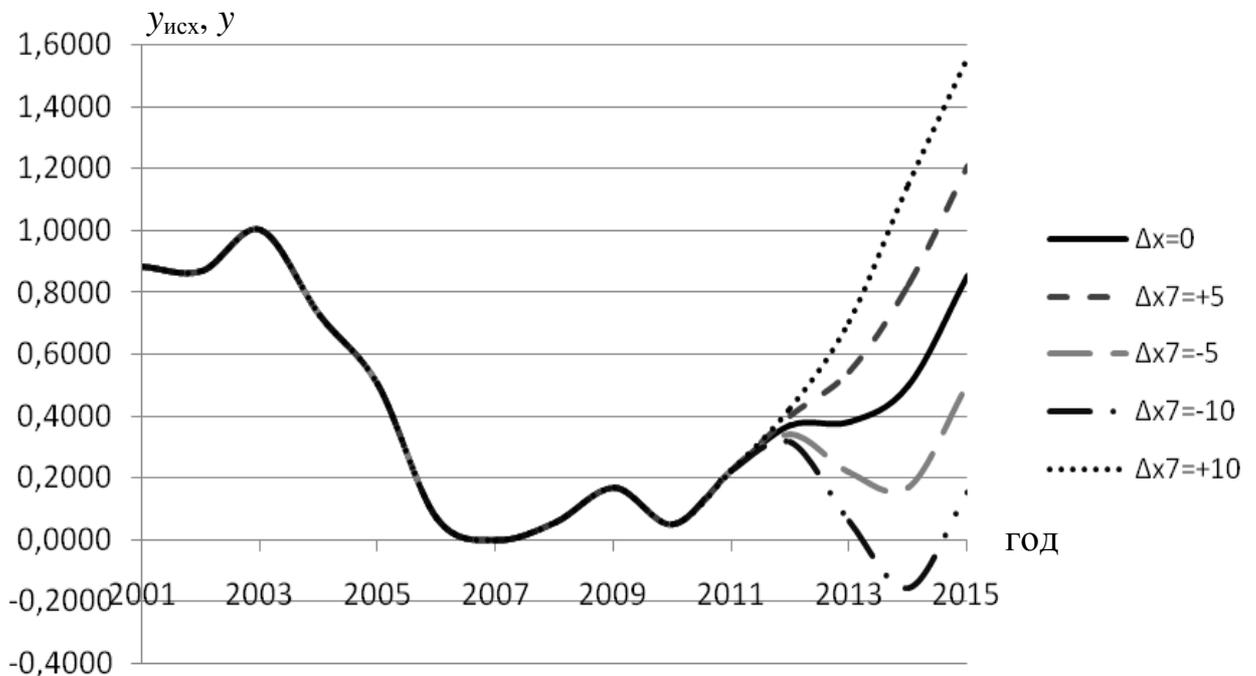


Рис.45–Влияние изменения уровня заработной платы на прогноз развития социального ресурса

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. В итоге, наибольшее влияние оказывает изменение отдельных факторов x_2 (ВРП на душу населения), x_4 (количество введенных жилых домов), x_7 (размер среднемесячной заработной платы) и x_9 (средний размер пенсий).

4.3. Прогнозирование развития социального ресурса в зависимости от синергетического влияния изменения пар факторов

Далее проанализируем синергетическое влияние изменения управляемых факторов на динамику социального ресурса. Лица, принимающие решение, могут непосредственно или опосредованно изменять значения управляемых факторов. Например, увеличение количества больничных коек возможно непосредственно (постройкой или реорганизацией больниц), а изменение средней заработной платы по региону может быть вызвано повышением или снижением зарплаты бюджетникам, что повлечет и общие изменения.

Для исследования будем на той же вкладке программы совместно изменять пары факторов и контролировать значение прогноза СР в год, соответствующий горизонту планирования (таблицы 24-27).

Таблица 24

Прогнозный сценарий развития краевого СР на 2015 г. при совместных изменениях факторов x_2 и x_7

x_2	+0%	+5%	-5%	-5%	+5%
x_7	+0%	+5%	-5%	+5%	-5%
2012	0,3701	0,3850	0,3553	0,4101	0,3301
2013	0,3821	0,4662	0,2979	0,6225	0,1416
2014	0,4960	0,6467	0,3453	0,9988	-0,0069
2015	0,8550	0,9739	0,7361	1,4400	0,2703

Таблица 25

Прогнозный сценарий развития краевого СР на 2015 г. при совместных изменениях факторов x_9 и x_7

x_7	+0%	+5%	-5%	-5%	+5%
x_9	+0%	+5%	-5%	+5%	-5%
2012	0,3701	0,3874	0,3528	0,3326	0,4077
2013	0,3821	0,4845	0,2796	0,1600	0,6042
2014	0,4960	0,7023	0,2897	0,0487	0,9433
2015	0,8550	1,0770	0,6329	0,3735	1,3360

Таблица 26

Прогнозный сценарий развития краевого СР на 2015 г. при совместных изменениях факторов x_{10} и x_9

x_{10}	+0%	+5%	-5%	-5%	+5%
x_9	+0%	+5%	-5%	+5%	-5%
2012	0,3701	0,3607	0,3796	0,3809	0,3594
2013	0,3821	0,3272	0,4369	0,4469	0,3173
2014	0,4960	0,3909	0,6011	0,6319	0,3601
2015	0,8550	0,7543	0,9557	1,0140	0,6963

Таблица 27

Прогнозный сценарий развития краевого СР на 2015 г. при совместных изменениях факторов x_2 и x_{10}

x_{10}	+0%	+5%	-5%	-5%	+5%
x_2	+0%	+5%	-5%	+5%	-5%
2012	0,3701	0,3582	0,3820	0,3569	0,3833
2013	0,3821	0,3089	0,4552	0,2989	0,4652
2014	0,4960	0,3353	0,6567	0,3046	0,6874
2015	0,8550	0,6511	1,0590	0,5931	1,1170

Совместное влияние факторов 2 (ВРП на душу населения) и 7 (среднемесячная номинальная начисленная заработная плата) представлено на рис. 46. Наибольшее развитие СР происходит при совместном увеличении факторов 2 и 7, либо при одновременном снижении фактора 2 и росте фактора 7. В этом случае недостатки оценки номинального ВРП как показателя развития региона (и фактора, отрицательно влияющего на динамику СР) компенсируются ростом заработной платы. При нулевом росте заработной платы 5%-й рост ВРП вызывает снижение оценки СР к 2015 году на 27% по сравнению с 0%-м его ростом, а 5%-й рост заработной платы позволяет на 14% улучшить оценку ВРП. В то же время, как показано выше, без изменения ВРП тот же самый 5%-й рост заработной платы приводит к росту оценки СР на 41%. 5%-е снижение ВРП с 5%-ным ростом заработной платы приводят к росту оценки СР на 68%, примерно на столько же, насколько 10%-ный рост заработной платы. Следовательно, можно считать, что ВРП и заработная плата оказывают почти одинаковое по величине, но разное по знаку влияние на динамику СР.

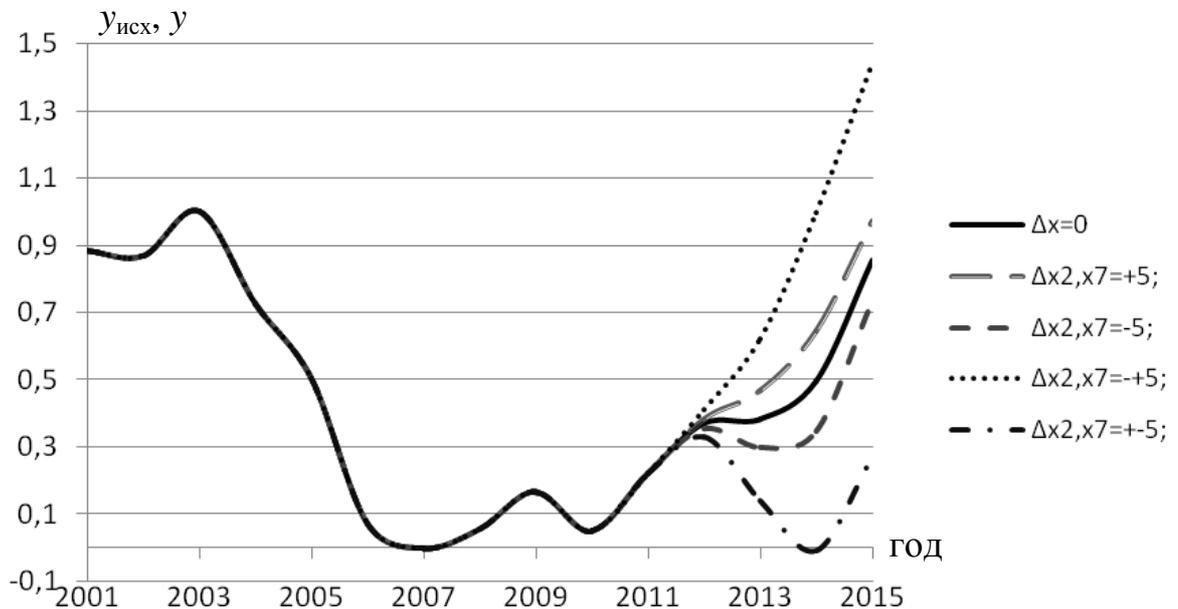


Рис.46–Синергетическое влияние факторов 2 и 7 на сценарий развития СР

Рост заработной платы не связан с ростом номинального ВРП, то есть инфляционный индикатор и уровень цен (фактически, наблюдаемых в ВРП) растут значительно быстрее, чем уровень оплаты труда. Следовательно, лицам,

принимающим решения, желательно обратить внимание не только на номинальный рост оплаты труда, но и на приведение данного уровня в соответствие с ростом макроэкономических показателей (что проявляется в сценарии при котором x_2 снижается, а x_7 растет).

Взаимовлияние факторов 7 (заработной платы) и 9 (размера пенсий) на динамику СР имеет тот же характер (рис.47), что и влияние этих одиночных факторов.

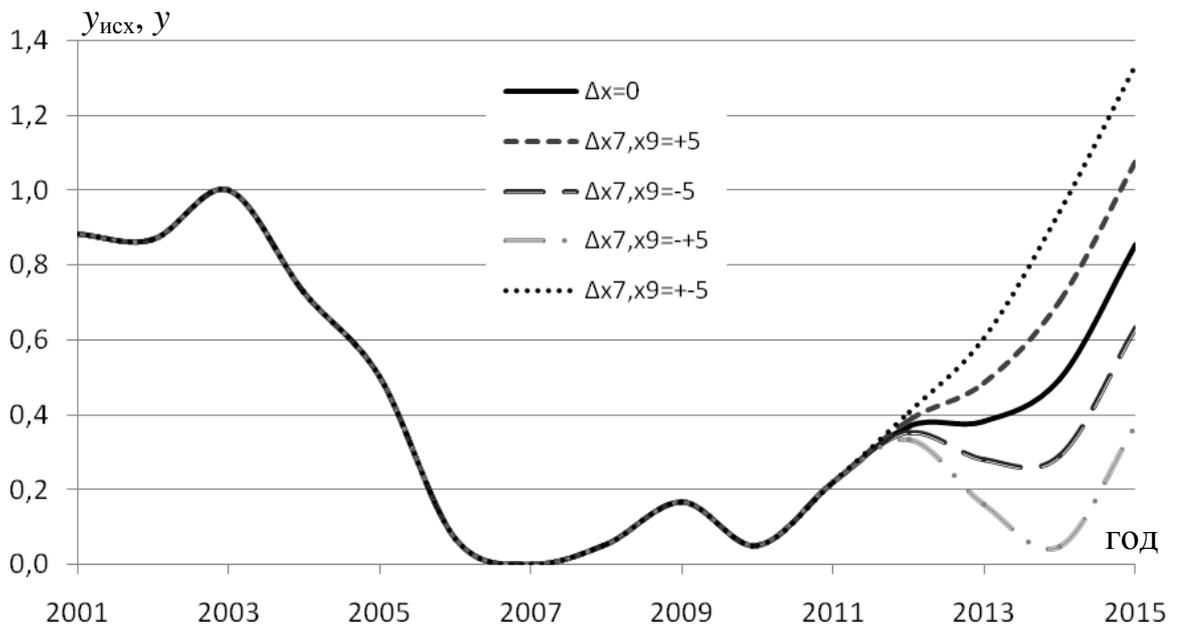


Рис.47—Синергетическое влияние факторов 7 и 9 на сценарий развития СР

Тогда как 5%-й рост пенсий вызывает снижение оценки СР на 15% (см. табл. 18), 5%-е повышение заработной платы на этом фоне приводит к росту оценки СР на 26%. Совместное 5%-е снижение пенсий и 5%-е повышение заработной платы приводят к наибольшему росту оценки СР до 56%, что несколько меньше, чем в случае с 5%-м уменьшением ВРП и ростом заработной платы. Следовательно, для динамики СР более значимым является все же ВРП, а не размер пенсий.

Как видно из рис. 47, однонаправленное влияние на развитие СР ($\pm 5\%$) приведет либо к росту СР, либо к ухудшению критерия развития. Тогда как незначительный рост заработной платы на 5% и снижение пенсии аналогичный процент способны заставить систему развиваться позитивно. Что вполне

обосновано, ведь именно задействованный в экономических отношениях СР способен приносить выгоды региону. При этом рост пенсий и одновременное снижение заработной платы, способны направить систему в зону негативного развития. Таким образом, пенсию и заработную плату лучше изменять одновременно, либо, только увеличивать оплату труда работающему населению. Вероятно, с точки зрения социальной стабильности региона, оценка которой выходит за пределы данного исследования, более предпочтительным все же будет вариант совместного увеличения заработной платы и пенсии (рост оценки СР на 26%), чем снижения пенсии.

Если одиночное воздействие фактора 10 не оказывало влияние на развитие СР, то синергетическое воздействие количества больничных коек (10) и средний размер назначенных пенсий (9) (рис. 48) оказывают на динамику СР иной эффект.

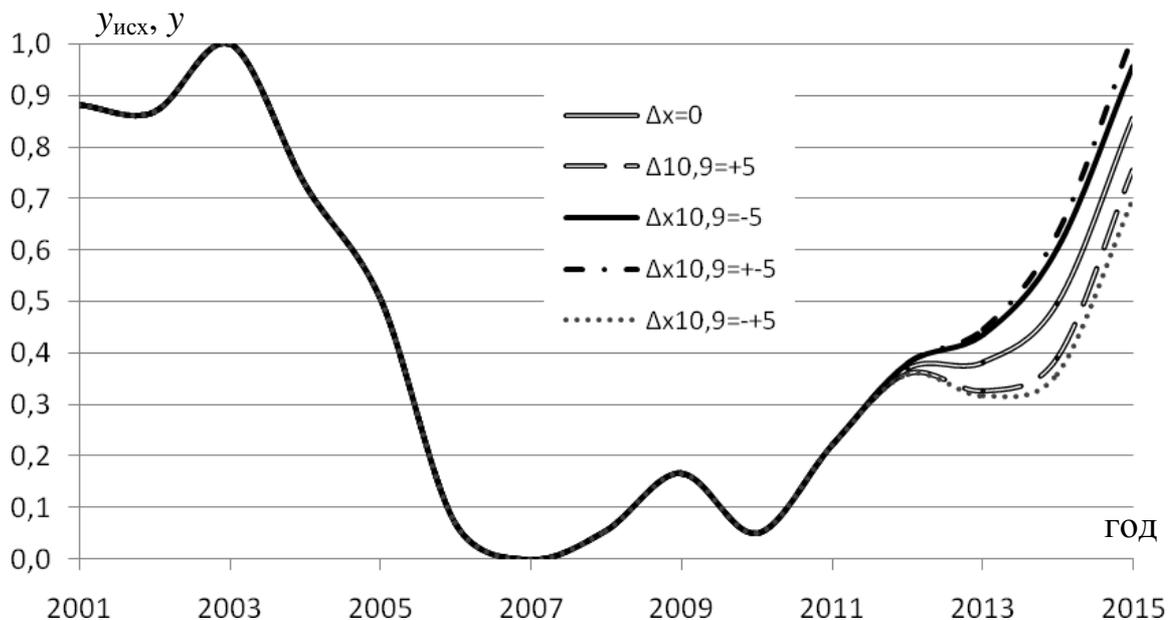


Рис.48–Совместное влияние факторов 9 и 10

Совместный рост факторов 9 и 10 отрицательно влияет на развитие социального ресурса, что может быть обусловлено отсутствием потребности системы в заданном количестве фактора 10 (для «нормального» развития СР требуется какое-то «оптимальное» их количество). А незначительное увеличение количества больничных коек и незначительное снижение уровня пенсий значительно улучшают развитие системы. Положительная ответная реакция

системы СР на уменьшение фактора 9 может быть объяснена снижением бремени выплат для региона и, как следствие, развития ресурса. Нивелировать отрицательное влияние фактора 2 возможно путем увеличения роста реального ВРП, а не номинального (рис. 49).

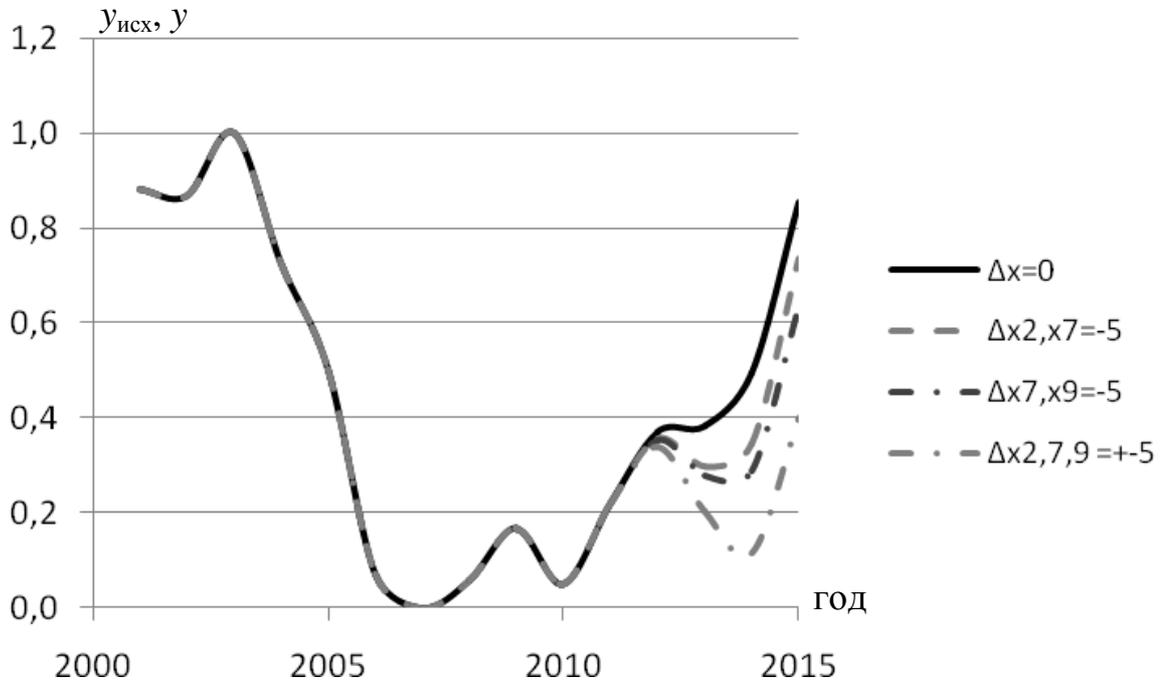


Рис.49–Наихудшие варианты развития СР при синергетическом отрицательном воздействии управляющих факторов 2, 7 и 7, 9.

Обнаружено, что хорошими управленческими решениями являются совместное увеличение на 5% факторов x_2 и x_7 , ведущее к росту оценки СР на 68%, совместное увеличение факторов x_7 и x_9 дает прирост оценки СР на 26%, однако 5%-е уменьшение пенсий (x_9) на фоне 5%-го увеличения зарплат (x_7) дает еще больший эффект (41%) - это свидетельствует, что основу СР края составляет работающее население. В целом, наиболее важным для развития СР оказался фактор x_7 .

4.4. Исследование возможности лиц, принимающих решения, влиять на улучшение динамики социального ресурса

На основе выявленного характера изменения СР, как при одиночном, так и при синергетическом изменении управляющих факторов, исследуем возможности улучшить социальный ресурс с позиции лиц принимающих решения. Для этого будем изменением управляемых факторов преодолевать дестабилизирующие воздействия. Как показано выше, наиболее негативное влияние оказывают следующие одиночные факторы: x_8 (вклады на депозиты), x_{11} (число зарегистрированных преступлений), x_{12} (выбросы загрязняющих веществ в атмосферу), x_{14} (оборот розничной торговли) (табл. 28), (рис. 50).

Таблица 28

Прогнозный сценарий развития краевого СР на $y(2015)$ при одиночном изменении фактора x_8

X_8	+0%	+5%	-5%
2012	0,3701	0,3733	0,3669
2013	0,3821	0,4018	0,3624
2014	0,4960	0,5394	0,4523
2015	0,8550	0,9104	0,7996

Абсолютно предсказуемое влияние на динамику социального ресурса оказывает фактор x_8 . С ростом размеров депозитов СР развивается, тогда как сокращение средств, размещаемых населением, оказывает негативное влияние на динамику СР. Рост депозитных вкладов может быть обусловлен как увеличением размера располагаемых средств у населения (размера заработной платы), так и проводимой политикой государства, например, изменением ставки рефинансирования.

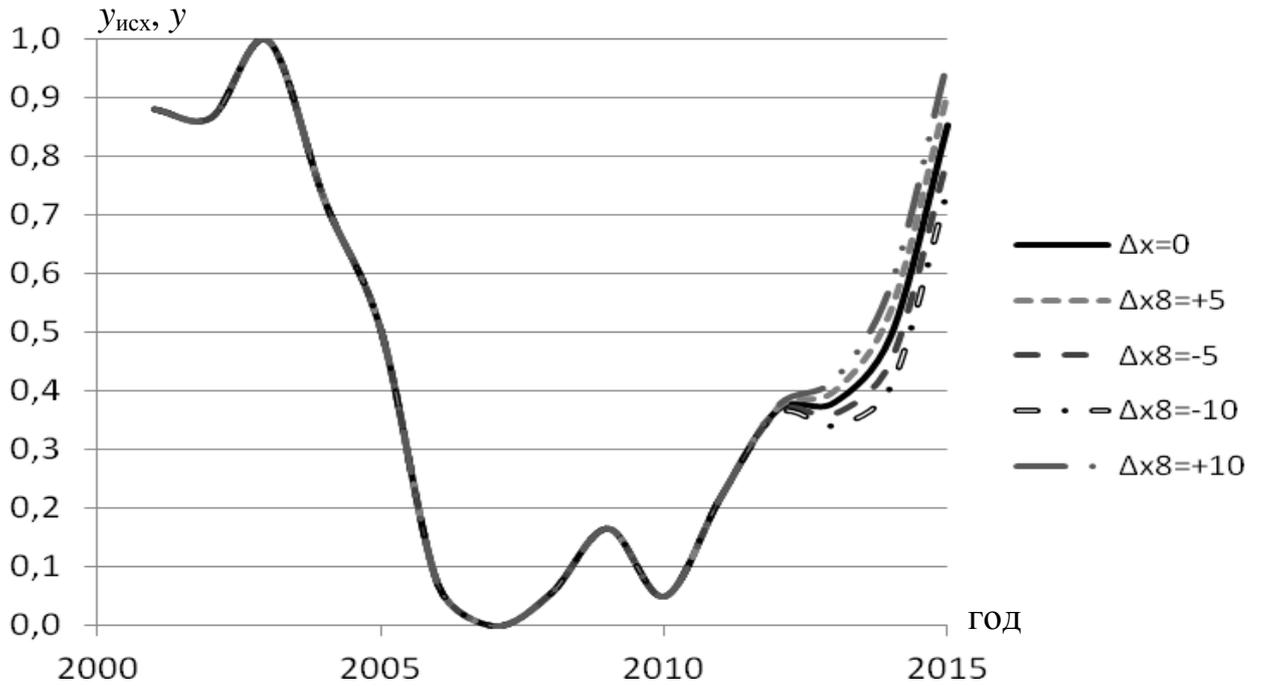


Рис.50–Влияние изменения уровня вкладов на депозиты в Сбербанк на прогноз развития социального ресурса

Оценка влияния остальных факторов, негативно воздействующих на динамику СР приведена в табл. 29. Кратко охарактеризуем влияние каждого фактора. Количество зарегистрированных преступлений (x_{11}) так же как и размер депозитных вкладов (x_8) предсказуемо воздействуют СР. С ростом преступлений происходит ухудшение развития СР (уровень развития снижается по сравнению с базовым на 11%).

Воздействие загрязняющих атмосферу выбросов в незначительной степени сказывается на тренде развития СР (рис. 51). Это может быть обусловлено тем что:

Прогнозный сценарий развития краевого СР на 2015 г. при одиночном изменении факторов x_{11} , x_{12} , x_{14}

X_{11}	+0%	+5%	-5%
2012	0,3701	0,3663	0,3704
2013	0,3821	0,3597	0,3835
2014	0,4960	0,451	0,4988
2015	0,8550	0,8065	0,8580
X_{12}	+0%	+5%	-5%
2012	0,3701	0,3699	0,3694
2013	0,3821	0,3833	0,3805
2014	0,4960	0,4994	0,4938
2015	0,8550	0,8586	0,8525
X_{14}	+0%	+5%	-5%
2012	0,3701	0,3708	0,3694
2013	0,3821	0,3862	0,3779
2014	0,4960	0,5043	0,4877
2015	0,8550	0,8639	0,8461

1. промышленные объекты осуществляют выбросы загрязняющих атмосферу веществ, в пределах норм, установленных природоохранным законодательством;
2. в крае проводятся предупреждающие мероприятия (профессиональные заболевания могут быть установлены на ранних стадиях);
3. носители СР самостоятельно следят за состоянием своего здоровья;
4. Социальный ресурс, задействованный в производственной сфере, «функционирует» до момента своего «износа» (то есть, пока работник физически здоров, соответственно, результаты его труда капитализируются в стоимость предприятия – он продолжает

функционировать на последнем, тогда же, когда потенциал «здоровья» исчерпан, работник выходит на пенсию).

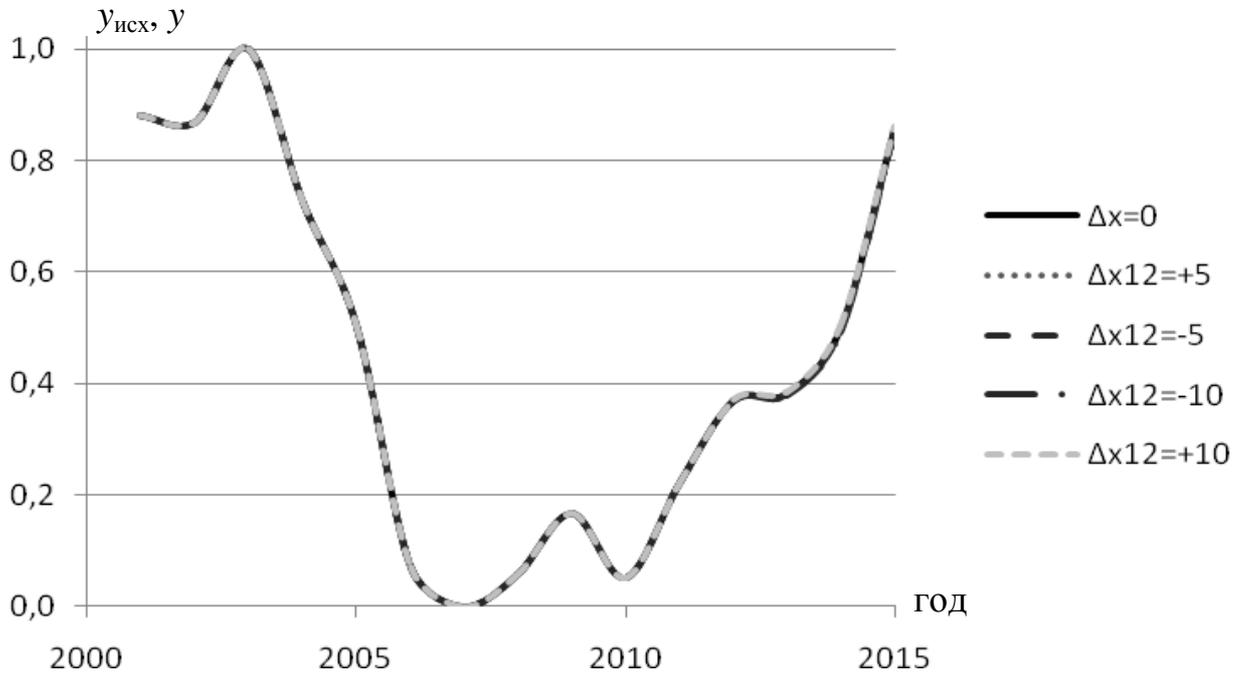


Рис. 51—Отрицательное влияние фактора x_{12} на развитие СР

Влияние оборота розничной торговли (x_{14}) на динамику СР показано на рис. 52. Пятипроцентное увеличение оборота розничной торговли приводит к 1%-му росту динамики СР. Таким образом, с ростом потребительской активности населения динамика СР меняется незначительно. Это может быть обусловлено «качественной» составляющей системы социального ресурса, развитие элементов которого, обеспечивается большей частью не за счет удовлетворения базовых потребностей (в основе потребительская корзина), а за счет удовлетворения потребностей высоких порядков (обучение, самореализация и пр.).

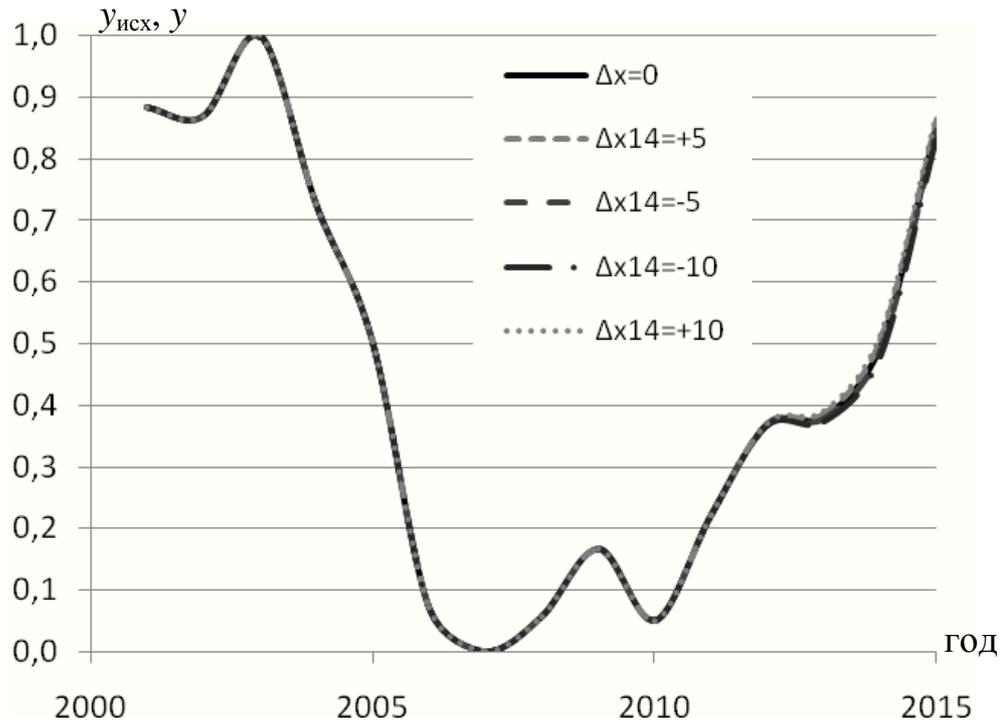


Рис. 52–Отрицательное влияние фактора x_{14} на развитие СР

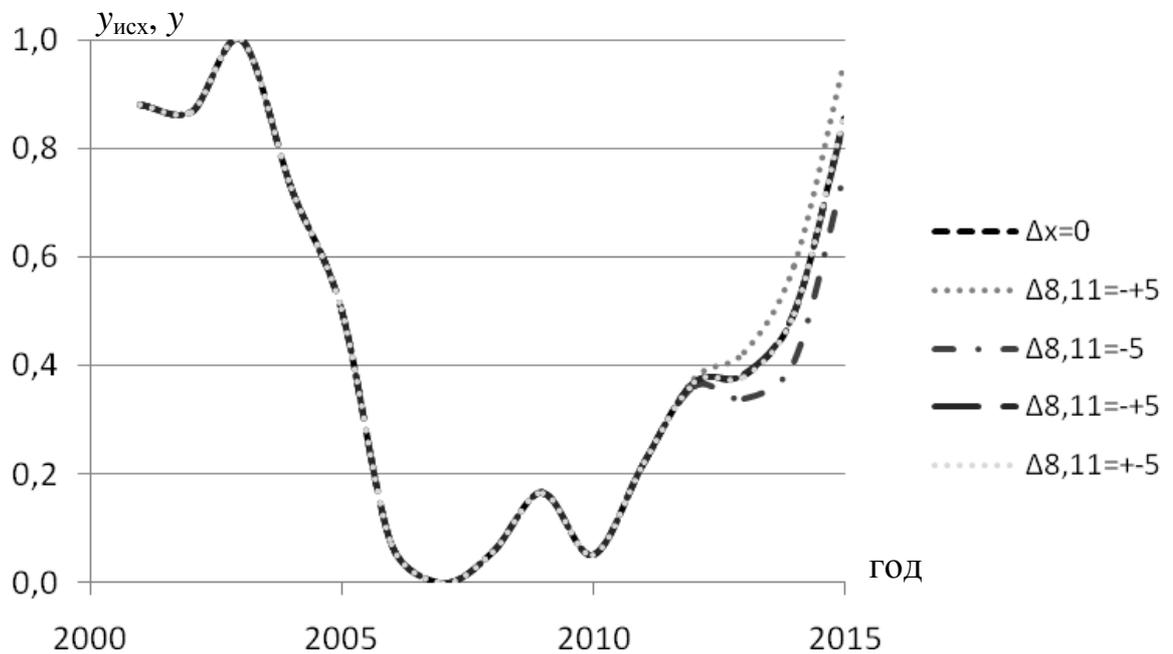


Рис. 53–Отрицательное влияние факторов x_8 и x_{11} на развитие СР

Исследование влияния на динамику СР пар факторов позволило выявить такие, совместное воздействие которых в наибольшей степени дестабилизирует СР. Сильное «разбалтывание» наблюдается при совместном влиянии факторов x_8

(вклады на депозиты) и x_{11} (число зарегистрированных преступлений) (рис.53). Наиболее негативно на развитии СР сказывается рост ВРП, снижающий прогнозный тренд на 27%; совместное снижение средств, размещенных на депозитах, и рост уровня преступности в регионе ухудшают тенденцию СР на 12%.

Далее, воздействуя на негативные прогнозные области с помощью выявленных ранее пар позитивных управляемых факторов, исследуем управленческие решения, способные компенсировать негативные воздействия рассмотренных выше факторов (таблица 30) (рис. 54-55).

Таблица 30

Воздействия ЛПП на негативные прогнозные области

t , лет	$\Delta x=0$	$\Delta x_{8,11}=\pm 5$	$\Delta x_2=+5$	$\Delta x_7=+5$	$\Delta x_{8,11,7}=\pm 5$	$\Delta x_{8,11,9}=\pm 5$	$\Delta x_{2,7}=+5$
2001	0,8824						
2002	0,8684						
2003	1,0000						
2004	0,7266						
2005	0,5036						
2006	0,0708						
2007	0,0000						
2008	0,0561						
2009	0,1667						
2010	0,0507						
2011	0,2214						
2012	0,3701	0,3631	0,3576	0,3976	0,3906	0,3733	0,3850
2013	0,3821	0,3400	0,3039	0,5443	0,5023	0,3998	0,4662
2014	0,496	0,4076	0,3199	0,8228	0,7344	0,5280	0,6467
2015	0,855	0,7511	0,6221	1,2070	0,1030	0,8808	1,9739

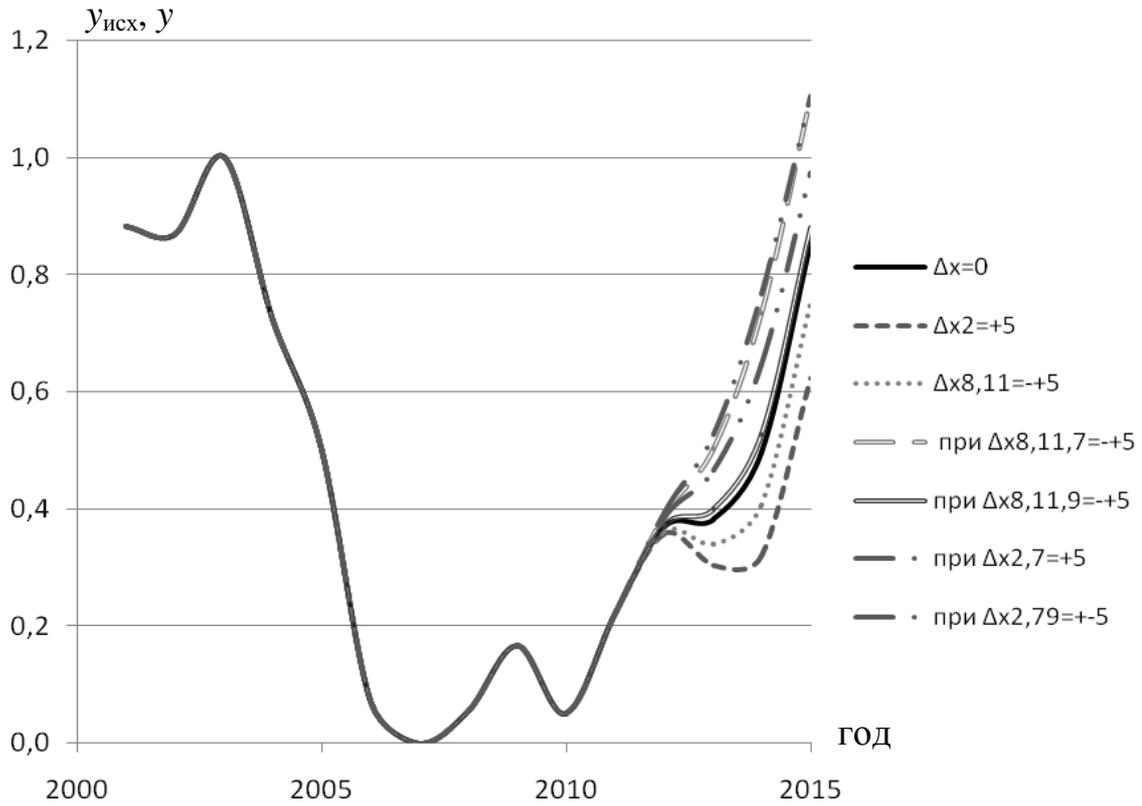


Рис. 54–Воздействие ЛПП на негативные прогнозные области СР

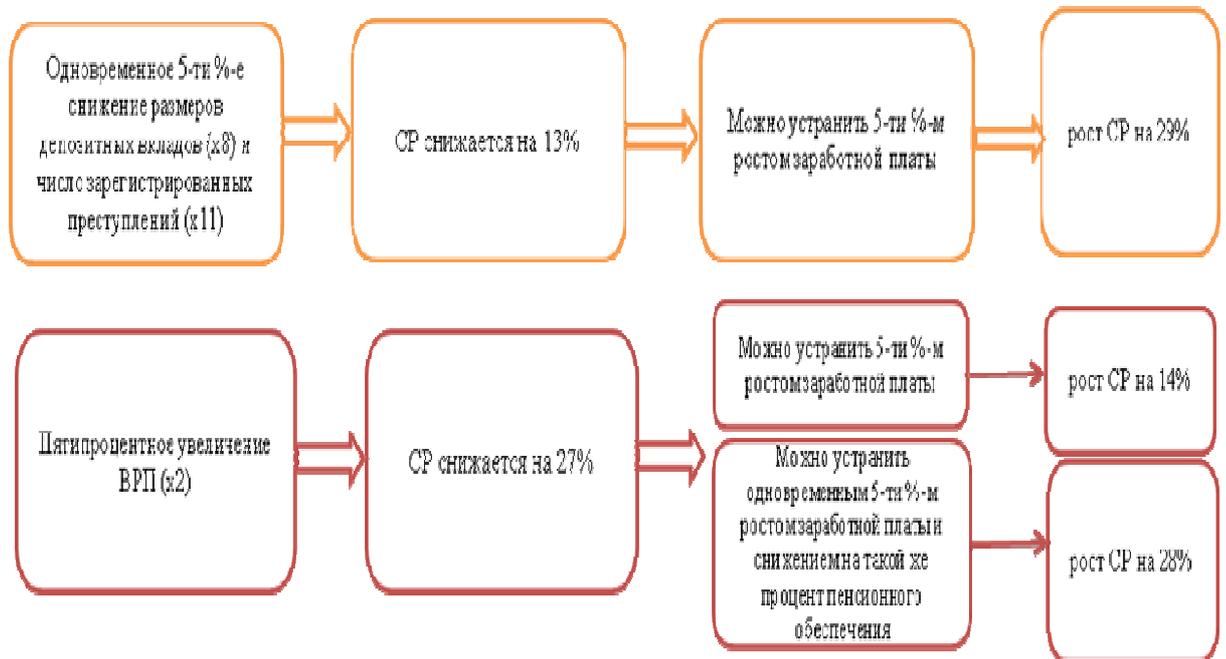


Рис. 55–Воздействие ЛПП на негативные прогнозные области СР в %-м выражении

Положительная динамика СР на оперативный прогнозный горизонт даже при наихудших воздействиях неуправляемых факторов может быть достигнута

краевым правительством при помощи повышения уровня оплаты труда работников. Вероятно, достаточно произвести повышение даже только работников бюджетной сферы, так как от уровня их заработной платы в достаточной степени зависит уровень оплаты труда во всем регионе.

Таким образом, в ходе исследования модели 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 – для чего, требуется определить, для себя, как может оцениваться деятельность данного объекта. Для каких-то объектов (федерального или регионального уровня) существуют конкретные рекомендации, тогда как для других (например, муниципальных образований) придется придумывать свои частные критерии. В любом случае, должен быть найден ответ на вопрос – как определить лучше или хуже работает объект в этом году. По исследуемому объекту должны быть доступны разнообразные данные за несколько лет (как правило, не менее, 5-6, лучше 10-12), которые могут использоваться или как частные критерии оценки, или как факторы модели;
2. уточнении системы факторов (см. выше). Ввод данных (как факторов, так и общего критерия) осуществляется на вкладке «Данные», где устанавливается количество лет, за которые доступны данные, и количество факторов. На этой же вкладке происходит настройка интерполяции факторов: «0», «1», «Л», «Х» (движками в левой части и кнопками установки всех движков в одно из положений), а также настройка интерполяции реакции (кусочно-линейная или сплайн). Подпор интерполяции производится вручную либо автоматически на вкладке «Перебор»;
3. совместном определении порядка РДМ, аппроксимации факторов между значениями годового ряда и коэффициентов модели производится на вкладке «Расчет», где выводятся нормированные ряды факторов и реакции и производится настройка модели (выставляется ее порядок, количество

- известных лет, численные методы решения). Коэффициенты модели можно контролировать на вкладке «Коэффициенты»;
4. определении горизонта и погрешности прогнозирования;
 5. построении прогнозных сценариев в зависимости от воздействия одиночных факторов и их синергетических комбинаций – для чего служит вкладка «Прогноз». Использование этой формы предполагает следующие действия исследователя: во-первых, определить характер изменения фактора (постоянный, линейный, квадратичный); во-вторых, – задать внешнее воздействие на фактор(ы) в процентах от невозмущенного состояния;
 6. подбор управляющих воздействий, позволяющих улучшить динамику развития СР в случае неблагоприятных прогнозов. После выявления положительных и отрицательных областей прогноза, ЛПР может влиять на изменение сложившейся ситуации.

4.5. Выводы и заключение по главе

Поведение регрессионно-дифференциальной модели динамики СР исследовано при одиночном и совместном воздействии факторов. Выявлены зоны негативного и позитивного прогноза развития системы краевого социального ресурса. Исследована возможность воздействия изменением управляемых факторов на компенсацию негативных прогнозов развития 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%.

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.

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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. XV Международная конференция «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» // Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук [Электронный ресурс]–режим доступа: http://www.ssc.smr.ru/so_ipuss.html
2. Абалкин, Л.И. Интенсификация и экономический рост /Л.И. Абалкин // Плановое хозяйство.–1985.–№8. С. 9.
3. Агальцов, В.П., Волдайская, И.В. Математические методы в программировании: Учебник.–М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2006.–224 с.: ил.–(Профессиональное образование).–(Учимся программировать).
4. Айвазян, С.А. К методологии измерения синтетических категорий качества жизни населения / С.А. Айвазян // Экономика и математические методы. – 2003.–Т. 39. №2.–С. 33-35.
5. Айвазян, С.А. К методологии измерения синтетических категорий качества жизни населения / С.А. Айвазян // Экономика и математические методы. – 2003.–Т. 39 №2.–С. 33-35.
6. Акаев, А.А. Математическое моделирование глобальной, региональной и национальной динамики с учетом воздействия циклических колебаний [Электронный ресурс] / А.А. Акаев, В.А. Садовничий режим доступа http://socmodel.com/sites/socmodel.com/files/articles/3A00_Akaev_Sadovnichy.pdf.
7. Алексеев, С.И. Исследование систем управления: учебное пособие / С.И. Алексеев.–М.: Кнорус, 2008.–195 с.
8. Амосов, А.А., Вычислительные методы для инженеров / А.А. Амосов, Ю.А. Дубинский, Н.В. Копченова.–М.: Высш. шк., 1994.–544 с.
9. Андреева, Г.М. Зарубежная социальная психология XX столетия: Теоретические подходы / Г.М. Андреева, Н.Н. Богомолова, Л.А. Петровская.–М.: Аспект Пресс, 2002.–287 с.
10. Анчишкин, А.И. Прогнозирование роста социалистической экономики / А.И. Анчишкин.–М.: Экономика,–1973.

11. Арнольд, В. И. Теория катастроф / В.И. Арнольд. – М.: Наука.–1990.–128 с.
12. Афанасьев В. С. Этапы развития буржуазной политической экономики / В.И. Афанасьев.–М.: Экономика,–1985.–344 с.
13. Бабешко, Л.О. Математическое моделирование финансовой деятельности: учебное пособие / Л.О. Бабешко.–КНОРУС, 2009.–224 с.
14. Беккер Г. Человеческий капитал (главы из книги) Воздействие на заработки инвестиций в человеческий капитал / Г. Беккер // США: экономика, политика, идеология.–1993.–№11-12.–С. 27.
15. Бойков, В.Э. Социально-политические факторы развития российского общества / В.Э. Бойков // Социологические исследования.–1995.–№ 11.–С. 42.
16. Бойков, В.Э. Человеческие ресурсы реформирования экономики / В.Э. Бойков // Социология власти.–2005.–№2.–С. 3-15.
17. Ботвинник, А.В. Применение модификации фильтра Калмана при оценке динамической модели с *garch-m*- эффектами для тестирования российского фондового рынка на эволюционирующую эффективность [Электронный ресурс] / А.В. Ботвинник, Д.В. Козырев // Финансы и бизнес.–2008.–№1.– Режим доступа: http://finbiz.spb.ru/download/1_2008_botvin.pdf.
18. Варфоломеев, В.И. Принятие управленческих решений / В.И. Варфоломеев, С.Н. Воробьёв. – М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, – 2001 г. – 285 с.
19. Варфоломеев, В.И., Назаров, С.В. Алгоритмическое моделирование элементов экономических систем: Практикум: Учеб. Пособие.–2-е изд., доп. и перераб. / Под ред. С.В. Назарова. – М.: Финансы и статистика, 2004.–264 с.: ил.
20. Вендров, А.М. Практикум по проектированию программного обеспечения экономических информационных систем: Учеб. Пособие.–М.: Финансы и статистика, 2004.–192 с.: ил.
21. Гелбрейт, Дж. Экономическая теория и цели общества / Жд. Гелбрейт.–М.: Прогресс, 1976.–390 с.

22. Герасимов, Б.И. Дифференциальные динамические модели / Б.И. Герасимов, Н.П. Пучков Н, Д.Н. Протасов. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010.–77 с.
23. Гимпельсон, В.Е. Движение рабочих мест: что говорит российская статистика / В.Е. Гимпельсон, О.Б. Жихарева, Р.И. Капелюшников // Вопросы экономики.–2014.–№ 7.–С. 93-126.
24. Глухов, В.В. Управление качеством жизни / В.В. Глухов, В.В. Окрепилов.–СПб.: Наука, 2008.–484 с.
25. Головицына, М.В. Информационные технологии в экономике: Учебное пособие/ М.В. Головицына–М.: Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ» 2013.–466 с., ил.–Серия («Основы информационных технологий»).
26. Гордон Л. Опыт многомерного описания материально-экономической дифференциации населения / Л. Гордон, А. Терехин, Е. Бузилова // Мониторинг общественного мнения: экономические и социальные перемены.–2000.–№ 1.–С. 18.
27. Гордон, Л.А. Динамика условий и уровня жизни населения (разнонаправленные тенденции 90-х годов) / Л.А. Гордон, Э.В. Клопов // Мониторинг общественного мнения: экономические и социальные перемены.–2000.–№ 5 (49).–С. 25-34.
28. Грачева, Е. Восстановительный рост [Электронный ресурс]–Режим доступа: <http://www.business-class.su/article.php?id=20545>.
29. Дзюба, С.А. Модели управления подсистемами предприятия в сфере среднего бизнеса и их инструментальное обеспечение[Электронный ресурс] / автореф. дис. ... д.э.н.: 08.00.13 / Дзюба Сергей Ануфриевич–Режим доступа <http://econom.nsc.ru/ieiel/news/zashitilavtoreflmart12/dzuba.pdf>.
30. Доклад о развитии человеческого капитала в Пермском крае [Электронный ресурс]–Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/911539752>.
31. Доугерти, К. Введение в эконометрику / К. Доугерти. – М.: Инфра-М, 2001.–416 с.

32. Дрегалo, А.А. Социальное пространство и потенциал региона [Электронный ресурс] / А.А. Дрегалo, В.И. Ульяновский–Режим доступа: http://narfu.ru/pomorsu.ru/www.pomorsu.ru/_doc/mbal/nr/4ch.pdf.
33. Душин, С.Е. Теория автоматического управления / С.Е. Душин, Н.С. Зотов, Д.Х. Имаев и др.–М.: Высшая школа,–2003.–567 с.
34. Заславская, Т.И. Социoэкономика как актуальное основание междисциплинарной интеграции / Т.И. Заславская // Финансовый бизнес.–2013.–№ 5 (166).–С. 77-80.
35. Затонский А.В. Модель краевого социального ресурса на основе регрессионно-дифференциального уравнения второго порядка / А.В. Затонский, Т.В. Янченко // Новый университет.–2014.–№ 5-6.–С.23-34.
36. Затонский, А.В. Внешние связи информационной модели системы управления техническим состоянием оборудования / А.В. Затонский, В.Ф. Беккер, П.В. Плехов. // Современные наукоемкие технологии.–2009.–№ 7.–С. 78-79.
37. Затонский, А.В. Предикация объектов с переменными свойствами / А.В. Затонский // Вестник ЮФУ. Технические науки.–2009.–№ 2.–С.90-92.
38. Затонский, А.В. Преимущества дифференциальных моделей в эколого-экономическом моделировании / А.В. Затонский // Известия Томского политехнического университета–2012.–№5.–С. 134-139.
39. Затонский, А.В. Прогнозирование развития экономических систем по модели на основе дифференциального уравнения / А.В. Затонский, Н.А. Сиротина // Экономика и математические методы.–2014.–№ 50(1).–С. 91-99.
40. Затонский, А.В. Устойчивость экспертного ранжирования параметров оценки регионального развития / А.В. Затонский // Новый университет.–2013.–№2.–С.3-6.
41. Институт проблем точной механики и управления: прикладные разработки [Электронный ресурс]–режим доступа: <http://www.ipmcras.narod.ru/razrabotki.htm>

42. Исследование *PricewaterhouseCoopers*: в 2050 году Россия приблизится к благополучным странам мира [Электронный ресурс] // Центр гуманитарных технологий–Режим доступа: <http://gtmarket.ru/news/state/2008/03/05/1955>.
43. Казиев, В.М. Введение а анализ, синтез и моделирование систем: учебное пособие / В.М. Казиев–2-е изд.–М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007.–244 с.: ил., табл. – (Основы информационных технологий).
44. Корнеенко, В.П. Методы оптимизации: Учебник/В.П. Корнеенко. – М.: Высш. шк., 2007.–664 с.: ил.
45. Коробов В.Б. Сравнительный анализ методов определения весовых коэффициентов «влияющих факторов» [электронный ресурс] / В.Б. Коробов // Экономика, социология, менеджмент–Режим доступа <http://ecsocman.hse.ru/data/2012/04/10/1271933410/Korobov.pdf>.
46. Кошкин, А.А. Формулы управления / А.А. Кошкин.–М.: МГУ. 2008.–С.10.
47. Кууси, П. Этот человеческий мир: монография / П. Кууси.–М.: Прогресс, 1985.–С.368.
48. Ларичев, О.И. Теория и методы принятия решений: Учебник. Изд. второе, перераб. и доп.–М.: Логос, 2003.–392 с.: ил.
49. Литвак, Б.Г. Разработка управленческого решения / Б.Г. Литвак.–М.: Издательство «Дело», 2001.–392 с.
50. Лосев, К.С. Мифы и заблуждения в экологии / К.С. Лосев. М.: Научный мир. 2010.–224 с.
51. Малинецкий, Г.Г. Математические основы синергетики: Хаос, структуры, вычислительный эксперимент / Г.Г. Малинецкий.–М.: Изд-во ЛКИ, 2007.–312 с., ил. Обложка, увеличенный формат.
52. Мильман, В.Э. Побудительные тенденции в структуре деятельности / В.Э. Мильман // Вопросы психологии.–1982.–№4.–С.7.
53. Минько, А.А. Принятие решений с помощью *Exel*. Просто как дважды два/А.А. Минько.–М.: Эксмо, 2007.–240 с.–(Просто как дважды два).

- 54.Миролюбова, А.А. Методология моделирования инвестиционного процесса в реальном секторе экономики региона [Электронный ресурс] автореферат дисс. ... д.э.н.:08.00.13 / Анастасия Александровна Миролюбова.–Режим доступа <http://vak.ed.gov.ru/common/img/uploaded/files/MirolubovaAA.docx>.
- 55.Мицек, Е.Б. Эконометрическое моделирование инвестиций в основной капитал экономики России [Электронный ресурс] автореферат дисс. ... д.э.н.: 08.00.13 / Елена Борисовна Мицек.–Режим доступа: <test.vak.ed.gov.ru/common/img/uploaded/files/MitsekEB.doc>.
- 56.Моисеев, Н.Н. Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев М.: «Наука».–1981.–488 с.
57. Николаева, И.П. Экономический словарь / И.П. Николаева–М.: Проспект (ТК Велби), 2011.–160 с.
- 58.Ньюстром, Д. Организационное поведение: поведение человека в процессе труда / Д. Ньюстром, К.Дэвис. СПб.:–Питер, 2000.–448 с.
- 59.Орлов, А.И. Нечисловая статистика / А.И. Орлов.–М.: МЗ-Пресс, 2004.–483 с.
60. Парсонс, Т. О структуре социального действия / Т. Парсонс.–М.: Академический Проект, 2000.–880 с.
- 61.Пермьстат [Электронный ресурс]–режим доступа: http://permstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/permstat/resources/a76a2d004c8a5142ab54bb915ce0328a/01.doc.
- 62.Пестель, Э. За пределами роста / Э. Пестель.– М.: Прогресс, 1988.–270 с.
- 63.Петрикова, Е.М. Прогноз развития внешнего сектора российской экономики на кратко-, средне- и долгосрочную перспективы / Е.М. Петрикова // Финансы и кредит, 2013.–№10(538).–С.32-45.
- 64.Райзберг, А.Б. Государственное управление экономическими и социальными процессами.– М.: Инфра-М , 2010.–255 с.
- 65.Рикардо, Д. Начала политической экономии. / Д. Рикардо. М.: ФиС, 1985. 960 с.
- 66.Рисман, Д. Для чего изобилие? / Д. Рисман.–М.: Прогресс, 1984.–249 с.

- 67.Россия в цифрах: статистический сборник [Электронный ресурс]–режим доступа: http://www.gks.ru/bgd/regl/b14_11 .
- 68.Самарский, А.А., Михайлов, А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры.–М.: Наука. Физматлит, 1997.–320 с.
- 69.Сарно, А. А. Регулирование мотивационных процессов в сфере трудовых отношений: автореф. ... д-ра экон. наук: 22.00.03 / Альфред Альфредович Сарно.–СПб., 1998.–359 с.
- 70.Сергиенко, А.Б. Алгоритмы адаптивной фильтрации: особенности реализации в *MatLAB* [Электронный ресурс] / А.Б. Сергиенко–режим доступа: <http://www.exponenta.ru/connect/archives/169.asp>.
- 71.Сирота, А.А. Компьютерное моделирование и оценка эффективности сложных систем.–М.: Техносфера, 2006.–280 с.
- 72.Сиротина, Н. А. Преимущества регрессионных дифференциальных моделей для прогнозирования экономического развития / Н.А. Сиротина // Прикладная информатика.–2013.–№2(44).–С.114-126.
- 73.Сиротина, Н.А. Преимущества дифференциальной модели сложной экономической системы / Н.А. Сиротина, А.В. Затонский // Образование. Наука. Научные кадры.–2012.–№ 8.–С. 98-102.
- 74.Смит, А. Исследования о природе и причинах богатства народа / А. Смит.–М.: Высшая школа, 1962.–490 с.
- 75.Соболь, И.М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями: учеб. Пособие для вузов / И. М. Соболь, Р. Б. Статников.–2-е изд., перераб. и доп.–М.: Дрофа, 2006.–175, [1] с.: ил.
- 76.Сокуров, Ю.С. Производительность труда и рост заработной платы [Электронный ресурс] / Ю.С. Сокуров–Режим доступа: <http://www.srrosatom.ru/node/317>.
- 77.Теоретические основы автоматизированного управления [Электронный ресурс]–Режим доступа: <http://nonamene.narod.ru/gos/toau>.
- 78.Тукумцев, Б. Г. Самарский мониторинг социально-трудовой сферы / Б.Г. Тукумцев // Социологические исследования.–2001.–№7.–С.41-50.

79. Файзрахманов, Р. А. Моделирование и управление материальными потоками пространственно распределенной производственной системы: автореферат дисс. ... доктора экон. наук: 08.00.13 / Рустам Абубакирович Файзрахманов.–П., 2002.
80. Фильтр Калмана [Электронный ресурс]–Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/140274/>.
81. Форрестер, Дж. Мировая динамика / Дж. Форрестер–М.: ООО «Издательство АСТ», 2003.–384 с.
82. Хасаев, Г.Р. Технология прогнозирования регионального развития: опыт разработки и использования [Электронный ресурс] / Г.Р. Хасаев, В.А. Цыбатов – Режим доступа: <http://www.ecfor.ru/pdf.php?id=2002/3/06>.
83. Цисарь, И.Ф. Компьютерное моделирование экономики / И.Ф. Цисарь, В.Г. Нейман–М.: Диалог-МИФИ, 2008.–384 с.
84. Цыплаков, А. Введение в моделирование в пространстве состояний / А. Цыплаков // Квантиль.–2011.–№ 9.–С.1-24.
85. Чернавский, Д.С. Эволюционная экономика и теория живых систем / Д.С. Чернавский // Экономическая трансформация и эволюционная теория Й. Шумпетера. Труды 5-го международного симпозиума по эволюционной экономике.–М.: Институт экономики РАН, 2004.
86. Штрыбул, С.А. Социальный капитал и социальный потенциал: субъекты и функции: автореферат дисс. ... к.э.н.:08.00.01 / Софья Анатольевна Штрыбул.–М., 2010–27 с.
87. Ядгаров, Я.С. История экономических учений / Я.С. Ядгаров–М.: ИНФРА-М, 2009.–480 с.
88. Ядов, В.Я. Саморегуляция и прогнозирование социального поведения личности: Диспозиционная концепция. / В.Я. Ядов.–2-е расширенное изд. – М.: ЦСПиМ, 2013.–376 с.
89. Янченко, Т.В. Глобализация рынка труда при присоединении России к ВТО / Т.В. Янченко // Современные проблемы науки и образования, 2011.–№6. (Электронный журнал). Режим доступа: <http://online.rae.ru/777> .

90. Янченко, Т.В. Индикативные факторы социального потенциала как способ повышения эффективности управления региональным образованием / Т.В. Янченко // Вестник КИГИТ, 2010.–№ 5.–С. 72-75.
91. Янченко, Т.В. Креативный класс как стадия развития человеческого капитала / Т.В. Янченко, С.А. Черный // Проблемы экономики, 2011.–№3(43).–С.57-59.
92. Янченко, Т.В. Методы моделирования социального потенциала / Т.В. Янченко // Материалы Третьей Всероссийской научно-практической конференции «Решение-2014». г. Березники (17.10.2014).–С. 271-272.
93. Янченко, Т.В. Модель краевого социального ресурса на основе регрессионно-дифференциального уравнения второго порядка / Т.В. Янченко, А.В. Затонский // Новый университет. Серия: Технические науки. 2014.–№ 5-6 (27-28).–С. 23-34.
94. Янченко, Т.В. Об аппроксимации факторов дифференциальной модели социально-экономической системы / Т.В. Янченко, Н.А. Сиротина, А.В. Затонский // Современные исследования социальных проблем, 2012.–№11(19).–С. 6. (Электронный журнал).–Режим доступа: <http://sisp.nkras.ru/e-rul/issues/2012/11/sirotina.pdf>.
95. Янченко, Т.В. Обоснование порядка регрессионно-дифференциальной модели краевого социального ресурса / Т.В. Янченко // Системы управления и информационные технологии. 2014.–№ 3.1(57).–С.187-191.
96. Янченко, Т.В. Определение оптимальной ранжировки частных критериев оценки краевого социального ресурса / Т.В. Янченко, А.В. Затонский // Экономика и менеджмент систем управления.– 2013.– № 4(10).– С. 99-104.
97. Янченко, Т.В. Оценка обеспеченности промышленных систем социальным потенциалом / Т.В. Янченко, А.В. Затонский // Новый университет. Серия: Технические науки, 2012.–№ 4(10).–С. 4-6.
98. Янченко, Т.В. Последствия вступления России в ВТО для человеческого капитала страны / Т.В. Янченко // Экономические науки в России и за

- рубежом. Материалы II Всероссийской научно-практической конференции. г. Москва, (25.05.11).–№6–С.22.
99. Янченко, Т.В. Факторы формирования человеческого капитала / Т.В. Янченко // Современные проблемы науки и образования, 2011.–№6. (Электронный журнал) – Режим доступа: <http://online.rae.ru/784>.
100. *Dreaming with BRICs. The Path to 2050. Global economics paper N 99* (<http://www.gs.com/english/research/reports/report6.html>).
101. *Forrester, Jay W., 1973. World Dynamics, (2 ed.). Portland, OR: Productivity Press. 144 pp.*
102. *Hargrave T., Van de Ven A. A collective action model of institutional innovation // Academy of Management Review, 2006. Vol. 31. No. 4. PP. 864-888.*
103. *Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens W.W. III. 1972. The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. NewYork,NY:UniverseBooks.*
104. *Meadows, Dennis L., William W. Behrens, III, Donella H. Meadows, Roger F. Naill, Jørgen Randers, and Erich K. O. Zahn, 1974. Dynamics of Growth in a Finite World, Portland OR: Productivity Press. 637 pp.*
105. *Schultz T.W. Investment in Human Capital. The Role of Education and of Research. N.Y. London, 1971.*
106. *Tikhonov A. V. The Russian Way of Modernization and a Choice of Strategy for Theoretical and Applied Studies of Forth Coming Problems// Russian Sociology on the Move / Ed. by V. A. Mansurov. – Moscow: RSS, 2010. ISBN 978-5-904804-01-5*
107. *Zaslavskaya T. Social actors in Russia's modernization // Social Sciences. 2011. T.42.№4. pp.113-128.*

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ОБРАЗОВАНИЯ
ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ФОНД ЭЛЕКТРОННЫХ РЕСУРСОВ "НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ"

**СВИДЕТЕЛЬСТВО О РЕГИСТРАЦИИ
ЭЛЕКТРОННОГО РЕСУРСА**

№ 20381

инипи.рао
офэрнио

Настоящее свидетельство выдано на электронный ресурс, отвечающий
требованиям новизны и приоритетности:

**Программа регрессионно-дифференциальной идентификации
многофакторных систем на основе разреженных данных**

Дата регистрации: 30 сентября 2014 года

Авторы: Затонский А.В., Янченко Т.В.

Директор ИНИПИ РАО,
д.п.н., профессор  А.М. Романов

Руководитель ОФЭРНиО, почетный
работник науки и техники РФ  А.И. Галкина

Дата выдачи 30.09.2014

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Акты о внедрении результатов диссертационного
исследования**



**АДМИНИСТРАЦИЯ
ГОРОДА БЕРЕЗНИКИ**

Советская площадь, д. 1,
г. Березники, Пермский край, 618417
Тел. (3424) 26 21 15; факс (3424) 26 44 62
E-mail: gorod@berezniki.perm.ru
ОКПО 04038241, ОГРН 1025901701616
ИНН/КПП 5911000244/591101001

12.11.2014 № Уор-23-366

На № _____ от _____

Настоящим подтверждаю, что научные результаты диссертационной работы, полученные Янченко Татьяной Васильевной, а именно:

1. Программное обеспечение, реализующее регрессионо-дифференциальную модель социально-экономической системы;
2. Методика поддержки принятия решений по развитию территориального социального ресурса, отличающаяся устойчивостью к экспертным ошибкам и возможностью использования годовых рядов данных безвозмездно переданы автором и приняты к использованию в администрации города Березники Пермского края.

Глава города




С.П.Дьяков



**Агентство по занятости
населения Пермского края**
Государственное учреждение
Центр занятости населения
города Березники Пермского края
 ул. Мира, 30, г. Березники, 618426
 e-mail: berczn@permonline.ru
 Тел.: (3424) 24-95-09. Факс: (3424) 24-91-04.
 ОКПО 03489533. ОГРН 1025901707259.
 ИНН/КПП 5911037029/591101001

№ _____ от _____

АКТ

об использовании результатов диссертации

Янченко Татьяны Васильевны

Настоящим подтверждаю, что научные результаты диссертационной работы, автором которой является Янченко Т.В., а именно:

1. Метод поддержки принятия решений по развитию социального ресурса Пермского края, включающего в качестве частного критерия количество населения;
2. Программное обеспечение, используемое для информационной поддержки принятия решений по развитию территориального социального ресурса

представляют интерес для планирования и развития государственных услуг, оказываемых центрами занятости населения. Научные продукты Т.В. Янченко и программное обеспечение безвозмездно переданы автором и приняты к использованию в ГКУ «Центр занятости населения» г. Березники Пермского края.

Директор ГКУ «ЦЗН»
г. Березники Пермского края



Исакова В.И.

Дата 30.10.14г.

УТВЕРЖДАЮ
Директор БФ ПНИПУ



Косвинцев Косвинцев О.К.

"14" *ноября* 2014 г.

об использовании результатов диссертации Янченко Татьяны Васильевны «Информационная поддержка принятия решений при управлении развитием краевого социального ресурса на основе регрессионно-дифференциального моделирования» в Березниковском филиале Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Мы, нижеподписавшиеся профессор кафедры автоматизации технологических процессов, к.т.н. Беккер В.Ф. и к.т.н., доцент кафедры автоматизации технологических процессов Бильфельд Н.В., настоящим актом удостоверяем использование материалов диссертации Янченко Т.В. «Информационная поддержка принятия решений при управлении развитием краевого социального ресурса на основе регрессионно-дифференциального моделирования» в научной деятельности и учебном процессе кафедры автоматизации технологических процессов в Березниковском филиале Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

В ходе выполнения диссертации Янченко Т.В. являлась постановщиком задач и руководителем разработки программного обеспечения, реализующего регрессионно-дифференциальные модели социально-экономических систем, в рамках студенческой научно-исследовательской лаборатории кафедры «СНИЛ ИТ», в результате чего было разработано программное обеспечение, используемое в учебном процессе, опубликовано несколько статей студентов, в том числе, в рецензируемых журналах РИНЦ. С использованием данного программного обеспечения в значительной части выполнены работы по гранту Министерства образования и науки РФ «Методы моделирования и идентификации сложных социально-экономических систем» 8.8544.2013.

Существенные теоретические результаты, практические примеры, алгоритмы и программное обеспечение, полученные в ходе работы над диссертацией, используются при преподавании дисциплин «Методы и модели экономики» для направления «Экономика» (бакалавриат) и «Моделирование деятельности» для направления «Информатика и вычислительная техника» (магистратура).

Профессор, к.т.н.

В.Ф. Беккер

Беккер В.Ф.

Доцент, к.т.н.

Н.В. Бильфельд

Бильфельд Н.В.

И140204143626

5013 Информационная карта 5418 Исходящий номер, дата

5436 Инвентарный номер

ИК

02 с документом
03 без документа

№15/16 2014.02.07

02201454842

5517 Регистрационный номер

01201374151

5409 Дата утверждения

2014.02.06

5715 Язык документа

русский

5733 Кол-во книг

1

Номера книг

1 2 3 4 5

5742 Общее кол-во страниц

102

Кол-во страниц в книге

102 0 0 0 0

5751 Приложений

0

5778 Таблиц

39

5760 Иллюстраций

24

5490 Патентов

0

5787 Источников

137

7137 Источники финансирования

13 Средства госбюджета

22 Средства заказчика

04 Собственные средства

31 Прочее

5040 Вид документа

91 Заключительный отчет

28 Промежуточный отчет

46 РГО

03 Информационная карта без отчета

19 Прочее

7191 Вид работы

39 НИР фундамент

48 НИР прикладн.

57 ОКР, ПКР, ПТР

7713 Объем финансирования, тыс. рублей

200,000

7020 Шифр федеральной целевой научно-технической программы

9027 Наименование работы

Шифр работы, присвоенный организацией 1048

Методы моделирования и идентификации сложных социально-экономических систем.

Сведения об организации-исполнителе

2457 Код ОКПО

2934 Телефон

2394 Телефакс

2754 Город

02069065

219-80-67

2123927

Пермь

1332 Сокращенное название министерства (ведомства)

Минобрнауки России

2403 Код ВНИЦ

0203022770353

2151 Полное наименование организации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Пермский национальный исследовательский политехнический университет"

2358 Сокращенное наименование организации

ФГБОУ ВПО ПНИПУ

2655 Адрес организации

614990, г. Пермь-ГСП, Комсомольский просп., д. 29а

6183 Авторы отчета

Затонский А.В., Сиротина Н.А., Янченко Т.В.

9045 Наименование отчета

Поддержка принятия решений по управлению региональным природно-ресурсным потенциалом.

9117 Реферат

Разработана новая модель динамики краевого природно-ресурсного потенциала, основанная на использовании регрессионных дифференциальных уравнений 1-го порядка. На ее основе разработан комплекс программных средств, позволяющих исследовать и оптимизировать последствия решений по управлению региональным природно-ресурсным потенциалом на примере Пермского края.



	Фамилия, инициалы	Должность	Уч. степень
Руководитель организации	Кортаев В.Н.	проректор по науке и иннов.	д-р техн. наук
Руководитель работы	Затонский А.В.	зав. каф. АТП БФ	д-р техн. наук

5634 Индексы УДК	5274 Шифр геолфонда	7434 Дата	7506 Входящий номер
001.891.57:519.711		27 ФЕВ 2014	И140204143626

5616 Коды тематических рубрик			
28.17.31	.	06.39.27	.

5643 Ключевое слово	
РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ	
ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ	
МОДЕЛИРОВАНИЕ	ФГАНУ «Центр информационных технологий и систем органов исполнительной власти»
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ	Зарегистрировано в государственном
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ	информационном фонде непубликованных
РЕГРЕССИЯ	документов