

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**МАТЕМАТИКО-МЕХАНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра информатики**

**Дипломная работа**

Экспериментальное исследование концепции устойчивого развития

**Направление 080801 «Прикладная информатика» (в сфере международных отношений)**

Работу выполнил:

Перемитина Анастасия Павловна

Научный руководитель:

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информатики математико-механического факультета СПбГУ, ………/Ампилова Н.Б./

Рецензент:

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информатики математико-механического факультета СПбГУ, ………/Костин В.А. /

"Допустить к защите"

Заведующий кафедрой профессор, ………/Косовский Н.К./

Санкт-Петербург

2013 год

# Содержание

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Введение……………………………………………..………………….... | 3 |
| 1. Модель устойчивого развития………………………………………….. | 6 |
| 1. Нелинейные вероятностные цепочки…………………………………… | 10 |
| * 1. Определение вероятностной цепочки……………………………. | 10 |
| * 1. Построение моделей на основе вероятностных цепочек……….. | 13 |
| * 1. Вероятностные цепочки с логистическим ростом: построение и оценивание модели……………………………………………. | 13 |
| 1. Логарифмически-линейные вероятностные цепочки: построение модели……………………………………………… | 15 |
| 1. Логарифмически-линейные вероятностные цепочки: оценивание модели……………………………………………... | 19 |
| 1. Построение и анализ данных в программе «Economic Forecast»……... | 22 |
| * 1. Программа «Economic Forecast»…………………………… | 22 |
| * 1. Моделирование ВВП на душу населения по странам Большой Восьмерки……………………………………….. | 26 |
| * 1. Сравнение со сторонними прогнозами…………………... | 35 |
| 1. Заключение……………………………………………………………….. | 37 |
| 1. Приложение 1. Моделирование различных показателей……………… | 39 |
| 1. Приложение 2. Проверка предпосылок регрессионного анализа…….. | 80 |
| 1. Приложение 3. Руководство пользователя……………………………... | 87 |
| 1. Список литературы………………………...…………………………….. | 91 |

1. **Введение**

Экономисты и социологи применяют разнообразные технологии и методы для работы с данными. И одной из задач, стоящих перед ними стоит не только умение анализировать имеющуюся информацию, но и на основании ее уметь построить вероятный прогноз дальнейшего развития событий. Ученые весьма заинтересованы в модели, качественно описывающей исходные данные и имеющей хорошее приближение к ним, прогнозирующей дальнейшее поведение различных социально-экономических факторов. В экономике часто приходится принимать решения, основываясь на текущей ситуации и знании прошлых лет, и наличие хорошей математической модели, которая может спрогнозировать довольно вероятное будущее развитие событий, позволяет значительно упростить принятие решений. Для экономической науки очень значимы экономико-математические модели, которые не только позволяют сказать каково сейчас состояние экономики, но и каковы будут последствия и социально-экономическая цена принимаемых решений. Поэтому это направление получило широкое внимание и развивалось многими учеными, такими как, например, Л.Вальрас [4], В. Парето [12], Ф. Эджуорт [17], Е. Слуцкий [13], Н. Кондратьев [6], В. Леонтьев [10] и др. Методология математического моделирования как один из основных инструментов исследования уже окончательно утвердилась к началу XXв.

Существуют различные виды моделирования, которые могут быть разделены на детерминированные и стохастические, статические и динамические, дискретные, непрерывные и дискретно-непрерывные, линейные и нелинейные.

Детерминированные модели характеризуются аналитическими представлениями закономерности, для которой для определенной совокупности исходных значений параметров и переменных гарантирован один и тот же результат. Стохастическая модель содержит случайные элементы. Несмотря на то, что начальными параметрами выступают одни и те же данные, в результате могут получаться различные значения. Они образуют некоторую область значений, в которой наблюдаются характерные закономерности.

Для дискретной модели характерно, что все ее параметры и переменные дискретны. Модель такого типа может представлять не только дискретные системы, но и непрерывные, если они приведены к дискретному виду. Непрерывная модель в свою очередь содержит только непрерывные параметры.

Динамическая модель от статической отличается тем, что содержит как минимум одну переменную, отвечающую за изменение во времени. Таким образом, динамическая модель отображает экономику в динамике, а не привязанную лишь к одному конкретному моменту. Поскольку все экономические процессы суть динамические явления, то они имеют принципиальное значение. Это подчеркивали многие ученые, и со временем эта точка зрения находит все больше сторонников. Единственное, чем А. Маршалл оправдывал применение статических моделей, так это тем, что «наш анализ все еще пребывает в младенческом возрасте» [11].

В нелинейной модели все или некоторые зависимости являются нелинейными, тогда как в линейной функционирование системы представляется линейными соотношениями.

Одним из методов теории нелинейных динамических систем для моделирования социально-экономических процессов являются нелинейные вероятностные цепочки. Этот математические аппарат, предложенный М. Сонисом к конце 80-х гг. XXв., может использоваться для оценки динамики процессов распределения ресурсов в обществе [18].

Спектр задач, к которым применяется математическое моделирование и прогнозирование слишком широк, поэтому в данной работе мы остановимся лишь на небольшой, но важной в экономической теории проблеме – развитии теории устойчивого развития.

В данной работе была поставлена следующая задача: провести компьютерное исследование концепции устойчивого развития с помощью специально спроектированных для этой цели программных средств, основываясь на следующих методах вероятностных цепочек: логистические и логарифмически-линейные вероятностные цепочки. С помощью созданной программы спрогнозировать и проанализировать некоторые важные показатели, имеющие непосредственное отношение к этой теории, позволяющие сделать выводы о развитии нашей страны и других развитых стран мира с точки зрения концепции устойчивого развития.

Структура работы обусловлена предметом, целью и задачами исследования. Работа состоит из введения, трех глав и заключения. Введение раскрывает актуальность, определяет степень научной разработки темы, цель исследования, раскрывает теоретическую и практическую значимость работы. В первой главе раскрывается понятие модели устойчивого развития, описывается разработка этой модели в настоящее время, представлены различные факторы для оценки уровня стран в рамках этой теории. Во второй главе приводится описание получения статистических оценок относительной динамики социально-экономических процессов с помощью нелинейных дискретных вероятностных цепочек и так же само описание используемого для построения аппарата. Третья глава представляет собой практическое применение вышеописанных теоретических данных, а именно описание программного продукта «Economic Forecast» для построения экстраполяции различных статистических данных, анализ полученных данных с помощью этой программы на примере ВВП на душу населения в странах Большой Восьмерки и сравнительный анализ данных, полученных с помощью этой программы с данными сторонних источников. В заключении подводятся итоги исследования, формируются окончательные выводы по рассматриваемой теме.

1. **Модель устойчивого развития**

С течением времени, развиваясь технологически все больше и всё больше используя природу и ее богатство, человечество по масштабам своего вмешательства в природу стало сопоставимо с планетарными силами.

Разные ученые и выдающиеся деятели в разное время обращали внимание на этот факт (Вернандский и др. [5]) «Процессы экономического роста, которые порождают беспрецедентный уровень благополучия и мощи богатого меньшинства ведут одновременно к рискам и дисбалансам, которые в одинаковой мере угрожают и богатым, и бедным. Такая модель развития и соответствующий ей характер производства и потребления не являются устойчивыми для богатых и не могут быть повторены бедными. Следование по этому пути может привести нашу цивилизацию к краху», — утверждал Морис Стронг [14].

Одной из самых значимых причин такой дифференциации общества является существенное различие во владении и распоряжении материальными, интеллектуальными и информационными ресурсами.

Высокие национальные доходы и уровень заработной платы идут рука об руку с высокими объемами и структурой потребления материальных ресурсов. Нежелание развитых стран отказаться от расточительного образа жизни и является одной из главных причин деградации окружающей среды в мире. Так же большое влияние оказывает демографический фактор – численность населения на планете с каждым годом лишь растет [24], что неизбежно ведет к увеличению используемых ресурсов и пагубного действия на окружающую среду. Уменьшается биологическое разнообразие на планете. Таким образом, человечество нуждалось в появлении такой концепции, как концепция устойчивого развития.

Большое значение для теории устойчивого развития оказала деятельность Римского клуба – неправительственной международной организации, которая привлекала внимание общественности к обострению глобальных проблем. Исследования, проведенные благодаря Римскому клубу, отчасти стали причиной и предметом обсуждения проблем глобального развития на межгосударственном уровне в рамках ООН. Так стало сформировываться представление о «модели устойчивого равновесия».

За последние двадцать лет концепция устойчивого развития приобрела широкое распространение и развитие в международном сообществе. Впервые этот термин появился в 1987 году, когда был опубликован доклад Комиссии по охране окружающей среды Генеральной Ассамблей ООН [20]. Но впервые термин звучал, как «концепция без разрушения». С того времени эта концепция обратила на себя внимание многих выдающихся ученых и политических деятелей.

Существовало огромное количество формулировок «устойчивого развития». Сейчас под этим скрывается трактовка, данная Брутланд-комиссией, согласно которой, устойчивое развитие понимается, как «длительное непрерывное развитие, обеспечивающее потребности живущих людей без ущерба удовлетворению потребностей будущих поколений» [3].

Во всем мире, а особенно в России этот термин до сих вызывает много противоречивых мнений и споров. Среди определений устойчивого развития, сформулирован­ных российскими учеными, наиболее плодотворна трактовка академика В.А. Коптюга. Он определил, что концепция устойчи­вого развития «предполагает достижение разумной сбаланси­рованности социально-экономического развития человечества и сохранение окружающей среды, а также резкое сокращение экономического диспаритета между развитыми и развиваю­щимися странами путем, как технологического процесса, так и рационализации потребления» [9].

На основе этой трактовки в понимание сущности устойчивого развития включены следующие характеристики: сбалансированность экономики и экологии, т.е. достижение такой степени развития, когда люди в результате своей произ­водственной или иной экономической деятельности перестают разрушать среду обитания; сбалансированность экономической и социальной сфер, включающую обеспечение максимального использования в интересах населения тех ресурсов, которые дает экономичес­кое развитие; решение задач, связанных с развитием не только для теку­щих ситуаций, но и с учетом перспективы, не только с ориен­тацией на потребности ныне живущих граждан, но и будущих поколений.

Существует великое множество различных толкований как определения устойчивости, так и способов ее достижения. На данный момент существует два наиболее важных направления в определении концепции устойчивого развития. Первое из них развивает идеи, зало­женные в трудах Вернадского и участников Римского клуба. В рамках данного направления устойчивость интерпретируется в первую очередь в контексте необходимости обеспечения воспроизводимости ограниченных ресурсов, и основной акцент делается на экологическую составляющую устойчивости.

Согласно второму направлению, более распространенному в наши дни, на первый план выдвигаются не экологические, а социально-экономические аспекты устойчивости, что характерно для современных российских исследований (А.И. Азрилиян [1], Т.В. Ярыгина [15] и др.).

Общим практически для всех принципиальных подходов к этому понятию является развитие теории в той или иной степени в следующих четырех направлениях: социально-экономическая, экологическая сферы, духовное развитие и решение задач с ориентацией на будущие поколения.

Непосредственно с теорией устойчивого развития связан термин «глобальной безопасности». Под «глобальной безопасностью» понимается защищенность жизненно-важных интересов населения Земли от угроз их выживания и устойчивое развитие с учетом факторов развития мировой экономики. Существует несколько показателей оценки глобальной безопасности в модели показателей безопасности мирового развития.

Выделяют 4 большие группы этих критериев: социальные, экономические, экологические и организационные. По индикаторам можно судить о степени продвижения страны к устойчивому развитию и сравнивать достижения стран между собой. Наиболее важными из них являются: средняя продолжительность жизни, потребление продовольствия на душу населения, потребление промышленной продукции на душу населения, средние затраты на социальную сферу на душу населения, биомасса растительности суши, уровень загрязнения, оставшиеся природные ресурсы.

Предельно допустимые значения для этих показателей, как правило, выбираются на основе результатов экономических, социологических и экологических исследований в международных проектах или на основе оценок, данных решением международных организаций.

Таким образом, использование и анализ представленных индикаторов (показателей) может быть одним из инструментов для постоянного мониторинга и регулирования курса политики устойчивого развития.

В данной работе были рассмотрены важные экономические индикаторы, наилучшим образом решающие поставленную задачу, из числа описанных выше, а именно ВВП на душу населения, использование энергетических ресурсов, уровень инвестиций страны, доля городского населения, проанализированы их изменения за определенный промежуток времени в развитых странах и спрогнозировано дальнейшее изменение на ближайшее время (см. «Приложение 1» и главу 4.2). В проводимом экспериментальном исследовании основное внимание уделяется России, при этом проводится сравнении полученных результатов с другими странами большой восьмерки.

1. **Нелинейные вероятностные цепочки**
   1. **Определение вероятностной цепочки**

Понятие нелинейной вероятностной цепочки естественным образом возникает при изучении различных социально-экономических процессов, связанных, например, с распределением доходов по группам населения или численности населения в городах и сельской местности. При этом приходится иметь дело со статистическими таблицами численных характеристик, представляющих долю некоторой группы от общего числа. Таким образом, мы работаем с набором величин , обладающих следующими свойствами:

1. , где — число групп, составляющих таблицу

Подобная совокупность называется вероятностным вектором. В каждый из моментов времени, в который производятся подсчеты (например, по годам) динамика изменений характеристик группы выражается своим вероятностным вектором, поэтому процесс, иллюстрируемый этими данными, можно рассматривать как некое преобразование вероятностных векторов. Задание этого преобразования в явном виде делает возможным построение некоторой модели изучаемого процесса.

Теория нелинейных дискретных вероятностных цепочек (то есть последовательностей, образуемых вероятностными векторами) позволяет получать статистические оценки относительной динамики многих социально-экономических процессов.

В данной работе представлены модели некоторых из этих процессов, построенные с применением вероятностных цепочек. Дадим определение нелинейной вероятностной цепочки, следуя исследованиям М. Сониса, где приведены основные свойства вероятностных цепочек и социально-экономическая интерпретация этого понятия[18].

Определение 1. Дискретная вероятностная -цепочка это последовательность векторов вида

Обозначение можно понимать следующим образом: изучается поведение одной популяции на территориях, или же распределение ресурсов между *n* территориями или между популяциями, и т.д. В дальнейшем в этой главе будем рассматривать, не умаляя общности, вероятностные цепочки на примере интерпретации задачи о распределении популяции между *n* территориями.

Любую нелинейную вероятностную цепочку можно представить набором строго положительных порождающих функций — преобразований над вероятностными векторами. Так, k-й элемент вероятностного вектора в момент времени будет иметь вид

где — строго положительная порождающая функция,

В зависимости от порождающих функций, которыми они задаются, выделяют различные виды вероятностных цепочек. В данной работе используются два вида нелинейных вероятностных цепочек: с логистическим ростом и логарифмически-линейные.

Вероятностные цепочки с логистическим ростом определяются набором порождающих функций

где – скорость прироста или снижения доли популяции на территории , и задаются формулой

Логарифмически-линейные вероятностные цепочки задаются порождающими функциями Кобба-Дугласса:

где — суммарные преимущества территорий , а элементы матрицы отражают суммарные характеристики «гибкости» относительного прироста долей популяции на данных территориях.

Так, например, положительное значение коэффициента говорит о том, что увеличение доли популяции на j-ой территории влечет за собой увеличения доли популяции на i-ой территории, и наоборот. Отрицательное значение свидетельствует о том, что, напротив, при увеличении доли популяции на j-ой территории доля популяции на i-ой территории снижается, и наоборот. В литературе, где описывается применение этой модели[18], такие отношения между группами i и j называются соответственно дополняющими и конкурирующими.

Таким образом, логарифмически-линейные вероятностные цепочки могут быть представлены в следующем виде:

где

Опишем процесс интерполяции и экстраполяции динамики вероятностных цепочек с логистическим ростом и логарифмически-линейных вероятностных цепочек на примере распределения популяции между n территориями.

* 1. **Построение моделей на основе вероятностных цепочек**

1. **Вероятностные цепочки с логистическим ростом: построение и оценивание модели**

Система (1) имеет решение вида

Кроме того, систему (1) можно переписать следующим образом:

Заметим, что выражение , которое обозначает относительный прирост доли популяции , представляет собой линейную комбинацию всех долей популяции. Следовательно, коэффициенты можно интерпретировать как косвенное влияние доли популяции на территории s на относительное приращение доли популяции на территории k. Такие коэффициенты образуют матрицу взаимного влияния для вероятностной цепочки с логистическим ростом и описывают образцы территориального соревнования за статистическую популяцию.

При оценке динамики поведения популяций удобно рассматривать все доли популяции по отношению к одной, для которой скорость прироста фиксируется и, не умаляя общности, считается равной единице. Такая доля популяции (или, в зависимости от поставленной задачи, доля доходов, потребляемых ресурсов и пр.) в литературе называется стандартом [18].

Примем за стандарт первую долю популяции и зафиксируем для нее . Тогда формулу (1) можно переписать в виде

или

Пусть имеются эмпирические данные о распределении популяции по n территориям за T + 1 лет:

Эти эмпирические данные образуют следующую динамику:

Чтобы представить эту эмпирическую динамику с помощью вероятностных цепочек с логистическим ростом, т.е. приблизить динамику (3) к данным (5), необходимо минимизировать среднеквадратическую ошибку. Для получения оценки относительного прироста долей популяции нужно свести к минимуму корень среднеквадратической ошибки

а для вычисления приближенного начального значения , k = 2, 3, … , n — корень среднеквадратической ошибки

В результате будут получены оценки скорости изменения долей популяции

И начальных значений долей популяции на территориях 2,3,…, n

Зная , k = 2, 3, … , n, можно выразить начальное состояние системы в терминах долей популяции , , … , :

Интерполяция динамики распределения популяции по n территориям, в свою очередь, может быть представлена с помощью полученной оценки начального состояния:

Можно также провести экстраполяцию этой динамики, если рассматривать t = T + 2, T + 3, …

Таким образом, имея статистические данные (4) о распределении популяции по n территориям за T + 1 лет, можно построить модель (1) этого процесса, а также предсказать его поведение на ближайшие несколько лет.

Чтобы оценить точность построенной модели, по формуле

вычисляется коэффициент корреляции между эмпирической динамикой (5) и ее приближением (8).

1. **Логарифмически-линейные вероятностные цепочки: построение модели**

Приняв за стандарт первую популяцию (см. 3.1), можно представить любую вероятностную цепочку в виде системы уравнений:

где , , — строго положительная порождающая функция, и

Перепишем эту систему более подробно для случая логарифмически-линейной цепочки:

где *k, t* и принимают те же значения.

Приведенную систему (9) удобно представить следующим образом:

Таким образом, получаем систему из (*n* − 1) уравнения:

.

Система (11) представляет собой систему внешне не связанных уравнений (Seemingly unrelated regressions, SUR), т.е. такую систему, которая характеризуется наличием корреляций между ошибками в ее уравнениях. Для оценивания подобных систем используется трехшаговый метод наименьших квадратов (в англоязычной литературе именуемый FGLS — Feasible Generalized Least Squares [16] и SURE — Seemingly Unrelated Regressions Estimator[19]). Трехшаговый МНК состоит в последовательном применении двух методов: двухшагового метода наименьших квадратов и обобщенного метода наименьших квадратов. Первый из них применяется для оценки коэффициентов и погрешностей каждого уравнения по отдельности, второй — для оценки коэффициентов всей системы.

Однако выделяют два условия, при которых вместо трехшагового метода наименьших квадратов для оценки системы внешне не связанных уравнений можно использовать обычный метод наименьших квадратов, не проигрывая при этом в эффективности оценки:

1. ошибки не коррелируют между уравнениями системы;
2. во всех уравнениях системы присутствуют одни и те же объясняющие (независимые) переменные.

В нашем случае выполняется второе условие, так как в каждом из уравнений системы (11) в правой части участвуют переменные , , …, , следовательно, для оценки неизвестных параметров можно использовать обычный метод наименьших квадратов. В литературе имеются доказательства достаточности выполнения второго условия для применения данного метода [2].

Перепишем теперь систему (11) в матричном виде. Пусть

где , а *T*  — количество лет, за которые исследуется распределение популяции по территориям.

Тогда система (11) примет вид

*Y = X × A,*

или, с учетом ошибок

*Y = X × A + ε ,* (12)

где

Оценка матрицы *A* неизвестных коэффициентов системы (12) методом наименьших квадратов выглядит следующим образом:

Интерполяция динамики логарифмически-линейной цепочки может проводиться следующим образом: в систему (9) подставляются эмпирические данные за нулевой год из исследуемого промежутка времени (т.е. при t = 0), а также найденные оценки неизвестных коэффициентов. Таким образом, вычисляются доли популяции за первый год из рассматриваемого интервала, и т.д., т.е. при известных долях популяции за год t рассчитываются значения за следующий t + 1 год. Так, получаем смоделированные данные за 1, 2, . . . , T лет.

Остатки уравнений системы, т.е. матрицу , можно найти из уравнения (12), если подставить в Y смоделированные данные, в X — исходные эмпирические данные, а в A — найденные оценки неизвестных коэффициентов. Тогда, с учетом того, что cмоделированные данные, в отличие от эмпирических, имеются за T лет, то и матрица E на самом деле будет содержать не T + 1, а T строк. Всюду в дальнейшем под количеством остатков для уравнения системы будем понимать именно T .

Поскольку оценка матрицы *A* неизвестных коэффициентов логарифмически-линейной цепочки вычисляется методом наименьших квадратов, чтобы гарантировать ее несмещенность, состоятельность и эффективность, необходимо проверить, удовлетворяет ли она основным предпосылкам регрессионного анализа (или условиям Гаусса-Маркова).

Чтобы гарантировать построение адекватной модели на основе логарифмически-линейной вероятностной цепочки, необходимо для каждого из уравнений системы (11) проверить следующие предпосылки:

1. равенство нулю математического ожидания остатков,
2. гомоскедастичность — равенство дисперсий случайных отклонений,
3. отсутствие автокорреляции остатков,
4. независимость остатков от объясняющих переменных,
5. нормальность распределения остатков.

Статистические выкладки, касающиеся проверки этих предпосылок, приведены в приложении 2.

1. **Логарифмически-линейные вероятностные цепочки: оценивание модели**

Предположим, что система (11) удовлетворяет всем условиям Гаусса-Маркова, и оценки ее неизвестных коэффициентов являются несмещенными, состоятельными и эффективными. Тем не менее, этого недостаточно для того, чтобы делать выводы о качестве построенной модели. Необходимо также проверить значимость найденных оценок коэффициентов системы, значимость уравнений системы и значимость системы в целом.

Для оценки значимости коэффициентов системы внешне не связанных уравнений (12) используется тестовая статистика вида

где — несмещенная выборочная дисперсия остатков для i-ого уравнения, а — матрицы из уравнения (12).

Согласно критерию Стьюдента, нулевая гипотеза о незначимости коэффициента отвергается на уровне значимости α, если где находится из таблицы критических значений Стьюдента, и — число степеней свободы при количестве объясняющих переменных и объеме выборки (в данном случае T − 1).

Перейдем теперь к оценке значимости самих уравнений системы (12). Здесь возникает понятие коэффициента детерминации, который отражает долю вариации зависимой переменной, обусловленную изменчивостью независимых (объясняющих) переменных. Данный коэффициент для i-ого уравнения системы выражается формулой

где , а — матрица из уравнения (12).

Коэффициент обладает определенным недостатком: он увеличивается при добавлении новых объясняющих переменных. Поэтому используют также скорректированный коэффициент детерминации , который задается формулой

где — объем выборки (в нашем случае ), а — число объясняющих переменных.

Значимость i-ого уравнения системы проверяется с помощью критерия

Фишера, где тестовая статистика имеет вид

принимают те же значения.

Нулевая гипотеза о незначимости ого уравнения системы отвергается на уровне значимости α при , где , и определяется из таблицы критических значений Фишера-Снедекора.

Для проверки значимости системы в целом также используется указанный критерий, однако в качестве выступает общий коэффициент детерминации системы (12). Он определяется формулой

где — матрица, уже описанная выше, а — матрица ковариаций остатков, которая имеет вид ( - матрица остатков для наблюдений в уравнениях ).

1. **Построение и анализ данных в программе «Economic Forecast»**
   1. **Программа «Economic Forecast»**

В рамках этой работы была реализована программа, позволяющая для различных социально-экономических данных строить модели прогноза двух типов: основанных на вероятностных цепочках с логистическим ростом и на логарифмически-линейных цепочках. Программа написана на языке C# в среде Microsoft Visual Studio .NET.

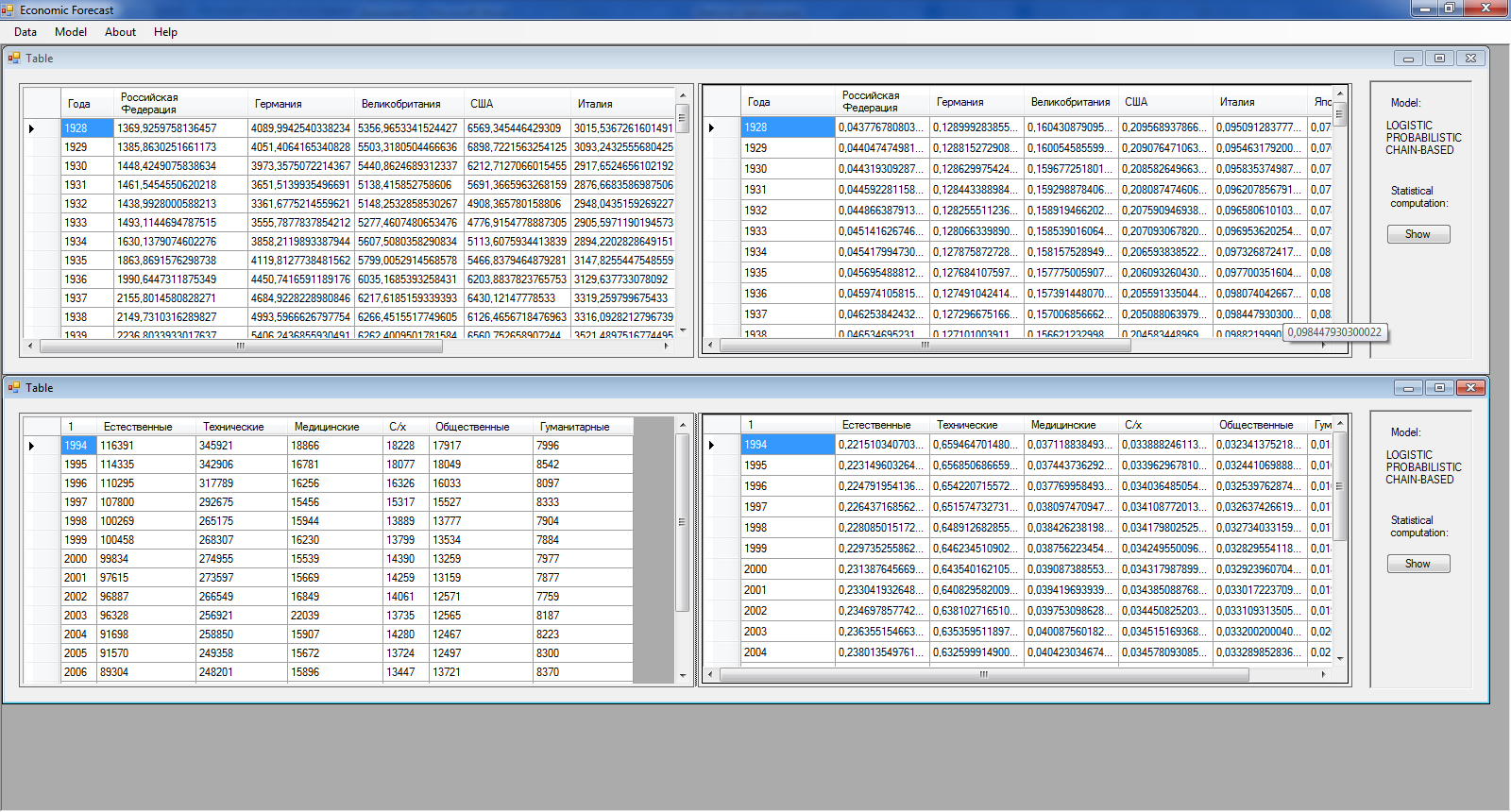
4.1.1 Общее описание логики работы приложения

Приложение "Economic Forecast", представляющее собой комплекс исследователя, позволяет строить прогнозы на несколько лет вперед по имеющимся статистическим данным. Экстраполировать данные можно, основываясь на двух моделях: логистической и логарифмически-линейной.

Данный программный продукт позволяет строить графическое отображение полученных результатов, сохранять их в формате Excel, HTML. Так же для каждой построенной модели можно получить статистические выкладки, полученные в ходе построения прогноза (более подробное «Руководство пользователя» приведено в приложении).

4.1.2 Описание реализации

Приложение представляет собой MDI-форму, с помощью которой можно импортировать таблицу из Excel-файла в появляющееся дочернее окно, которое также представляет из себя MDI-форму. Каждое дочернее окно имеет две области для отображения данных: первоначальных данных из файла и смоделированных программой. Также справа имеется небольшая панель, для отображения данных и данной модели и содержащая кнопки управления, при нажатии на которые можно получить статистические данные по проведенным вычислениям. Также в родительской форме доступен экспорт вычисленной модели в различные файлы, выбор модели и параметров для ее вычисления и справка о программе.



При написании данной программы были использованы следующие библиотеки Microsoft.Office.Interop.Excel и System.Data.OleDb. Первая из них позволяет работать с Excel-файлом, производить обращение к элементам, получать данные и записывать их в файл. Вторая библиотека помогает установить соединение с этим файлом из программы.

В программе реализовано несколько классов:

1. About.cs

Класс-форма, который загружается по нажатию на кнопку «About» в меня главной формы MainForm.cs с краткой информацией о данной программе.

1. CriticalValues.cs

Класс-форма, который загружается по нажатию на кнопку «Help» «Tables of critical values» в меня главной формы MainForm.cs и содержит таблицы критических значений.

1. ExcelExport.cs

Класс, в котором реализуется экспорт данных в Excel-файл с помощью библиотеки Microsoft.Office.Interop.Excel.

1. MainForm.cs

Класс-форма, который появляется при открытии приложения. Она содержит методы, обрабатывающие события главного меня и открывает дочерние окна. Здесь происходит непосредственно прогнозирование, построение моделей, а также импорт и экспорт файлов.

1. Manual.cs

Класс-форма, содержащий руководство пользователя и загружается по нажатию «Help» «Manual» в меня главной формы MainForm.cs

1. Matrix.cs

Этот класс был создан, потому как в процессе вычислений моделей выполняется большое количество различных преобразований над матрицами. Содержит стандартные методы для работы над матрицами, такие как объединение, разность, произведение, единичная матрица, копия исходной матрицы, сумма столбцов и строк, удаление столбцов и строк, логарифм от матрицы, транспонированная матрица, след матрицы, LUP-разложение матрицы, обратная матрица, а также метод, заполняющий матрицу данными из DataTable.

1. Model.cs

Класс, в котором происходит непосредственное вычисление моделей на основе нелинейных вероятностных цепочек. Два его метода могут быть вызваны извне: для построения прогноза на основе вероятностных цепочек с логистическим ростом и на основе логарифмически-линейных цепочкек.

1. OptionsForm.cs

Класс-форма, который содержит элементы управления, позволяющие пользователю изменить некоторые опции моделирования. Доступен по нажатию «Options» в меня главной формы MainForm.cs. реализован метод, сохраняющий внесенные пользователем изменения.

1. Program.cs

Класс, содержащий метод Main(), запускающий главную форму программы.

1. Stat.cs

Класс, в котором осуществляется все статистические вычисления. Так, в нем реализованы методы, вычисляющие: энтропию, коэффициент корреляции, коэффициенты теста рядов по матрице остатков, несмещенную выборочную дисперсию остатков, матрицу ковариации остатков, статистики Дарбина-Уотсона, сумму квадратов ошибок системы уравнений, статистики критерия Стьюдента, статистики критерия Шапиро-Уилка, скорректированный коэффициент детерминации, F-статистику Фишера, коэффициенты детерминации, t-статистики коэффициентов ранговой корреляции Спирмена.

1. TableForm.cs

Класс-форма для представления эмпирических и спрогнозированных данных. В этом классе содержится метод, проверяющий на корректность получаемые из Excel-файла данные, и происходит непосредственно чтение их. Также реализовано получение статистических выкладок, полученных во время вычисления модели.

1. Graph.cs

Класс-форма для отображения построенной модели графически, визуализации представленных результатов. Содержит всего один метод, инициализирующий представителя класса. Данные, находящиеся в правой табличке выводятся в виде 3D-диаграммы, где на одной из осей отложены года, на другой – показатели.

* 1. **Моделирование ВВП на душу населения по странам Большой Восьмерки**

Рассмотрим моделирование динамики экономических показателей на примере уровня ВВП на душу населения в странах G8. Моделирование остальных показателей в приложении. Ниже представлена эмпирическая динамика ВВП на душу населения по странам Большой Восьмерки за период с 1945 по 2008 гг. по данным Международного Валютного Фонда[22]:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Года | РФ | Германия | Великобритания | США | Италия | Япония | Канада | Франция |
| 1945 | 2 028 | 4 514 | 7 056 | 11 709 | 1 922 | 1 346 | 7 133 | 2 573 |
| 1946 | 1 913 | 2 217 | 6 745 | 9 197 | 2 502 | 1 444 | 6 931 | 3 855 |
| 1947 | 2 126 | 2 436 | 6 604 | 8 886 | 2 920 | 1 541 | 7 088 | 4 138 |
| 1948 | 2 402 | 2 834 | 6 746 | 9 065 | 3 063 | 1 725 | 7 065 | 4 393 |
| 1949 | 2 623 | 3 282 | 6 956 | 8 944 | 3 265 | 1 800 | 7 064 | 4 946 |
| 1950 | 2 841 | 3 881 | 6 939 | 9 561 | 3 502 | 1 921 | 7 291 | 5 186 |
| 1951 | 2 806 | 4 206 | 7 123 | 10 116 | 3 738 | 2 126 | 7 533 | 5 461 |
| 1952 | 2 937 | 4 553 | 7 091 | 10 316 | 3 997 | 2 336 | 7 833 | 5 564 |
| 1953 | 3 013 | 4 905 | 7 346 | 10 613 | 4 260 | 2 474 | 7 984 | 5 684 |
| 1954 | 3 106 | 5 247 | 7 619 | 10 359 | 4 449 | 2 582 | 7 699 | 5 915 |
| 1955 | 3 313 | 5 797 | 7 868 | 10 897 | 4 676 | 2 771 | 8 201 | 6 199 |
| 1956 | 3 566 | 6 177 | 7 929 | 10 914 | 4 859 | 2 948 | 8 652 | 6 448 |
| 1957 | 3 576 | 6 492 | 8 017 | 10 920 | 5 118 | 3 136 | 8 607 | 6 762 |
| 1958 | 3 777 | 6 737 | 7 966 | 10 631 | 5 360 | 3 289 | 8 534 | 6 855 |
| 1959 | 3 669 | 7 177 | 8 240 | 11 230 | 5 653 | 3 554 | 8 676 | 6 979 |
| 1960 | 3 945 | 7 705 | 8 645 | 11 328 | 5 916 | 3 986 | 8 753 | 7 398 |
| 1961 | 4 098 | 7 952 | 8 857 | 11 402 | 6 373 | 4 426 | 8 833 | 7 718 |
| 1962 | 4 140 | 8 222 | 8 865 | 11 905 | 6 827 | 4 777 | 9 277 | 8 067 |
| 1963 | 3 985 | 8 386 | 9 149 | 12 242 | 7 262 | 5 129 | 9 566 | 8 363 |
| 1964 | 4 439 | 8 822 | 9 568 | 12 773 | 7 487 | 5 668 | 9 999 | 8 819 |
| 1965 | 4 634 | 9 186 | 9 752 | 13 419 | 7 598 | 5 934 | 10 473 | 9 165 |
| 1966 | 4 804 | 9 388 | 9 885 | 14 134 | 7 942 | 6 506 | 10 946 | 9 544 |
| 1967 | 4 963 | 9 397 | 10 049 | 14 330 | 8 454 | 7 152 | 11 078 | 9 907 |
| 1968 | 5 202 | 9 864 | 10 410 | 14 863 | 9 105 | 7 983 | 11 479 | 10 267 |
| 1969 | 5 225 | 10 440 | 10 552 | 15 179 | 9 566 | 8 874 | 11 912 | 10 886 |
| 1970 | 5 575 | 10 839 | 10 767 | 15 030 | 9 719 | 9 714 | 12 050 | 11 410 |
| 1971 | 5 667 | 11 077 | 10 941 | 15 304 | 9 839 | 10 040 | 12 562 | 11 845 |
| 1972 | 5 643 | 11 481 | 11 294 | 15 944 | 10 060 | 10 734 | 13 072 | 12 264 |
| 1973 | 6 059 | 11 966 | 12 025 | 16 689 | 10 634 | 11 434 | 13 838 | 12 824 |
| 1974 | 6 176 | 12 063 | 11 859 | 16 491 | 11 046 | 11 145 | 14 205 | 13 113 |
| 1975 | 6 135 | 12 041 | 11 847 | 16 284 | 10 742 | 11 344 | 14 316 | 12 957 |
| 1976 | 6 363 | 12 684 | 12 115 | 16 975 | 11 385 | 11 669 | 14 902 | 13 466 |
| 1977 | 6 454 | 13 072 | 12 384 | 17 567 | 11 668 | 12 064 | 15 223 | 13 913 |
| 1978 | 6 559 | 13 455 | 12 828 | 18 373 | 12 064 | 12 585 | 15 680 | 14 240 |
| 1979 | 6 472 | 13 993 | 13 167 | 18 789 | 12 720 | 13 163 | 16 170 | 14 634 |
| 1980 | 6 427 | 14 114 | 12 931 | 18 577 | 13 149 | 13 428 | 16 176 | 14 766 |
| 1981 | 6 432 | 14 149 | 12 747 | 18 856 | 13 200 | 13 754 | 16 472 | 14 840 |
| 1982 | 6 535 | 14 040 | 12 955 | 18 325 | 13 252 | 14 078 | 15 779 | 15 132 |
| 1983 | 6 684 | 14 329 | 13 404 | 18 920 | 13 391 | 14 307 | 16 076 | 15 245 |
| 1984 | 6 708 | 14 783 | 13 720 | 20 123 | 13 719 | 14 773 | 16 836 | 15 382 |
| 1985 | 6 707 | 15 140 | 14 165 | 20 717 | 14 096 | 15 331 | 17 582 | 15 530 |
| 1986 | 6 921 | 15 469 | 14 742 | 21 236 | 14 496 | 15 679 | 17 862 | 15 833 |
| 1987 | 6 950 | 15 701 | 15 393 | 21 788 | 14 946 | 16 251 | 18 348 | 16 158 |
| 1988 | 7 040 | 16 160 | 16 110 | 22 499 | 15 523 | 17 185 | 18 993 | 16 790 |
| 1989 | 7 109 | 16 558 | 16 414 | 23 059 | 15 969 | 17 943 | 19 108 | 17 300 |
| 1990 | 7 779 | 15 929 | 16 430 | 23 201 | 16 313 | 18 789 | 18 872 | 17 647 |
| 1991 | 7 373 | 16 650 | 16 157 | 22 849 | 16 539 | 19 355 | 18 255 | 17 755 |
| 1992 | 6 300 | 16 891 | 16 133 | 23 298 | 16 637 | 19 482 | 18 139 | 17 994 |
| 1993 | 5 752 | 16 645 | 16 463 | 23 616 | 16 436 | 19 478 | 18 303 | 17 723 |
| 1994 | 5 020 | 17 028 | 17 137 | 24 279 | 16 754 | 19 637 | 18 936 | 18 008 |
| 1995 | 4 813 | 17 299 | 17 561 | 24 603 | 17 215 | 19 979 | 19 227 | 18 349 |
| 1996 | 4 645 | 17 420 | 17 997 | 25 230 | 17 376 | 20 616 | 19 319 | 18 467 |
| 1997 | 4 717 | 17 709 | 18 527 | 26 052 | 17 693 | 20 929 | 19 953 | 18 825 |
| 1998 | 4 475 | 18 029 | 19 023 | 26 849 | 17 834 | 20 267 | 20 613 | 19 213 |
| 1999 | 4 776 | 18 380 | 19 516 | 27 735 | 18 160 | 20 198 | 21 563 | 19 754 |
| 2000 | 5 277 | 18 944 | 20 353 | 28 467 | 18 774 | 20 738 | 22 488 | 20 422 |
| 2001 | 5 573 | 19 157 | 20 590 | 28 405 | 19 069 | 20 736 | 22 599 | 20 684 |
| 2002 | 5 865 | 19 140 | 20 946 | 28 604 | 19 107 | 20 755 | 23 156 | 20 778 |
| 2003 | 6 323 | 19 088 | 21 461 | 29 074 | 19 090 | 21 092 | 23 409 | 20 891 |
| 2004 | 6 829 | 19 284 | 22 096 | 29 845 | 19 300 | 21 576 | 23 943 | 21 262 |
| 2005 | 7 303 | 19 417 | 22 518 | 30 481 | 19 420 | 21 976 | 24 470 | 21 536 |
| 2006 | 7 905 | 20 041 | 23 107 | 31 004 | 19 798 | 22 420 | 24 971 | 21 920 |
| 2007 | 8 587 | 20 547 | 23 642 | 31 357 | 20 110 | 22 950 | 25 809 | 22 287 |
| 2008 | 9 111 | 20 801 | 23 742 | 31 178 | 19 909 | 22 816 | 25 267 | 22 223 |

На основе имеющихся эмпирических данных целью с помощью программы «EconomicForecast» было построено две модели на основе вероятностных цепочек: с логистическим ростом и линейно-логарифмических, а также прогноз на следующие 15 лет.

*Логистическая вероятностная цепочка*

Доля ВВП одной из стран Большой Восьмерки может быть взята за стандарт. Поскольку стран восемь, то таких вариантов тоже может быть восемь. В таблице ниже приведены восемь различных вариантов расчета относительных приращений долей ВВП в зависимости от выбранного стандарта.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Прирост / Ст. | РФ | Германия | Великоб-  ритания | США | Италия | Япония | Канада | Франция |
| РФ | 1 | 0,99589 | 1,001889 | 1,00077 | 0,99578 | 0,989086 | 1,000674 | 0,997704 |
| Германия | 0,99244 | 1 | 0,999887 | 0,99936 | 0,98576 | 0,978226 | 0,998327 | 0,985754 |
| Великобритания | 0,99152 | 0,98756 | 1 | 0,99782 | 0,98994 | 0,981332 | 0,997899 | 0,991479 |
| США | 0,99152 | 0,99092 | 0,999679 | 1 | 0,98150 | 0,973407 | 0,998692 | 0,98238 |
| Италия | 0,99774 | 0,99821 | 1,003244 | 1,00227 | 1 | 0,991616 | 1,002037 | 1,001414 |
| Япония | 1,00293 | 1,00686 | 1,007069 | 1,00735 | 1,00470 | 1 | 1,006802 | 1,00389 |
| Канада | 0,99276 | 0,98838 | 1,000621 | 0,99971 | 0,99027 | 0,981044 | 1 | 0,991629 |
| Франция | 0,99301 | 0,99128 | 1,000338 | 0,99859 | 0,99460 | 0,985112 | 0,998072 | 1 |

Основываясь на полученных оценках, можно отметить, что какая бы страна ни была выбрана за стандарт, во всех восьми случаях наблюдается отрицательный прирост доли ВВП Германии, Великобритании, США и положительный прирост Японии.

На основе полученных значений можно вычислить матрицу взаимного влияния для логистической вероятностной цепочки. Приведем матрицу взаимного влияния в случае, когда доля ВВП на душу населения США принята за стандарт, поскольку этот вариант отличается наибольшим коэффициентом корреляции между эмпирической динамикой и динамикой с логистическим ростом:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 0 | -0,0014 | -0,003 | -0,0008 | 0,0015 | 0,0065 | -0,0011 | -0,0022 |
| 0,0014 | 0 | -0,0015 | 0,0006 | 0,0029 | 0,0079 | 0,0004 | -0,0008 |
| 0,0029 | 0,0015 | 0 | 0,0022 | 0,0044 | 0,0095 | 0,0019 | 0,0008 |
| 0,0008 | -0,0006 | -0,0022 | 0 | 0,0023 | 0,0073 | -0,0003 | -0,0014 |
| -0,0015 | -0,0029 | -0,0045 | -0,0023 | 0 | 0,005 | -0,0026 | -0,0037 |
| -0,0066 | -0,008 | -0,0095 | -0,0073 | -0,0051 | 0 | -0,0076 | -0,0088 |
| 0,0011 | -0,0004 | -0,0019 | 0,0003 | 0,0025 | 0,0076 | 0 | -0,0011 |
| 0,0022 | 0,0008 | -0,0008 | 0,0014 | 0,0037 | 0,0087 | 0,0011 | 0 |

Данная матрица взаимного влияния позволяет сделать вывод о том, что относительное приращение доли ВВП на душу населения в Великобритании получает положительное входное воздействие со стороны всех остальных стран, вместе с тем доля ВВП на душу населения в Японии положительно влияет на относительный прирост долей ВВП во всех других странах, тогда как доля ВВП на душу населения в Великобритании отрицательно влияет на прирост доли ВВП во всех оставшихся странах.

Подсчитав коэффициенты корреляции между эмпирической динамикой и построенной динамикой с логистическим ростам по всем странам Большой Восьмерки, можно заметить, что наименьший коэффициент корреляции равен 0,98435365 (Франция — стандарт), это говорит о том, что построенная модель довольно точна, но в случае, когда США – стандарт, коэффициент корреляции максимален, поэтому при построении экстраполяции будем пользоваться именно им. Далее представлена таблица экстраполяции на следующие 15 лет, т.е. на интервал с 2009 по 2023, график эмпирической динамики и график интерполяции и экстраполяции динамики.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Года | РФ | Германия | Великобритания | США | Италия | Япония | Канада | Франция |
| 2009 | 0,05317 | 0,12150 | 0,12758 | 0,16276 | 0,12240 | 0,13190 | 0,14352 | 0,13715 |
| 2010 | 0,05309 | 0,12149 | 0,12734 | 0,16200 | 0,12275 | 0,13265 | 0,14329 | 0,13739 |
| 2011 | 0,05300 | 0,12148 | 0,12710 | 0,16123 | 0,12310 | 0,13339 | 0,14306 | 0,13763 |
| 2012 | 0,05292 | 0,12147 | 0,12686 | 0,16047 | 0,12346 | 0,13414 | 0,14283 | 0,13786 |
| 2013 | 0,05283 | 0,12145 | 0,12662 | 0,15971 | 0,12381 | 0,13488 | 0,14260 | 0,13810 |
| 2014 | 0,05275 | 0,12143 | 0,12638 | 0,15895 | 0,12416 | 0,13564 | 0,14236 | 0,13833 |
| 2015 | 0,05266 | 0,12142 | 0,12614 | 0,15820 | 0,12451 | 0,13639 | 0,14213 | 0,13857 |
| 2016 | 0,05258 | 0,12140 | 0,12589 | 0,15744 | 0,12485 | 0,13715 | 0,14189 | 0,13880 |
| 2017 | 0,05249 | 0,12138 | 0,12565 | 0,15669 | 0,12520 | 0,13791 | 0,14165 | 0,13903 |
| 2018 | 0,05240 | 0,12136 | 0,12540 | 0,15594 | 0,12555 | 0,13867 | 0,14142 | 0,13926 |
| 2019 | 0,05232 | 0,12133 | 0,12515 | 0,15519 | 0,12590 | 0,13944 | 0,14118 | 0,13949 |
| 2020 | 0,05223 | 0,12131 | 0,12491 | 0,15444 | 0,12625 | 0,14021 | 0,14094 | 0,13972 |
| 2021 | 0,05214 | 0,12129 | 0,12466 | 0,15370 | 0,12660 | 0,14098 | 0,14069 | 0,13994 |
| 2022 | 0,05205 | 0,12126 | 0,12441 | 0,15296 | 0,12695 | 0,14176 | 0,14045 | 0,14017 |
| 2023 | 0,05196 | 0,12123 | 0,12416 | 0,15222 | 0,12729 | 0,14253 | 0,14021 | 0,14040 |

По полученным данным можно сделать вывод, что доля ВВП на душу населения Японии, Италии и Франции увеличится (Японии в большей степени) за счет уменьшения долей всех остальных стран, но при этом доля ВВП на душу населения России останется практически неизменной.

*Логарифмически-линейная вероятностная цепочка*

Теперь будем решать ту же самую задачу, но с использованием модели, основанной на логарифмически-линейной вероятностной цепочке. Прежде чем исследовать динамику взаимных долей, необходимо удостовериться в том, что выполняются предпосылки регрессионного анализа. Проведем эту процедуру аналогично с предыдущей моделью, когда Российская Федерация принята за стандарт, потому что было выявлено, что в этом случае модель в наибольшем объеме обладает зависимостями и можно делать выводы о влиянии на динамику распределения долей.

1. По критерию Шапиро-Уилкса получаем, что остатки нормально распределены для всех уравнений системы, следовательно, рассматриваем их все.
2. По t-критерию Стьюдента принимается гипотеза о равенстве нулю математического ожидания остатков всех уравнений.
3. Тест Дарбина-Уотсона для остатков данного уравнения позволяет сказать, что для всех уравнений принимается гипотеза об отсутствии автокорреляции.
4. Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена между остатками каждого из уравнений и объясняющими переменными являются незначимыми, что говорит об отсутствии гетероскедастичности – равенства дисперсий случайных отклонений.

Таким образом, с Российской Федерацией в качестве стандарта можно проводить дальнейшие исследования для доли ВВП на душу населения всех остальных стран Большой Восьмерки.

С помощью приложения найдена оценка матрицы неизвестных коэффициентов для логарифмически-линейной вероятностной цепочки,

А также коэффициенты суммарные преимущества для всех стран, кроме РФ:

*=* 0,001517

*=* 0,000133

*=* 2,68

*=* 1,15

*=* 9,12

*=* 3,87

*=* 6,99

Для оценки значимости коэффициентов уравнений проведем t-тест Стьюдента. Согласно его результатам значимыми являются следующие коэффициенты:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | коэффициент | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| уравнение |  |
| 2 | | ● |  | ● |  |  | ● | ● | ● |
| 3 | | ● | ● |  |  |  | ● | ● |  |
| 4 | | ● | ● | ● |  |  | ● | ● |  |
| 5 | | ● | ● | ● |  |  | ● | ● |  |
| 6 | | ● | ● | ● |  |  | ● | ● | ● |
| 7 | | ● | ● | ● |  | ● | ● | ● |  |
| 8 | | ● | ● | ● |  | ● | ● | ● |  |

Результаты F-тесты Фишера говорят о статистической значимости всех уравнений системы и системы в целом.

Соответственно, для вышеназванных коэффициентов можно делать выводы и выявлять закономерности динамики в логарифмически-линейной модели. Итак, экстраполяция динамики на ближайшие 15 лет логарифмически-линейными вероятностными цепочками выглядит следующим образом:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Год | РФ | Германия | Великобритания | США | Италия | Япония | Канада | Франция |
| 2009 | 0,04867 | 0,12098 | 0,12402 | 0,17310 | 0,11927 | 0,13870 | 0,14332 | 0,13194 |
| 2010 | 0,04870 | 0,12097 | 0,12398 | 0,17306 | 0,11927 | 0,13874 | 0,14332 | 0,13195 |
| 2011 | 0,04873 | 0,12096 | 0,12394 | 0,17303 | 0,11928 | 0,13879 | 0,14332 | 0,13196 |
| 2012 | 0,04874 | 0,12095 | 0,12389 | 0,17301 | 0,11928 | 0,13883 | 0,14332 | 0,13198 |
| 2013 | 0,04875 | 0,12094 | 0,12385 | 0,17298 | 0,11929 | 0,13887 | 0,14332 | 0,13199 |
| 2014 | 0,04875 | 0,12094 | 0,12381 | 0,17296 | 0,11930 | 0,13892 | 0,14332 | 0,13199 |
| 2015 | 0,04874 | 0,12094 | 0,12378 | 0,17295 | 0,11931 | 0,13896 | 0,14332 | 0,13200 |
| 2016 | 0,04872 | 0,12094 | 0,12375 | 0,17294 | 0,11932 | 0,13900 | 0,14332 | 0,13201 |
| 2017 | 0,04870 | 0,12094 | 0,12373 | 0,17293 | 0,11934 | 0,13904 | 0,14332 | 0,13202 |
| 2018 | 0,04867 | 0,12094 | 0,12371 | 0,17292 | 0,11935 | 0,13907 | 0,14332 | 0,13202 |
| 2019 | 0,04864 | 0,12094 | 0,12370 | 0,17292 | 0,11936 | 0,13910 | 0,14331 | 0,13202 |
| 2020 | 0,04861 | 0,12094 | 0,12369 | 0,17292 | 0,11937 | 0,13913 | 0,14331 | 0,13202 |
| 2021 | 0,04858 | 0,12094 | 0,12368 | 0,17292 | 0,11938 | 0,13915 | 0,14331 | 0,13202 |
| 2022 | 0,04856 | 0,12094 | 0,12368 | 0,17293 | 0,11939 | 0,13917 | 0,14331 | 0,13202 |
| 2023 | 0,04853 | 0,12094 | 0,12368 | 0,17293 | 0,11939 | 0,13919 | 0,14331 | 0,13202 |

Далее представлены график эмпирической динамики и график интерполяции и экстраполяции динамики.

По полученным данным можно сделать вывод, что доля ВВП на душу населения Японии и Италии увеличится, в меньшей степени Франции, но также увеличится; доля ВВП на душу населения Канады и Германии останется практически неизменной; для России же произойдет небольшое изменение. При этом все из них оказываются зависимыми от изменений доли ВВП таких стран, как РФ, Германия, Великобритания, Япония и Канада в данной модели, изменение долей ВВП на душу населения США, Италия и Франции не окажет влияния ни на одну из них. При этом влияние США на любую из стран не является значимым при любом выбор стандарта.

* 1. **Сравнение со сторонними прогнозами**

Был получен прогноз ВВП на душу населения по странам Большой Восьмерки с 2009 по 2017 гг. по версии Международного Валютного Фонда. Поскольку в прогнозе не указан метод подсчета, трудно сравнить методологии экстраполирования, но можно провести исследования степени корреляции спрогнозированных данных. Итак, имеем три прогноза, полученных следующим образом: с помощью программы «Economic Forecast» двумя способами (логистические и логарифмически-линейные цепочки) и предоставленные Международным Валютным Фондом.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Года | Россия | Германия | Англия | США | Италия | Япония | Канада | Франция |
| 2009 | 0,0570 | 0,1308 | 0,1332 | 0,1736 | 0,1110 | 0,1234 | 0,1446 | 0,1265 |
| 2010 | 0,0577 | 0,1332 | 0,1316 | 0,1724 | 0,1099 | 0,1261 | 0,1442 | 0,1250 |
| 2011 | 0,0597 | 0,1358 | 0,1302 | 0,1723 | 0,1086 | 0,1239 | 0,1445 | 0,1250 |
| 2012 | 0,0617 | 0,1363 | 0,1281 | 0,1738 | 0,1051 | 0,1262 | 0,1448 | 0,1239 |
| 2013 | 0,0638 | 0,1366 | 0,1277 | 0,1744 | 0,1031 | 0,1270 | 0,1445 | 0,1228 |
| 2014 | 0,0656 | 0,1368 | 0,1278 | 0,1753 | 0,1017 | 0,1269 | 0,1439 | 0,1219 |
| 2015 | 0,0672 | 0,1366 | 0,1280 | 0,1764 | 0,1008 | 0,1265 | 0,1433 | 0,1210 |
| 2016 | 0,0688 | 0,1363 | 0,1281 | 0,1776 | 0,1001 | 0,1260 | 0,1427 | 0,1204 |
| 2017 | 0,0704 | 0,1358 | 0,1284 | 0,1785 | 0,0994 | 0,1255 | 0,1420 | 0,1199 |

Табл.1 Прогноз Международного Валютного Фонда

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Года | Россия | Германия | Англия | США | Италия | Япония | Канада | Франция |
| 2009 | 0,0560 | 0,1176 | 0,1289 | 0,1857 | 0,1160 | 0,1343 | 0,1435 | 0,1180 |
| 2010 | 0,0560 | 0,1174 | 0,1286 | 0,1855 | 0,1162 | 0,1352 | 0,1434 | 0,1178 |
| 2011 | 0,0560 | 0,1173 | 0,1282 | 0,1854 | 0,1164 | 0,1361 | 0,1432 | 0,1175 |
| 2012 | 0,0560 | 0,1171 | 0,1278 | 0,1852 | 0,1165 | 0,1370 | 0,1431 | 0,1173 |
| 2013 | 0,0560 | 0,1170 | 0,1274 | 0,1851 | 0,1167 | 0,1379 | 0,1429 | 0,1170 |
| 2014 | 0,0560 | 0,1168 | 0,1271 | 0,1850 | 0,1169 | 0,1388 | 0,1428 | 0,1168 |
| 2015 | 0,0560 | 0,1166 | 0,1267 | 0,1848 | 0,1171 | 0,1397 | 0,1426 | 0,1165 |
| 2016 | 0,0560 | 0,1165 | 0,1263 | 0,1847 | 0,1172 | 0,1406 | 0,1425 | 0,1163 |
| 2017 | 0,0560 | 0,1163 | 0,1259 | 0,1845 | 0,1174 | 0,1416 | 0,1423 | 0,1160 |

Табл.2 Прогноз, построенный с помощью программного комплекса «Economic Forecast» (логистический метод)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Года | Россия | Германия | Англия | США | Италия | Япония | Канада | Франция |
| 2009 | 0,04867 | 0,12098 | 0,12402 | 0,17310 | 0,11927 | 0,13870 | 0,14332 | 0,13194 |
| 2010 | 0,04870 | 0,12097 | 0,12398 | 0,17306 | 0,11927 | 0,13874 | 0,14332 | 0,13195 |
| 2011 | 0,04873 | 0,12096 | 0,12394 | 0,17303 | 0,11928 | 0,13879 | 0,14332 | 0,13196 |
| 2012 | 0,04874 | 0,12095 | 0,12389 | 0,17301 | 0,11928 | 0,13883 | 0,14332 | 0,13198 |
| 2013 | 0,04875 | 0,12094 | 0,12385 | 0,17298 | 0,11929 | 0,13887 | 0,14332 | 0,13199 |
| 2014 | 0,04875 | 0,12094 | 0,12381 | 0,17296 | 0,11930 | 0,13892 | 0,14332 | 0,13199 |
| 2015 | 0,04874 | 0,12094 | 0,12378 | 0,17295 | 0,11931 | 0,13896 | 0,14332 | 0,13200 |
| 2016 | 0,04872 | 0,12094 | 0,12375 | 0,17294 | 0,11932 | 0,13900 | 0,14332 | 0,13201 |
| 2017 | 0,04870 | 0,12094 | 0,12373 | 0,17293 | 0,11934 | 0,13904 | 0,14332 | 0,13202 |

Табл.3 Прогноз, построенный с помощью программного комплекса «Economic Forecast» (логарифмически-линейный метод)

Был проведен статистический анализ – сравнение данных из таблицы 1 с данными из таблиц 2 и 3. Коэффициент корреляции между прогнозом МВФ и прогнозом с помощью вероятностных цепочек с логистическим ростом составляет R= 0,996643786, а коэффициент корреляции между прогнозом МВФ и прогнозом, построенном с помощью вероятностных цепочек с логарифмически-линейным ростом равен R= 0,996284036. Из чего можно сделать вывод, что экстраполяция, получаемая с помощью представленной программы в значительной степени близка к экстраполяции данных, представленных Мировым Валютным Фондом, использующим свои специальные методики для этого. Причем прогноз логистическим методом оказался более близким к прогнозу МВФ, чем логарифмически-линейным, что может объясняться двумя фактами. Первое, МВФ в основе своих подсчетов и прогнозов может использовать сходные с используемой в данной программе методологией, второе, при построении логарифмически-линейной модели, не все коэффициенты оказывались значимыми, что может служить причиной большего расхождения этой модели с моделью МВФ.

Таким образом, можно сделать вывод, что экстраполированные данные, полученные в этой работе, довольно тесно коррелируют с данными, прогнозируемыми независимыми организациями (МВФ), что дает еще одно обоснование считать их правдоподобными с большой долей уверенности.

1. **Заключение**

В результате проведенной работы был построен программный комплекс исследователя, позволяющий экстраполировать динамику статистических данных, основываясь на линейных вероятностных цепочках двух типов: с логистическим ростом и логарифмически-линейных. Данный комплекс позволяет представить наглядное представление о дальнейшем развитии тех или иных важнейших экономических показателей и строить выводы относительно их дальнейших изменений.

Анализ выбранных основных показателей устойчивого развития для стран Большой Восьмерки показал, что наибольшее преимущество по совокупному развитию устойчивого развития, основываясь на основных выбранных критериях, имеют Соединенные Штаты Америки и Канада. Эти страны имеют преимущество как на заключительные года имеющейся эмпирической динамики, так и в прогнозируемой на несколько лет вперед. Что касается России, то практически все ключевые показатели и их изменение в перспективе позволяют сделать вывод, что модель устойчивого развития в нашей стране развита по сравнению с остальным странами Большой Восьмерки в меньшей степени. Единственный показатель, по которому Россия по прогнозу занимает лидирующее положение и на данный момент занимает довольно неплохую позицию, это доля инвестиций от ВВП. По всем же остальным проанализированным факторам, Российская Федерация находится на одном из последних мест.

Как можно заметить из сравнения с прогнозами сторонних организаций, полученных другой методологией, высокая корреляция между данными позволяет говорить о высокой степени достоверности прогнозов, получаемых с помощью программы «Economic Forecast». При этом стоит обратить внимание, что наилучший результат будет получен в результате анализа экстраполированных данных, построенных двумя способами и соотнесенными между собой.

1. **Приложение 1. Моделирование различных показателей.**
   1. **Моделирование уровня инвестиций (процент от ВВП) по странам Большой Восьмерки**

Следующим важным показателем, который был рассмотрен в данной работе – это процент инвестиций от ВВП по странам Большой Восьмерки. Данная статистика была собрана по данным Международного Валютного Фонда за 1990-2012гг.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Года | Великобритания | Германия | Италия | Канада | Россия | США | Франция | Япония |
| 1990 | 20,072 | 25,64 | 22,612 | 20,911 | 31,907 | 18,562 | 21,72 | 32,528 |
| 1991 | 17,055 | 24,039 | 22,359 | 18,784 | 38,286 | 17,075 | 20,891 | 32,253 |
| 1992 | 16,244 | 23,488 | 21,736 | 17,798 | 37,642 | 17,153 | 19,251 | 30,577 |
| 1993 | 15,787 | 22,163 | 19,006 | 17,846 | 30,015 | 17,59 | 16,816 | 29,258 |
| 1994 | 16,462 | 22,459 | 19,082 | 18,872 | 26,336 | 18,605 | 17,653 | 28,048 |
| 1995 | 16,968 | 22,338 | 20,604 | 18,759 | 25,439 | 18,566 | 17,915 | 28,098 |
| 1996 | 16,758 | 21,278 | 19,378 | 18,188 | 24,26 | 18,938 | 17,031 | 28,615 |
| 1997 | 17,166 | 21,331 | 19,739 | 20,733 | 21,977 | 19,695 | 16,833 | 28,086 |
| 1998 | 18,278 | 21,847 | 19,857 | 20,388 | 17,128 | 20,17 | 18,152 | 26,1 |
| 1999 | 18,066 | 21,797 | 20,392 | 20,302 | 14,83 | 20,622 | 18,8 | 24,731 |
| 2000 | 17,682 | 22,3 | 20,825 | 20,231 | 18,694 | 20,867 | 19,894 | 25,105 |
| 2001 | 17,457 | 20,346 | 20,718 | 19,181 | 21,503 | 19,288 | 19,557 | 24,304 |
| 2002 | 17,177 | 18,072 | 21,318 | 19,295 | 20,035 | 18,703 | 18,582 | 22,459 |
| 2003 | 16,806 | 17,853 | 20,882 | 19,99 | 20,044 | 18,717 | 18,458 | 22,399 |
| 2004 | 17,129 | 17,631 | 20,995 | 20,723 | 20,337 | 19,749 | 19,214 | 22,504 |
| 2005 | 16,973 | 17,269 | 20,893 | 22,075 | 19,494 | 20,314 | 19,971 | 22,466 |
| 2006 | 17,433 | 18,135 | 21,806 | 23,021 | 21,12 | 20,574 | 20,866 | 22,681 |
| 2007 | 18,273 | 19,261 | 22,116 | 23,24 | 25,36 | 19,615 | 21,958 | 22,884 |
| 2008 | 17,073 | 19,259 | 21,638 | 23,238 | 24,081 | 18,086 | 21,948 | 22,977 |
| 2009 | 14,123 | 16,455 | 18,851 | 20,867 | 16,998 | 14,715 | 18,952 | 19,665 |
| 2010 | 15,049 | 17,488 | 20,247 | 22,204 | 20,695 | 15,469 | 19,264 | 19,773 |
| 2011 | 14,782 | 18,264 | 19,628 | 22,787 | 23,159 | 15,489 | 20,64 | 19,869 |
| 2012 | 14,748 | 17,984 | 18,369 | 23,687 | 23,543 | 16,22 | 20,236 | 20,284 |

На основе имеющихся эмпирических данных целью было построить с помощью программы «EconomicForecast» две модели на основе вероятностных цепочек: с логистическим ростом и линейно-логарифмических и построить прогноз на следующие 15 лет и провести сравнительный анализ полученных данных, сравнив полученные цифры для России с другими странами G8.

*Логистическая вероятностная цепочка*

Доля инвестиций от ВВП одной из стран Большой Восьмерки может быть взята за стандарт. Поскольку стран восемь, то таких вариантов тоже может быть восемь. В таблице ниже приведены восемь различных вариантов расчета относительных приращений долей инвестиций в зависимости от выбранного стандарта.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Прирост/ст. | Великобритания | Германия | Италия | Канада | Россия | США | Франция | Япония |
| Великобритания | 1 | 1,0009 | 0,9938 | 0,9817 | 0,9883 | 0,9899 | 0,9894 | 1,0056 |
| Германия | 0,9967 | 1 | 0,9912 | 0,9786 | 0,9877 | 0,9864 | 0,9873 | 1,0047 |
| Италия | 1,0029 | 1,0043 | 1 | 0,9857 | 0,9932 | 0,9943 | 0,9939 | 1,0093 |
| Канада | 1,0216 | 1,0211 | 1,0168 | 1 | 1,0030 | 1,0146 | 1,0071 | 1,0284 |
| Россия | 0,9882 | 0,9947 | 0,9865 | 0,9668 | 1 | 0,9771 | 0,9802 | 1,0026 |
| США | 1,0058 | 1,0061 | 1,0011 | 0,9905 | 0,9920 | 1 | 0,9961 | 1,0110 |
| Франция | 1,0108 | 1,0124 | 1,0066 | 0,9895 | 0,9982 | 1,0018 | 1 | 1,0184 |
| Япония | 0,9907 | 0,9941 | 0,9858 | 0,9747 | 0,9866 | 0,9806 | 0,9825 | 1 |

Из данной таблицы можно сделать следующий вывод. Какая бы страна не была выбрана за стандарт, в каждом из случаев будет происходить отрицательный прирост доли инвестиций Японии. Аналогично можно заключить, что при любом выбранном стандарте будет иметь место положительный прирост доли инвестиций Канады от ВВП.

На основе полученных значений можно вычислить матрицу взаимного влияния для логистической вероятностной цепочки. Приведем матрицу взаимного влияния в случае, когда доля инвестиций от ВВП Италии принята за стандарт, поскольку этот вариант отличается наибольшим коэффициентом корреляции между эмпирической динамикой и динамикой с логистическим ростом (R = 0,996539330393613). Из данных в матрице взаимного влияния можно сделать вывод, что относительное приращение доли инвестиций Японии испытывает отрицательное входное воздействие со стороны любой из оставшихся стран, а Франция, напротив, положительное входное воздействие со стороны остальных стран Большой Восьмерки. Так же доля инвестиций Японии оказывает положительное воздействие на прирост доли инвестиций в оставшихся странах. Канада же, помимо того, что испытывает положительное входное воздействие со стороны других стран, но и сама оказывает отрицательное.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Великобритания | Германия | Италия | Канада | Россия | США | Франция | Япония |
| Великобритания | 0 | 0,003 | -0,006 | -0,023 | 0,007 | -0,007 | -0,013 | 0,008 |
| Германия | -0,003 | 0 | -0,009 | -0,026 | 0,005 | -0,01 | -0,015 | 0,005 |
| Италия | 0,006 | 0,009 | 0 | -0,017 | 0,013 | -0,001 | -0,007 | 0,014 |
| Канада | 0,023 | 0,025 | 0,016 | 0 | 0,03 | 0,015 | 0,01 | 0,03 |
| Россия | -0,007 | -0,005 | -0,014 | -0,031 | 0 | -0,015 | -0,02 | 0,001 |
| США | 0,007 | 0,01 | 0,001 | -0,016 | 0,015 | 0 | -0,005 | 0,015 |
| Франция | 0,013 | 0,015 | 0,007 | -0,01 | 0,02 | 0,005 | 0 | 0,021 |
| Япония | -0,008 | -0,005 | -0,014 | -0,031 | -0,001 | -0,015 | -0,021 | 0 |

Подсчитав коэффициенты корреляции между эмпирической динамикой и построенной динамикой с логистическим ростам по всем странам Большой Восьмерки, можно заметить, что наименьший коэффициент корреляции равен 0,996233048490647 в случае, когда Япония взята за стандарт. Это означает, что построенная модель довольно точна даже в этом случае, но если выбрать в качестве стандарта Италию, то эта точность лишь увеличиться, поэтому при дальнейших вычислениях будем пользоваться этим вариантом.

Далее представлена таблица экстраполяции на следующие 8 лет, т.е. на интервал с 2013 по 2020, график эмпирической динамики и график интерполяции и экстраполяции динамики.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Год | Великобритания | Германия | Италия | Канада | Россия | США | Франция | Япония |
| 1990 | 0,105 | 0,131 | 0,120 | 0,100 | 0,160 | 0,107 | 0,105 | 0,171 |
| 1991 | 0,105 | 0,130 | 0,121 | 0,102 | 0,158 | 0,107 | 0,106 | 0,170 |
| 1992 | 0,105 | 0,130 | 0,121 | 0,104 | 0,157 | 0,108 | 0,107 | 0,168 |
| 1993 | 0,105 | 0,129 | 0,122 | 0,106 | 0,155 | 0,108 | 0,109 | 0,166 |
| 1994 | 0,104 | 0,128 | 0,122 | 0,108 | 0,154 | 0,109 | 0,110 | 0,164 |
| 1995 | 0,104 | 0,128 | 0,123 | 0,110 | 0,152 | 0,110 | 0,111 | 0,163 |
| 1996 | 0,104 | 0,127 | 0,123 | 0,113 | 0,151 | 0,110 | 0,112 | 0,161 |
| 1997 | 0,104 | 0,126 | 0,123 | 0,115 | 0,149 | 0,110 | 0,113 | 0,159 |
| 1998 | 0,103 | 0,126 | 0,124 | 0,117 | 0,148 | 0,111 | 0,114 | 0,157 |
| 1999 | 0,103 | 0,125 | 0,124 | 0,119 | 0,146 | 0,111 | 0,115 | 0,156 |
| 2000 | 0,103 | 0,124 | 0,125 | 0,122 | 0,145 | 0,112 | 0,116 | 0,154 |
| 2001 | 0,102 | 0,124 | 0,125 | 0,124 | 0,143 | 0,112 | 0,117 | 0,152 |
| 2002 | 0,102 | 0,123 | 0,125 | 0,127 | 0,142 | 0,113 | 0,119 | 0,150 |
| 2003 | 0,102 | 0,122 | 0,126 | 0,129 | 0,140 | 0,113 | 0,120 | 0,149 |
| 2004 | 0,101 | 0,121 | 0,126 | 0,132 | 0,139 | 0,114 | 0,121 | 0,147 |
| 2005 | 0,101 | 0,121 | 0,126 | 0,134 | 0,137 | 0,114 | 0,122 | 0,145 |
| 2006 | 0,100 | 0,120 | 0,127 | 0,137 | 0,136 | 0,114 | 0,123 | 0,144 |
| 2007 | 0,100 | 0,119 | 0,127 | 0,139 | 0,134 | 0,115 | 0,124 | 0,142 |
| 2008 | 0,100 | 0,118 | 0,127 | 0,142 | 0,133 | 0,115 | 0,125 | 0,140 |
| 2009 | 0,099 | 0,117 | 0,127 | 0,145 | 0,131 | 0,116 | 0,126 | 0,138 |
| 2010 | 0,099 | 0,117 | 0,128 | 0,147 | 0,129 | 0,116 | 0,127 | 0,137 |
| 2011 | 0,098 | 0,116 | 0,128 | 0,150 | 0,128 | 0,116 | 0,128 | 0,135 |
| 2012 | 0,098 | 0,115 | 0,128 | 0,153 | 0,126 | 0,117 | 0,129 | 0,133 |
| 2013 | 0,098 | 0,114 | 0,128 | 0,156 | 0,125 | 0,117 | 0,130 | 0,132 |
| 2014 | 0,097 | 0,113 | 0,129 | 0,159 | 0,124 | 0,117 | 0,132 | 0,130 |
| 2015 | 0,097 | 0,112 | 0,129 | 0,162 | 0,122 | 0,118 | 0,133 | 0,128 |
| 2016 | 0,096 | 0,112 | 0,129 | 0,165 | 0,121 | 0,118 | 0,134 | 0,127 |
| 2017 | 0,096 | 0,111 | 0,129 | 0,167 | 0,119 | 0,118 | 0,135 | 0,125 |
| 2018 | 0,095 | 0,110 | 0,129 | 0,170 | 0,118 | 0,118 | 0,136 | 0,123 |
| 2019 | 0,095 | 0,109 | 0,129 | 0,174 | 0,116 | 0,119 | 0,137 | 0,122 |
| 2020 | 0,094 | 0,108 | 0,130 | 0,177 | 0,115 | 0,119 | 0,138 | 0,120 |

Можно заметить, что в данном случае эта модель является довольно грубым приближением действительности в виду резких скачков и изменений доли инвестиций в разные годы. Но тем не менее можно выделить общие тенденции и заключить, что единственная страна, в которой доля инвестиций будет значительно расти с годами, это Канада. В странах, как то Россия, Великобритания, Германия, Япония этот показатель будет падать. В Италии, США и Франции доля инвестиций от ВВП будет расти, но не так значительно, как в Канаде.

*Логарифмически-линейная вероятностная цепочка*

Теперь будем решать ту же самую задачу, но с использованием модели, основанной на логарифмически-линейной вероятностной цепочке. Прежде чем исследовать динамику взаимных долей, необходимо удостовериться в том, что выполняются предпосылки регрессионного анализа. Проведем эту процедуру аналогично с предыдущей моделью, когда Германия принята за станадрт.

1. По критерию Шапиро-Уилка получаем, что остатки нормально распределены для всех уравнений системы, следовательно, рассматриваем их все.
2. По t-критерию Стьюдента принимается гипотеза о равенстве нулю математического ожидания остатков всех уравнений.
3. Метод рядов для остатков данного уравнения позволяет сказать, что для всех уравнения принимается гипотеза об отсутствии автокорреляции.
4. Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена между остатками любого уравнения и объясняющими переменными являются незначимыми, что говорит об отсутствии гетероскедастичности.

Таким образом, с Германией в качестве стандарта можно проводить дальнейшие исследования для доли инвестиций от ВВП для всех остальных стран Большой Восьмерки.

С помощью приложения найдена оценка матрицы неизвестных коэффициентов для логарифмически-линейной вероятностной цепочки.

А также коэффициенты суммарные преимущества для всех стран, кроме Германия:

*=* 2 157 506,09

*=* 78 366 029,08

*=* 371 299,35

*=*47 059,17

*=* 1 693,51

*=* 433,00

*=* 42 912,59

Для оценки значимости коэффициентов уравнений проведем t-тест Стьюдента. Согласно его результатам значимыми являются следующие коэффициенты:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | коэффициент | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| уравнение |  |
| 2 | | ● |  | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 3 | | ● |  | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 4 | |  |  | ● | ● | ● | ● | ● |  |
| 5 | |  |  |  |  |  |  | ● |  |
| 6 | |  |  | ● |  |  | ● |  |  |
| 7 | | ● |  |  | ● | ● | ● | ● | ● |
| 8 | | ● |  | ● |  | ● | ● | ● | ● |

Результаты F-тесты Фишера говорят о статистической значимости всех уравнений системы и системы в целом.

Соответственно, для вышеназванных коэффициентов можно делать выводы и выявлять закономерности динамики в логарифмически-линейной модели. Итак, экстраполяция динамики на ближайшие 8 лет логарифмически-линейными вероятностными цепочками выглядит следующим образом:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Год | Англия | Германия | Италия | Канада | Россия | США | Франция | Япония |
| 1991 | 0,093 | 0,130 | 0,122 | 0,104 | 0,176 | 0,093 | 0,111 | 0,170 |
| 1992 | 0,094 | 0,125 | 0,123 | 0,106 | 0,184 | 0,098 | 0,103 | 0,167 |
| 1993 | 0,098 | 0,128 | 0,118 | 0,113 | 0,165 | 0,108 | 0,103 | 0,168 |
| 1994 | 0,103 | 0,130 | 0,119 | 0,118 | 0,143 | 0,114 | 0,106 | 0,167 |
| 1995 | 0,106 | 0,130 | 0,123 | 0,121 | 0,131 | 0,117 | 0,110 | 0,163 |
| 1996 | 0,107 | 0,128 | 0,126 | 0,123 | 0,126 | 0,118 | 0,112 | 0,159 |
| 1997 | 0,108 | 0,125 | 0,129 | 0,125 | 0,125 | 0,119 | 0,114 | 0,156 |
| 1998 | 0,108 | 0,122 | 0,130 | 0,127 | 0,124 | 0,121 | 0,116 | 0,152 |
| 1999 | 0,108 | 0,120 | 0,131 | 0,129 | 0,124 | 0,121 | 0,118 | 0,149 |
| 2000 | 0,108 | 0,118 | 0,131 | 0,131 | 0,124 | 0,121 | 0,120 | 0,146 |
| 2001 | 0,108 | 0,117 | 0,131 | 0,134 | 0,124 | 0,120 | 0,122 | 0,143 |
| 2002 | 0,107 | 0,116 | 0,131 | 0,136 | 0,126 | 0,119 | 0,124 | 0,141 |
| 2003 | 0,106 | 0,115 | 0,131 | 0,139 | 0,128 | 0,117 | 0,126 | 0,139 |
| 2004 | 0,104 | 0,115 | 0,131 | 0,141 | 0,131 | 0,114 | 0,128 | 0,137 |
| 2005 | 0,103 | 0,114 | 0,130 | 0,143 | 0,134 | 0,112 | 0,130 | 0,135 |
| 2006 | 0,101 | 0,115 | 0,129 | 0,145 | 0,137 | 0,109 | 0,131 | 0,133 |
| 2007 | 0,099 | 0,115 | 0,128 | 0,147 | 0,141 | 0,106 | 0,132 | 0,132 |
| 2008 | 0,097 | 0,116 | 0,127 | 0,148 | 0,145 | 0,103 | 0,133 | 0,131 |
| 2009 | 0,095 | 0,117 | 0,125 | 0,149 | 0,149 | 0,099 | 0,134 | 0,131 |
| 2010 | 0,093 | 0,118 | 0,123 | 0,149 | 0,154 | 0,096 | 0,135 | 0,130 |
| 2011 | 0,091 | 0,120 | 0,121 | 0,149 | 0,160 | 0,093 | 0,135 | 0,130 |
| 2012 | 0,089 | 0,123 | 0,118 | 0,149 | 0,166 | 0,090 | 0,135 | 0,130 |
| 2013 | 0,087 | 0,125 | 0,116 | 0,147 | 0,172 | 0,087 | 0,135 | 0,131 |
| 2014 | 0,085 | 0,128 | 0,113 | 0,145 | 0,178 | 0,084 | 0,134 | 0,132 |
| 2015 | 0,083 | 0,132 | 0,110 | 0,142 | 0,185 | 0,082 | 0,133 | 0,133 |
| 2016 | 0,081 | 0,136 | 0,107 | 0,139 | 0,192 | 0,079 | 0,132 | 0,135 |
| 2017 | 0,078 | 0,141 | 0,103 | 0,134 | 0,200 | 0,077 | 0,130 | 0,137 |
| 2018 | 0,076 | 0,147 | 0,099 | 0,128 | 0,208 | 0,075 | 0,127 | 0,140 |
| 2019 | 0,073 | 0,154 | 0,094 | 0,122 | 0,217 | 0,073 | 0,125 | 0,143 |
| 2020 | 0,070 | 0,163 | 0,088 | 0,114 | 0,227 | 0,070 | 0,121 | 0,147 |

Далее представлены график эмпирической динамики и график интерполяции и экстраполяции динамики.

Эта модель оказывается более приближенной к эмпирической динамике, чем логистическая. По полученным данным можно сделать вывод, что доля инвестиций от ВВП в Италии, Германии и Франции увеличится; доля же инвестиций от ВВП во всех остальных странах будет уменьшаться. При этом на долю инвестиций России и Великобритании оказывают влияние изменения соответствующих долей для всех стран, кроме Германии. Так же на динамику доли инвестиций для США, Канады и Франции значимыми оказываются изменения практически всех стран, чего нельзя сказать о доли инвестиций в Японии и Италии.

* 1. **Моделирование долей разных видов источников для производства электроэнергии.**

Следующим важным показателем, который был рассмотрен в данной работе – это соотношение возобновляемых источников, ядерных, угля, газа и нефти для производства электроэнергии. Были собраны и проанализированы аналогичные статистики по каждой из стран Большой Восьмерки. Далее приводится подробный анализ для статистики по России и сравнение полученных результатов с результатами других стран. Следующие статистики по странам Большой Восьмерки были собраны по данным Международного Валютного Фонда за 1990-2010гг.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Год | Производство электричества из угля, газа и нефти (% от общего) | Производство электричества из ядерных источников (% от общего) | Производство электричества из возобновляемых источников (% от общего) |
| 1990 | 0,73 | 0,11 | 0,16 |
| 1991 | 0,73 | 0,11 | 0,16 |
| 1992 | 0,70 | 0,12 | 0,18 |
| 1993 | 0,69 | 0,12 | 0,19 |
| 1994 | 0,68 | 0,11 | 0,21 |
| 1995 | 0,67 | 0,12 | 0,21 |
| 1996 | 0,68 | 0,13 | 0,19 |
| 1997 | 0,67 | 0,13 | 0,19 |
| 1998 | 0,68 | 0,13 | 0,20 |
| 1999 | 0,66 | 0,14 | 0,19 |
| 2000 | 0,66 | 0,15 | 0,19 |
| 2001 | 0,65 | 0,15 | 0,20 |
| 2002 | 0,65 | 0,16 | 0,19 |
| 2003 | 0,66 | 0,16 | 0,17 |
| 2004 | 0,65 | 0,16 | 0,19 |
| 2005 | 0,66 | 0,16 | 0,19 |
| 2006 | 0,66 | 0,16 | 0,18 |
| 2007 | 0,66 | 0,16 | 0,18 |
| 2008 | 0,68 | 0,16 | 0,16 |
| 2009 | 0,66 | 0,17 | 0,18 |
| 2010 | 0,67 | 0,16 | 0,16 |

На основе имеющихся эмпирических данных целью было построить с помощью программы «EconomicForecast» две модели на основе вероятностных цепочек: с логистическим ростом и линейно-логарифмических и построить прогноз на следующие 8 лет и провести сравнительный анализ полученных данных, сравнив полученные цифры для России с другими странами G8.

*Логистическая вероятностная цепочка*

Доля одного из источников энергии может быть взята за стандарт. Поскольку в приведенной таблице они разбиты на 3 группы, то таких вариантов тоже может быть три. В таблице ниже приведены три различных вариантов расчета относительных приращений долей производства энергии по видам источников в зависимости от выбранного стандарта.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Прирост/ст. | Газ, нефть, уголь | Ядерные | Возобновлемые |
| Газ, нефть, уголь | 1 | 0,9699 | 0,9883 |
| Ядерные | 1,0195 | 1 | 1,0183 |
| Возобновлемые | 1,0010 | 0,9803 | 1 |

Из данной таблицы можно сделать следующий вывод. Какой бы вид источника энергии не был выбран за стандарт, в каждом из случаев будет происходить отрицательный прирост доли производства энергии из газа, нефти и угля и положительный прирост доли производства энергии из ядерных источников.

На основе полученных значений можно вычислить матрицу взаимного влияния для логистической вероятностной цепочки. Приведем матрицу взаимного влияния в случае, когда доля природных невозобновляемых источников энергии принята за стандарт, поскольку этот вариант отличается наибольшим коэффициентом корреляции между эмпирической динамикой и динамикой с логистическим ростом (R = 0,999488248761387). Из данных в матрице взаимного влияния можно сделать вывод, что относительное приращение доли невозбновляемых источников энергии испытывает отрицательное входное воздействие со стороны других источников энергии, а доля ядерных источников энергии, напротив, положительное входное воздействие со стороны остальных источников энергии. Так же доля невозбновляемых источников энергии оказывает положительное воздействие на прирост доли остальных видов источников энергии, ядерные же оказывают отрицательное.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Газ, нефть, уголь | Ядерные | Возобновлемые |
| Газ, нефть, уголь | 0 | -0,0200 | -0,0010 |
| Ядерные | 0,0190 | 0 | 0,0180 |
| Возобновлемые | 0,0010 | -0,0180 | 0 |

Подсчитав коэффициенты корреляции между эмпирической динамикой и построенной динамикой с логистическим ростам по всем видам источников энергии, можно заметить, что наименьший коэффициент корреляции равен 0,99932 в случае, когда возобновляемые источники энергии взяты за стандарт. Это означает, что построенная модель довольно точна даже в этом случае, но если выбрать в качестве стандарта невозобновляемые источники энергии, то эта точность лишь увеличиться, поэтому при дальнейших вычислениях будем пользоваться этим вариантом.

Далее представлена таблица экстраполяции на следующие 8 лет, т.е. на интервал с 2011 по 2018, график эмпирической динамики и график интерполяции и экстраполяции динамики.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Год | Производство электричества из угля, газа и нефти | Производство электричества из ядерных источников | Производство электричества из возобновляемых источников |
| 1990 | 0,692660 | 0,119642 | 0,187698 |
| 1991 | 0,690920 | 0,121669 | 0,187411 |
| 1992 | 0,689158 | 0,123726 | 0,187117 |
| 1993 | 0,687372 | 0,125812 | 0,186816 |
| 1994 | 0,685564 | 0,127928 | 0,186508 |
| 1995 | 0,683733 | 0,130075 | 0,186193 |
| 1996 | 0,681878 | 0,132252 | 0,185871 |
| 1997 | 0,679999 | 0,134459 | 0,185541 |
| 1998 | 0,678097 | 0,136698 | 0,185204 |
| 1999 | 0,676171 | 0,138968 | 0,184860 |
| 2000 | 0,674221 | 0,141270 | 0,184509 |
| 2001 | 0,672247 | 0,143604 | 0,184150 |
| 2002 | 0,670248 | 0,145969 | 0,183783 |
| 2003 | 0,668225 | 0,148367 | 0,183409 |
| 2004 | 0,666177 | 0,150797 | 0,183027 |
| 2005 | 0,664104 | 0,153259 | 0,182637 |
| 2006 | 0,662006 | 0,155755 | 0,182239 |
| 2007 | 0,659883 | 0,158283 | 0,181834 |
| 2008 | 0,657735 | 0,160845 | 0,181420 |
| 2009 | 0,655562 | 0,163440 | 0,180999 |
| 2010 | 0,653363 | 0,166068 | 0,180569 |
| 2011 | 0,651138 | 0,168730 | 0,180132 |
| 2012 | 0,648887 | 0,171427 | 0,179686 |
| 2013 | 0,646611 | 0,174157 | 0,179232 |
| 2014 | 0,644309 | 0,176921 | 0,178770 |
| 2015 | 0,641981 | 0,179720 | 0,178299 |
| 2016 | 0,639627 | 0,182553 | 0,177820 |
| 2017 | 0,637246 | 0,185421 | 0,177333 |
| 2018 | 0,634840 | 0,188323 | 0,176837 |

Можно заметить, что в данном случае эта модель довольно неплохо приближает эмпирическую динамику ввиду отсутствия резких скачком и близость ее к линейной модели. Можно выделить общие тенденции, заключающиеся в том, что доля производства энергии из невозбновляемых источников энергии будет падать, а доля производства энергии из ядерных источников – расти, в то время как производство энергии из возобновляемых источников останется примерно на том же уровне.

*Логарифмически-линейная вероятностная цепочка*

Теперь будем решать ту же самую задачу, но с использованием модели, основанной на логарифмически-линейной вероятностной цепочке. Прежде чем исследовать динамику взаимных долей, необходимо удостовериться в том, что выполняются предпосылки регрессионного анализа. Проведем эту процедуру аналогично с предыдущей моделью, когда доля возобновляемых источников энергии принята за стандарт, потому что в этом случае модель получается наиболее достоверной.

1. По критерию Шапиро-Уилкса получаем, что остатки нормально распределены для всех уравнений системы, следовательно, рассматриваем их все.
2. По t-критерию Стьюдента принимается гипотеза о равенстве нулю математического ожидания остатков всех уравнений.
3. Метод рядов для остатков данного уравнения позволяет сказать, что для всех уравнения принимается гипотеза об отсутствии автокорреляции.
4. Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена между остатками любого уравнения и объясняющими переменными являются незначимыми, что говорит об отсутствии гетероскедастичности.

Таким образом, с возобновляемыми источниками энергии в качестве стандарта можно проводить дальнейшие исследования для долей различных источников энергии.

С помощью приложения найдена оценка матрицы неизвестных коэффициентов для логарифмически-линейной вероятностной цепочки.

А также коэффициенты суммарные преимущества для всех видов источников, кроме возобновляемых:

*=* 4,70

*=* 1,85

Для оценки значимости коэффициентов уравнений проведем t-тест Стьюдента. Согласно его результатам значимыми является только коэффициент [1,3]. И по тесту Фишеру оба уравнения и вся система в целом являются значимыми. Следовательно, мы можем делать вывод при построении логарифмически-линейной модели только об изменении доли невозобновлеямых источников энергии в зависимости от доли возобновляемых.

Итак, экстраполяция динамики на ближайшие 8 лет логарифмически-линейными вероятностными цепочками выглядит следующим образом:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Год | Производство электричества из угля, газа и нефти | Производство электричества из ядерных источников | Производство электричества из возобновляемых источников |
| 1991 | 0,7160 | 0,1146 | 0,1695 |
| 1992 | 0,6989 | 0,1178 | 0,1833 |
| 1993 | 0,6854 | 0,1208 | 0,1938 |
| 1994 | 0,6776 | 0,1245 | 0,1979 |
| 1995 | 0,6730 | 0,1283 | 0,1987 |
| 1996 | 0,6696 | 0,1319 | 0,1985 |
| 1997 | 0,6670 | 0,1351 | 0,1979 |
| 1998 | 0,6650 | 0,1381 | 0,1969 |
| 1999 | 0,6635 | 0,1407 | 0,1958 |
| 2000 | 0,6624 | 0,1431 | 0,1945 |
| 2001 | 0,6615 | 0,1453 | 0,1932 |
| 2002 | 0,6609 | 0,1472 | 0,1919 |
| 2003 | 0,6605 | 0,1490 | 0,1905 |
| 2004 | 0,6602 | 0,1505 | 0,1892 |
| 2005 | 0,6601 | 0,1520 | 0,1879 |
| 2006 | 0,6600 | 0,1533 | 0,1867 |
| 2007 | 0,6600 | 0,1545 | 0,1855 |
| 2008 | 0,6601 | 0,1556 | 0,1844 |
| 2009 | 0,6602 | 0,1565 | 0,1832 |
| 2010 | 0,6604 | 0,1575 | 0,1822 |
| 2011 | 0,6606 | 0,1583 | 0,1812 |
| 2012 | 0,6608 | 0,1591 | 0,1802 |
| 2013 | 0,6610 | 0,1598 | 0,1792 |
| 2014 | 0,6613 | 0,1604 | 0,1783 |
| 2015 | 0,6615 | 0,1610 | 0,1774 |
| 2016 | 0,6618 | 0,1616 | 0,1766 |
| 2017 | 0,6621 | 0,1622 | 0,1757 |
| 2018 | 0,6624 | 0,1627 | 0,1749 |

Далее представлены график эмпирической динамики и график интерполяции и экстраполяции динамики.

|  |
| --- |
|  |
|  |

По полученным данным можно строить выводы лишь о доле производства электричества из невозобновляемых источников энергии. Она в России будет незначительно, но увеличиваться по сравнению с остальными видами источников.

*Сравнительный анализ доли использования возобновляемых энергоресурсов по странам Большой Восьмерки*

Для анализа были использованы данные, полученные применением логистических вероятностных цепочек, когда за стандарт принята доля невозобновляемых природных энергоресурсов в производстве энергии. Была получена следующая сводная таблица.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Года | РФ | Германия | Япония | Америка | Канада | Франция | Италия | Великобритания |
| 1990 | 18,8% | 4,8% | 8,2% | 20,3% | 61,9% | 10,3% | 1,5% | 1,0% |
| 1991 | 18,7% | 5,2% | 7,7% | 20,6% | 61,2% | 10,0% | 1,2% | 1,1% |
| 1992 | 18,7% | 5,6% | 7,3% | 20,9% | 60,5% | 9,7% | 1,0% | 1,3% |
| 1993 | 18,7% | 6,0% | 6,9% | 21,2% | 59,8% | 9,4% | 0,9% | 1,4% |
| 1994 | 18,7% | 6,4% | 6,5% | 21,5% | 59,1% | 9,1% | 0,7% | 1,6% |
| 1995 | 18,6% | 6,9% | 6,1% | 21,8% | 58,4% | 8,8% | 0,6% | 1,7% |
| 1996 | 18,6% | 7,4% | 5,8% | 22,1% | 57,6% | 8,5% | 0,5% | 1,9% |
| 1997 | 18,6% | 7,9% | 5,5% | 22,5% | 56,9% | 8,2% | 0,4% | 2,1% |
| 1998 | 18,5% | 8,5% | 5,2% | 22,8% | 56,2% | 7,9% | 0,4% | 2,4% |
| 1999 | 18,5% | 9,1% | 4,9% | 23,1% | 55,5% | 7,7% | 0,3% | 2,7% |
| 2000 | 18,5% | 9,7% | 4,6% | 23,4% | 54,8% | 7,4% | 0,2% | 2,9% |
| 2001 | 18,4% | 10,4% | 4,3% | 23,7% | 54,0% | 7,2% | 0,2% | 3,3% |
| 2002 | 18,4% | 11,1% | 4,1% | 24,1% | 53,3% | 6,9% | 0,2% | 3,6% |
| 2003 | 18,3% | 11,8% | 3,8% | 24,4% | 52,6% | 6,7% | 0,1% | 4,0% |
| 2004 | 18,3% | 12,6% | 3,6% | 24,7% | 51,8% | 6,5% | 0,1% | 4,5% |
| 2005 | 18,3% | 13,5% | 3,4% | 25,0% | 51,1% | 6,2% | 0,1% | 5,0% |
| 2006 | 18,2% | 14,4% | 3,2% | 25,4% | 50,4% | 6,0% | 0,1% | 5,5% |
| 2007 | 18,2% | 15,3% | 3,0% | 25,7% | 49,6% | 5,8% | 0,1% | 6,1% |
| 2008 | 18,1% | 16,3% | 2,8% | 26,1% | 48,9% | 5,6% | 0,1% | 6,7% |
| 2009 | 18,1% | 17,3% | 2,7% | 26,4% | 48,2% | 5,4% | 0,0% | 7,4% |
| 2010 | 18,1% | 18,4% | 2,5% | 26,8% | 47,4% | 5,3% | 0,0% | 8,2% |
| 2011 | 18,0% | 19,6% | 2,4% | 27,1% | 46,7% | 5,1% | 0,0% | 9,1% |
| 2012 | 18,0% | 20,8% | 2,2% | 27,5% | 46,0% | 4,9% | 0,0% | 10,0% |
| 2013 | 17,9% | 22,0% | 2,1% | 27,8% | 45,2% | 4,7% | 0,0% | 11,0% |
| 2014 | 17,9% | 23,3% | 2,0% | 28,2% | 44,5% | 4,6% | 0,0% | 12,1% |
| 2015 | 17,8% | 24,7% | 1,9% | 28,5% | 43,8% | 4,4% | 0,0% | 13,3% |
| 2016 | 17,8% | 26,1% | 1,8% | 28,9% | 43,1% | 4,3% | 0,0% | 14,6% |
| 2017 | 17,7% | 27,6% | 1,6% | 29,3% | 42,4% | 4,1% | 0,0% | 16,0% |
| 2018 | 17,7% | 29,1% | 1,5% | 29,6% | 41,6% | 4,0% | 0,0% | 17,6% |

Из нее можно сделать несколько выводов. Во-первых, согласно спрогнозированным данным, некоторые страны пойдут по пути увеличения доли используемых возобновляемых энергоресурсов, как то Германия, США и Великобритания, при том довольно быстрыми темпами. Канада же значительно сократит использование возобновляемых источников при производстве энергии. Что касается остальных стран, то произойдет аналогичное уменьшение доли возобновляемых источником, но более медленными темпами. Во-вторых, бесспорными лидерами по использованию возобновляемых источников станут Германия и США (29%), и будут лишь укрепляться в этих позициях. Далее идут Россия и Англия (18%), но в России этот процент будет снижаться, а в Англии – увеличиваться. Япония, Франция и Италия же отличаются тем, что в этих странах процент использования возобновляемых источников энергии невелик – менее 5%.

* 1. **Моделирование населения России по различным возрастным категориям.**

Далее было рассмотрено население России в разбивке по следующим возрастным категориям: до 20 лет, от 20 до 60 лет и старше 60 лет. Далее приводится подробный анализ для статистики по России, приведенной Госкомстатом. Статистики была собрана за период 1989-2010гг.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Года | 0-19 | 20-59 | более 60 |
| 1989 | 43952 | 80469 | 22516 |
| 1990 | 44166 | 80236 | 23263 |
| 1991 | 44083 | 80042 | 24390 |
| 1992 | 43710 | 80089 | 24762 |
| 1993 | 43229 | 80456 | 24670 |
| 1994 | 42881 | 81076 | 24504 |
| 1995 | 42343 | 81292 | 24657 |
| 1996 | 41625 | 81378 | 25025 |
| 1997 | 40895 | 81198 | 25709 |
| 1998 | 40109 | 81065 | 26366 |
| 1999 | 39192 | 80855 | 26843 |
| 2000 | 38239 | 80999 | 27066 |
| 2001 | 37368 | 81155 | 27126 |
| 2002 | 36547 | 81701 | 26797 |
| 2003 | 36350 | 82033 | 26581 |
| 2004 | 35191 | 83318 | 25659 |
| 2005 | 34113 | 84495 | 24866 |
| 2006 | 33070 | 85404 | 24280 |
| 2007 | 31970 | 85961 | 24290 |
| 2008 | 31031 | 86491 | 24487 |
| 2009 | 30353 | 86880 | 24671 |
| 2010 | 29897 | 86830 | 25187 |

На основе имеющихся эмпирических данных было построено с помощью программы «EconomicForecast» две модели на основе вероятностных цепочек: с логистическим ростом и линейно-логарифмических и построен прогноз на следующие 8 лет, а также проведен анализ полученных данных для динамики активного населения России.

*Логистическая вероятностная цепочка*

Доля одной из возрастных групп может быть взята за стандарт. Поскольку в приведенной таблице они разбиты на 3 группы, то таких вариантов тоже может быть три. В таблице ниже приведены три различных вариантов расчета относительных приращений долей групп населения в зависимости от выбранного стандарта.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| прирост/ст. | 0-19 | 20-59 | более 60 |
| 0-19 | 1 | 0,981 | 0,976 |
| 20-59 | 1,025 | 1 | 0,998 |
| более 60 | 1,023 | 1,001 | 1 |

Из данной таблицы можно сделать следующий вывод. Какую бы возрастную группу не выбрали за стандарт, в каждом из случаев будет происходить отрицательный прирост доли населения в возрасте младше 20 лет и положительный прирост доли населения в возрасте старше 60 лет.

На основе полученных значений можно вычислить матрицу взаимного влияния для логистической вероятностной цепочки. Приведем матрицу взаимного влияния в случае, когда доля населения в возрасте 0-19 лет принята за стандарт, поскольку этот вариант отличается наибольшим коэффициентом корреляции между эмпирической динамикой и динамикой с логистическим ростом (R = 0,999781647328229). Из данных в матрице взаимного влияния можно сделать вывод, что доля населения в возрасте младше 20 лет оказывает положительное воздействие на прирост доли остальных возрастных групп, а доля населения старше 60 оказывает отрицательное воздействие на все остальные группы.

Подсчитав коэффициенты корреляции между эмпирической динамикой и построенной динамикой с логистическим ростам по всем видам источников энергии, можно заметить, что наименьший коэффициент корреляции равен 0, 0,99972214096457 в случае, когда возрастная группа 20-59 взята за стандарт. Это означает, что построенная модель довольно точна даже в этом случае, но если выбрать в качестве стандарта возрастную группу 0-19, то эта точность лишь увеличиться, поэтому при дальнейших вычислениях будем пользоваться этим вариантом.

Далее представлена таблица экстраполяции на следующие 8 лет, т.е. на интервал с 2011 по 2018, график эмпирической динамики и график интерполяции и экстраполяции динамики.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Года | 0-19 | 20-59 | более 60 |
| 1989 | 0,308 | 0,533328 | 0,158672 |
| 1990 | 0,303198 | 0,536746 | 0,160055 |
| 1991 | 0,298439 | 0,540128 | 0,161432 |
| 1992 | 0,293723 | 0,543473 | 0,162804 |
| 1993 | 0,28905 | 0,54678 | 0,16417 |
| 1994 | 0,284422 | 0,550049 | 0,165529 |
| 1995 | 0,279838 | 0,553279 | 0,166882 |
| 1996 | 0,2753 | 0,556471 | 0,168229 |
| 1997 | 0,270807 | 0,559623 | 0,16957 |
| 1998 | 0,266361 | 0,562736 | 0,170903 |
| 1999 | 0,261961 | 0,565809 | 0,17223 |
| 2000 | 0,257608 | 0,568842 | 0,17355 |
| 2001 | 0,253303 | 0,571835 | 0,174862 |
| 2002 | 0,249045 | 0,574788 | 0,176167 |
| 2003 | 0,244835 | 0,5777 | 0,177465 |
| 2004 | 0,240673 | 0,580571 | 0,178756 |
| 2005 | 0,23656 | 0,583402 | 0,180038 |
| 2006 | 0,232495 | 0,586191 | 0,181313 |
| 2007 | 0,228479 | 0,58894 | 0,182581 |
| 2008 | 0,224512 | 0,591648 | 0,18384 |
| 2009 | 0,220594 | 0,594314 | 0,185091 |
| 2010 | 0,216725 | 0,59694 | 0,186335 |
| 2011 | 0,212906 | 0,599525 | 0,18757 |
| 2012 | 0,209135 | 0,602068 | 0,188797 |
| 2013 | 0,205414 | 0,604571 | 0,190016 |
| 2014 | 0,201741 | 0,607032 | 0,191226 |
| 2015 | 0,198118 | 0,609453 | 0,192428 |
| 2016 | 0,194544 | 0,611834 | 0,193622 |
| 2017 | 0,191019 | 0,614173 | 0,194808 |
| 2018 | 0,187543 | 0,616472 | 0,195984 |

Из полученных данных можно сделать вывод, что в России в ближайшие 8 лет будет наблюдаться сокращение доли населения 0-19 лет, что дальнейшем неизбежно приведет к уменьшению активного населения. Так же будет наблюдаться увеличение доли населения старше 60 лет и доли активного населения (20-59).

*Логарифмически-линейная вероятностная цепочка*

Теперь будем решать ту же самую задачу, но с использованием модели, основанной на логарифмически-линейной вероятностной цепочке. Прежде чем исследовать динамику взаимных долей, необходимо удостовериться в том, что выполняются предпосылки регрессионного анализа.

1. По критерию Шапиро-Уилкса получаем, что остатки не распределены нормально для любого из уравнений системы. Следовательно, мы не можем рассматривать ни один из них.

Это можно пронаблюдать для любой возрастной группы, взятой в качестве стандарта. Таким образом, предпосылки регрессионного анализа не выполняются, и мы не можем проводить дальнейшие исследования этой модели.

* 1. **Моделирование доли выбросов СО2 по странам Большой Восьмерки**

Следующим важным показателем, который был рассмотрен в данной работе – это доля выбросов СО2 в атмосферу по странам Большой Восьмерки. Данная статистика была собрана по данным Всемирного Банка за 1992-2009гг.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Года | Россия | Италия | Япония | Франция | Германия | Англия | Америка | Канада |
| 1992 | 2,10% | 0,39% | 0,43% | 0,36% | 0,54% | 0,60% | 0,78% | 0,82% |
| 1993 | 2,07% | 0,39% | 0,41% | 0,35% | 0,52% | 0,56% | 0,78% | 0,81% |
| 1994 | 2,03% | 0,36% | 0,43% | 0,32% | 0,49% | 0,52% | 0,75% | 0,72% |
| 1995 | 2,00% | 0,36% | 0,41% | 0,33% | 0,47% | 0,49% | 0,71% | 0,69% |
| 1996 | 2,00% | 0,34% | 0,40% | 0,33% | 0,47% | 0,48% | 0,69% | 0,68% |
| 1997 | 1,85% | 0,34% | 0,39% | 0,29% | 0,45% | 0,42% | 0,67% | 0,66% |
| 1998 | 1,89% | 0,33% | 0,38% | 0,30% | 0,43% | 0,41% | 0,62% | 0,67% |
| 1999 | 1,77% | 0,32% | 0,38% | 0,26% | 0,40% | 0,38% | 0,59% | 0,62% |
| 2000 | 1,56% | 0,31% | 0,37% | 0,24% | 0,39% | 0,35% | 0,58% | 0,61% |
| 2001 | 1,45% | 0,29% | 0,36% | 0,24% | 0,39% | 0,34% | 0,55% | 0,58% |
| 2002 | 1,34% | 0,29% | 0,35% | 0,22% | 0,37% | 0,31% | 0,53% | 0,55% |
| 2003 | 1,20% | 0,30% | 0,35% | 0,23% | 0,36% | 0,30% | 0,51% | 0,56% |
| 2004 | 1,09% | 0,30% | 0,34% | 0,22% | 0,34% | 0,28% | 0,49% | 0,53% |
| 2005 | 0,95% | 0,29% | 0,32% | 0,21% | 0,32% | 0,27% | 0,46% | 0,50% |
| 2006 | 0,78% | 0,26% | 0,30% | 0,19% | 0,29% | 0,26% | 0,43% | 0,46% |
| 2007 | 0,70% | 0,24% | 0,29% | 0,18% | 0,27% | 0,24% | 0,42% | 0,44% |
| 2008 | 0,60% | 0,22% | 0,28% | 0,17% | 0,26% | 0,24% | 0,40% | 0,42% |
| 2009 | 0,59% | 0,21% | 0,27% | 0,17% | 0,25% | 0,22% | 0,38% | 0,40% |

На основе имеющихся эмпирических данных целью было построить с помощью программы «EconomicForecast» две модели на основе вероятностных цепочек: с логистическим ростом и линейно-логарифмических и построить прогноз на следующие 8 лет и провести сравнительный анализ полученных данных, сравнив полученные цифры для России с другими странами G8.

*Логистическая вероятностная цепочка*

Доля выбросов СО2 одной из стран Большой Восьмерки может быть взята за стандарт. Поскольку стран восемь, то таких вариантов тоже может быть восемь. В таблице ниже приведены восемь различных вариантов расчета относительных приращений долей выбросов СО2 в зависимости от выбранного стандарта.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | ст. | Россия | Италия | Япония | Франция | Германия | Англия | Америка | Канада |
| прирост |  |
| Россия | | 1 | 0,972 | 0,965 | 0,979 | 0,977 | 0,988 | 0,975 | 0,977 |
| Италия | | 1,042 | 1 | 0,989 | 1,006 | 1,005 | 1,016 | 1,003 | 1,003 |
| Япония | | 1,058 | 1,010 | 1 | 1,016 | 1,016 | 1,026 | 1,014 | 1,013 |
| Франция | | 1,037 | 0,990 | 0,978 | 1 | 0,997 | 1,011 | 0,994 | 0,995 |
| Германия | | 1,038 | 0,993 | 0,982 | 1,001 | 1 | 1,012 | 0,997 | 0,997 |
| Англия | | 1,022 | 0,975 | 0,964 | 0,986 | 0,984 | 1 | 0,981 | 0,982 |
| Америка | | 1,042 | 0,995 | 0,985 | 1,003 | 1,002 | 1,014 | 1 | 1,000 |
| Канада | | 1,042 | 0,995 | 0,983 | 1,003 | 1,002 | 1,014 | 0,999 | 1 |

Из данной таблицы можно сделать следующий вывод. Какая бы страна не была выбрана за стандарт, в каждом из случаев будет происходить отрицательный прирост доли выбросов СО2 в России. Аналогично можно заключить, что при любом выбранном стандарте будет иметь место положительный прирост доли выбросов СО2 Японии.

На основе полученных значений можно вычислить матрицу взаимного влияния для логистической вероятностной цепочки. Приведем матрицу взаимного влияния в случае, когда доля выбросов СО2 России принята за стандарт, поскольку этот вариант отличается наибольшим коэффициентом корреляции между эмпирической динамикой и динамикой с логистическим ростом (R = 0,997761707054002). Из данных в матрице взаимного влияния можно сделать вывод, что относительное приращение доли выбросов СО2 России испытывает отрицательное входное воздействие со стороны любой из оставшихся стран, а Япония, напротив, положительное входное воздействие со стороны остальных стран Большой Восьмерки. Так же доля выбросов СО2 Японии оказывает отрицательное воздействие на прирост доли доли выбросов СО2 в оставшихся странах.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Россия | Италия | Япония | Франция | Германия | Англия | Америка | Канада |
|
| Россия | 0 | -0,042 | -0,058 | -0,037 | -0,038 | -0,022 | -0,042 | -0,042 |
| Италия | 0,04 | 0 | -0,016 | 0,004 | 0,003 | 0,019 | 0 | -0,001 |
| Япония | 0,055 | 0,015 | 0 | 0,019 | 0,018 | 0,034 | 0,015 | 0,015 |
| Франция | 0,036 | -0,004 | -0,02 | 0 | -0,001 | 0,015 | -0,004 | -0,005 |
| Германия | 0,037 | -0,003 | -0,019 | 0,001 | 0 | 0,016 | -0,003 | -0,004 |
| Англия | 0,022 | -0,019 | -0,035 | -0,015 | -0,016 | 0 | -0,019 | -0,02 |
| Америка | 0,04 | 0 | -0,016 | 0,004 | 0,003 | 0,019 | 0 | -0,001 |
| Канада | 0,041 | 0,001 | -0,015 | 0,005 | 0,004 | 0,02 | 0,001 | 0 |

Подсчитав коэффициенты корреляции между эмпирической динамикой и построенной динамикой с логистическим ростам по всем странам Большой Восьмерки, можно заметить, что наименьший коэффициент корреляции равен 0,996555583987031 в случае, когда Япония взята за стандарт. Это означает, что построенная модель довольно точна даже в этом случае, но если выбрать в качестве стандарта Россию, то эта точность лишь увеличиться, поэтому при дальнейших вычислениях будем пользоваться этим вариантом.

Далее представлена таблица интерполяции, экстраполяции на следующие 8 лет, т.е. на интервал с 2010 по 2017, график эмпирической динамики и график интерполяции и экстраполяции динамики.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Года | Россия | Италия | Япония | Франция | Германия | Англия | Америка | Канада |
| 1992 | 0,3966 | 0,0661 | 0,0667 | 0,0549 | 0,0829 | 0,0893 | 0,1193 | 0,1242 |
| 1993 | 0,3873 | 0,0672 | 0,0689 | 0,0557 | 0,0841 | 0,0891 | 0,1214 | 0,1264 |
| 1994 | 0,3780 | 0,0683 | 0,0711 | 0,0564 | 0,0852 | 0,0889 | 0,1234 | 0,1286 |
| 1995 | 0,3688 | 0,0694 | 0,0734 | 0,0571 | 0,0864 | 0,0886 | 0,1254 | 0,1308 |
| 1996 | 0,3597 | 0,0705 | 0,0757 | 0,0577 | 0,0875 | 0,0883 | 0,1274 | 0,1330 |
| 1997 | 0,3507 | 0,0716 | 0,0781 | 0,0584 | 0,0886 | 0,0880 | 0,1294 | 0,1352 |
| 1998 | 0,3418 | 0,0727 | 0,0805 | 0,0590 | 0,0896 | 0,0877 | 0,1313 | 0,1373 |
| 1999 | 0,3329 | 0,0738 | 0,0830 | 0,0597 | 0,0907 | 0,0873 | 0,1333 | 0,1394 |
| 2000 | 0,3242 | 0,0748 | 0,0855 | 0,0603 | 0,0917 | 0,0869 | 0,1352 | 0,1415 |
| 2001 | 0,3156 | 0,0759 | 0,0880 | 0,0609 | 0,0927 | 0,0864 | 0,1370 | 0,1436 |
| 2002 | 0,3070 | 0,0769 | 0,0906 | 0,0614 | 0,0936 | 0,0859 | 0,1389 | 0,1456 |
| 2003 | 0,2986 | 0,0779 | 0,0932 | 0,0620 | 0,0946 | 0,0854 | 0,1407 | 0,1477 |
| 2004 | 0,2903 | 0,0789 | 0,0958 | 0,0625 | 0,0955 | 0,0849 | 0,1425 | 0,1496 |
| 2005 | 0,2821 | 0,0798 | 0,0985 | 0,0630 | 0,0964 | 0,0843 | 0,1442 | 0,1516 |
| 2006 | 0,2741 | 0,0808 | 0,1012 | 0,0635 | 0,0972 | 0,0837 | 0,1459 | 0,1535 |
| 2007 | 0,2662 | 0,0817 | 0,1040 | 0,0640 | 0,0980 | 0,0831 | 0,1476 | 0,1554 |
| 2008 | 0,2584 | 0,0826 | 0,1068 | 0,0645 | 0,0988 | 0,0824 | 0,1492 | 0,1572 |
| 2009 | 0,2507 | 0,0835 | 0,1096 | 0,0649 | 0,0996 | 0,0817 | 0,1508 | 0,1590 |
| 2010 | 0,2432 | 0,0844 | 0,1125 | 0,0653 | 0,1003 | 0,0810 | 0,1524 | 0,1608 |
| 2011 | 0,2359 | 0,0852 | 0,1154 | 0,0657 | 0,1010 | 0,0803 | 0,1539 | 0,1626 |
| 2012 | 0,2286 | 0,0860 | 0,1183 | 0,0661 | 0,1017 | 0,0796 | 0,1554 | 0,1643 |
| 2013 | 0,2215 | 0,0868 | 0,1212 | 0,0664 | 0,1024 | 0,0788 | 0,1569 | 0,1659 |
| 2014 | 0,2146 | 0,0876 | 0,1242 | 0,0668 | 0,1030 | 0,0780 | 0,1583 | 0,1675 |
| 2015 | 0,2078 | 0,0884 | 0,1273 | 0,0671 | 0,1035 | 0,0772 | 0,1596 | 0,1691 |
| 2016 | 0,2012 | 0,0891 | 0,1303 | 0,0674 | 0,1041 | 0,0764 | 0,1610 | 0,1706 |
| 2017 | 0,1947 | 0,0898 | 0,1334 | 0,0676 | 0,1046 | 0,0756 | 0,1622 | 0,1721 |

Можно заметить, что в данном случае эта модель является довольно неплохим приближением действительности. Можно заключить, что единственная страна, в которой доля выбросов СО2 будет значительно падать с годами, это Россия. В остальных же странах этот показатель будет незначительно расти.

*Логарифмически-линейная вероятностная цепочка*

Теперь будем решать ту же самую задачу, но с использованием модели, основанной на логарифмически-линейной вероятностной цепочке. Прежде чем исследовать динамику взаимных долей, необходимо удостовериться в том, что выполняются предпосылки регрессионного анализа. Проведем эту процедуру аналогично с предыдущей моделью, когда Россия принята за станадрт.

1. По критерию Шапиро-Уилкса получаем, что остатки нормально распределены для всех уравнений системы, кроме третьего, следовательно, рассматриваем их все за исключением третьего.
2. По t-критерию Стьюдента принимается гипотеза о равенстве нулю математического ожидания остатков всех рассматриваемых уравнений.
3. Метод рядов для остатков данного уравнения позволяет сказать, что для всех уравнения принимается гипотеза об отсутствии автокорреляции.
4. Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена между остатками любого уравнения и объясняющими переменными являются незначимыми, что говорит об отсутствии гетероскедастичности.

Таким образом, с Россией в качестве стандарта можно проводить дальнейшие исследования для доли выбросов СО2 для всех остальных стран Большой Восьмерки, кроме Японии.

С помощью приложения найдена оценка матрицы неизвестных коэффициентов для логарифмически-линейной вероятностной цепочки.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | 5,333 | 2,226 | 3,459 | 2,636 | 2,277 | 2,478 | 0,158 |
|  |  | 1,001 | 0,242 | 0,792 | 0,441 | 0,803 | 0,386 | 0,585 |
|  |  | 3,548 | 2,497 | 2,293 | 2,293 | 1,658 | 2,284 | 1,168 |
| |  | | --- | |  | | = | 2,452 | 1,462 | 1,797 | 1,142 | 0,914 | 1,303 | 0,226 |
|  |  | 0,232 | -0,627 | -0,404 | -0,209 | -1,193 | -0,376 | -0,171 |
|  |  | 1,903 | 0,637 | 1,537 | 1,355 | 1,905 | 1,493 | 0,578 |
|  |  | 2,389 | 1,372 | 2,710 | 1,280 | 1,670 | 1,198 | -0,543 |
|  |  | 3,352 | 2,256 | 1,900 | 2,067 | 1,883 | 2,081 | 1,046 |

А также коэффициенты суммарные преимущества для всех стран, кроме России:

= 13171,117

= 257642083,943

= 529144486856,966

=1617666176,434

= 158790471,315

*= 2197574784,229*

*= 600,937*

Для оценки значимости коэффициентов уравнений проведем t-тест Стьюдента. Согласно его результатам значимыми являются следующие коэффициенты:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | коэффициент | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| уравнение |  |
| 2 | |  |  | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 4 | |  | ● | ● |  |  | ● | ● |  |
| 5 | |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 6 | |  |  |  |  |  | ● |  |  |
| 7 | |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 8 | |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | |  |  |  |  |  |  |  |  |

Результаты F-тесты Фишера говорят о статистической значимости всех уравнений системы и системы в целом.

Соответственно, для вышеназванных коэффициентов (для уравнений доли выбросов СО2 для Италии, Франции и Англии) можно делать выводы и выявлять закономерности динамики в логарифмически-линейной модели. Итак, экстраполяция динамики на ближайшие 8 лет логарифмически-линейными вероятностными цепочками выглядит следующим образом:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Года | Россия | Италия | Япония | Франция | Германия | Англия | Америка | Канада |
| 1993 | 0,352515 | 0,065333 | 0,072254 | 0,058273 | 0,08853 | 0,094693 | 0,13475 | 0,133651 |
| 1994 | 0,364117 | 0,063647 | 0,073134 | 0,059829 | 0,087419 | 0,092447 | 0,130572 | 0,128835 |
| 1995 | 0,368371 | 0,064854 | 0,074072 | 0,0593 | 0,087179 | 0,088476 | 0,130377 | 0,127369 |
| 1996 | 0,374255 | 0,064464 | 0,074892 | 0,058831 | 0,086258 | 0,08552 | 0,127707 | 0,128073 |
| 1997 | 0,375578 | 0,064688 | 0,076579 | 0,057148 | 0,086248 | 0,082949 | 0,127093 | 0,129717 |
| 1998 | 0,374713 | 0,064751 | 0,07831 | 0,055786 | 0,086708 | 0,081052 | 0,126596 | 0,132083 |
| 1999 | 0,371498 | 0,065316 | 0,080242 | 0,05458 | 0,087522 | 0,079369 | 0,126859 | 0,134616 |
| 2000 | 0,366693 | 0,066197 | 0,082294 | 0,053838 | 0,088447 | 0,078019 | 0,127281 | 0,137231 |
| 2001 | 0,35949 | 0,067698 | 0,084622 | 0,053515 | 0,089568 | 0,077026 | 0,128223 | 0,139857 |
| 2002 | 0,349392 | 0,069908 | 0,087243 | 0,053787 | 0,090907 | 0,076542 | 0,129684 | 0,142538 |
| 2003 | 0,335819 | 0,073005 | 0,0902 | 0,054729 | 0,092485 | 0,076653 | 0,131842 | 0,145268 |
| 2004 | 0,31901 | 0,076851 | 0,093425 | 0,056373 | 0,094189 | 0,077416 | 0,134624 | 0,148111 |
| 2005 | 0,300163 | 0,080941 | 0,096801 | 0,058508 | 0,095816 | 0,078762 | 0,137861 | 0,151148 |
| 2006 | 0,281443 | 0,084363 | 0,10017 | 0,060697 | 0,097155 | 0,080494 | 0,141238 | 0,154439 |
| 2007 | 0,264924 | 0,086382 | 0,103457 | 0,062442 | 0,098177 | 0,082311 | 0,144523 | 0,157783 |
| 2008 | 0,251819 | 0,086906 | 0,106599 | 0,063499 | 0,099004 | 0,083871 | 0,147543 | 0,160758 |
| 2009 | 0,242409 | 0,086424 | 0,109506 | 0,063944 | 0,099737 | 0,084859 | 0,150114 | 0,163006 |
| 2010 | 0,236304 | 0,085584 | 0,112123 | 0,063995 | 0,100382 | 0,085099 | 0,152055 | 0,164458 |
| 2011 | 0,232664 | 0,084874 | 0,114482 | 0,063832 | 0,100908 | 0,084611 | 0,153292 | 0,165335 |
| 2012 | 0,230582 | 0,08445 | 0,116664 | 0,063514 | 0,101287 | 0,083564 | 0,153877 | 0,166061 |
| 2013 | 0,22932 | 0,084217 | 0,118776 | 0,062992 | 0,101537 | 0,08217 | 0,153969 | 0,16702 |
| 2014 | 0,228476 | 0,083961 | 0,120896 | 0,062186 | 0,101708 | 0,080593 | 0,153739 | 0,168442 |
| 2015 | 0,227945 | 0,083502 | 0,123061 | 0,061048 | 0,101858 | 0,078914 | 0,153323 | 0,170347 |
| 2016 | 0,227845 | 0,082747 | 0,125259 | 0,059588 | 0,10202 | 0,077135 | 0,152766 | 0,17264 |
| 2017 | 0,228346 | 0,081701 | 0,127465 | 0,05785 | 0,102196 | 0,075221 | 0,152053 | 0,175167 |

Далее представлены график эмпирической динамики и график интерполяции и экстраполяции динамики.

Эта модель оказывается более приближенной к эмпирической динамике, чем логистическая. По полученным данным можно строить выводы только относительно Италии, Франции и Англии. В построенной модели доли выбросов для этих стран останутся приблизительно на том же уровне и можно пронаблюдать незначительное уменьшение.

* 1. **Моделирование доли ВВП, выделяемой на здравоохранение по странам Большой Восьмерки**

Еще одним важным социально-экономическим фактором является доля ВВП, которая тратится страной на здравоохранение по странам Большой Восьмерки. Данная статистика была собрана по данным Всемирного Банка за 1995-2010гг.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Года | Россия | Италия | Япония | Франция | Германия | Англия | Америка | Канада |
| 1995 | 7,70% | 10,46% | 9,92% | 14,95% | 14,55% | 9,85% | 19,55% | 13,04% |
| 1996 | 7,91% | 10,56% | 10,08% | 14,84% | 14,85% | 9,80% | 19,32% | 12,64% |
| 1997 | 9,97% | 10,79% | 9,85% | 14,42% | 14,40% | 9,35% | 18,82% | 12,39% |
| 1998 | 9,27% | 10,87% | 10,26% | 14,25% | 14,40% | 9,41% | 18,81% | 12,72% |
| 1999 | 8,16% | 11,01% | 10,67% | 14,35% | 14,57% | 9,78% | 18,88% | 12,59% |
| 2000 | 7,62% | 11,39% | 10,86% | 14,23% | 14,53% | 9,95% | 18,94% | 12,49% |
| 2001 | 7,73% | 11,23% | 10,87% | 13,95% | 14,28% | 9,94% | 19,25% | 12,74% |
| 2002 | 7,89% | 11,05% | 10,56% | 13,95% | 14,10% | 10,06% | 19,65% | 12,75% |
| 2003 | 7,26% | 10,88% | 10,54% | 14,19% | 14,07% | 10,15% | 19,07% | 13,85% |
| 2004 | 6,78% | 11,37% | 10,57% | 14,46% | 13,90% | 10,53% | 19,28% | 13,12% |
| 2005 | 6,81% | 11,29% | 10,73% | 14,59% | 14,05% | 10,85% | 19,35% | 12,33% |
| 2006 | 6,76% | 11,43% | 10,43% | 14,13% | 13,55% | 10,80% | 20,20% | 12,70% |
| 2007 | 6,87% | 11,04% | 10,46% | 14,15% | 13,38% | 10,75% | 20,52% | 12,83% |
| 2008 | 6,05% | 11,27% | 10,66% | 14,02% | 13,39% | 11,09% | 20,68% | 12,84% |
| 2009 | 6,41% | 10,85% | 10,94% | 13,68% | 13,49% | 11,26% | 20,26% | 13,11% |
| 2010 | 5,87% | 11,03% | 10,98% | 13,75% | 13,46% | 11,15% | 20,70% | 13,07% |

На основе имеющихся эмпирических данных целью было построить с помощью программы «EconomicForecast» две модели на основе вероятностных цепочек: с логистическим ростом и линейно-логарифмических и построить прогноз на следующие 8 лет и провести сравнительный анализ полученных данных, сравнив полученные цифры для России с другими странами G8.

*Логистическая вероятностная цепочка*

Доля здравоохранения от ВВП одной из стран Большой Восьмерки может быть взята за стандарт. Поскольку стран восемь, то таких вариантов тоже может быть восемь. В таблице ниже приведены восемь различных вариантов расчета относительных приращений долей здравоохранения от ВВП в зависимости от выбранного стандарта.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | ст. | Россия | Италия | Япония | Франция | Германия | Англия | Америка | Канада |
| прирост |  |
| Россия | | 1 | 0,977 | 0,974 | 0,985 | 0,984 | 0,984 | 0,978 | 0,980 |
| Италия | | 1,020 | 1 | 0,996 | 1,008 | 1,008 | 1,008 | 0,999 | 1,002 |
| Япония | | 1,025 | 1,003 | 1 | 1,012 | 1,012 | 1,012 | 1,002 | 1,005 |
| Франция | | 1,011 | 0,990 | 0,987 | 1 | 0,999 | 0,999 | 0,991 | 0,994 |
| Германия | | 1,011 | 0,991 | 0,988 | 1,000 | 1 | 1,000 | 0,991 | 0,994 |
| Англия | | 1,028 | 1,005 | 1,001 | 1,014 | 1,014 | 1 | 1,004 | 1,007 |
| Америка | | 1,024 | 1,000 | 0,996 | 1,010 | 1,009 | 1,009 | 1 | 1,003 |
| Канада | | 1,018 | 0,995 | 0,992 | 1,005 | 1,005 | 1,005 | 0,996 | 1 |

Из данной таблицы можно сделать следующий вывод. Какая бы страна не была выбрана за стандарт, в каждом из случаев будет происходить отрицательный прирост доли здравоохранения в России. Аналогично можно заключить, что при любом выбранном стандарте будет иметь место положительный прирост доли здравоохранения от ВВП в Японии и Англии.

На основе полученных значений можно вычислить матрицу взаимного влияния для логистической вероятностной цепочки. Приведем матрицу взаимного влияния в случае, когда доля здравоохранения Франции принята за стандарт, поскольку этот вариант отличается наибольшим коэффициентом корреляции между эмпирической динамикой и динамикой с логистическим ростом (R = 0,999631008466746). Из данных в матрице взаимного влияния можно сделать вывод, что относительное приращение доли здравоохранения России испытывает отрицательное входное воздействие со стороны любой из оставшихся стран, а Англия, напротив, положительное входное воздействие со стороны остальных стран Большой Восьмерки. Так же доля здравоохранения Англии оказывает отрицательное воздействие на прирост доли здравоохранения в оставшихся странах.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Россия | Италия | Япония | Франция | Германия | Англия | Америка | Канада |
|
| Россия | 0 | -0,024 | -0,027 | -0,015 | -0,016 | -0,03 | -0,025 | -0,021 |
| Италия | 0,023 | 0 | -0,004 | 0,008 | 0,008 | -0,006 | -0,001 | 0,003 |
| Япония | 0,027 | 0,004 | 0 | 0,012 | 0,011 | -0,002 | 0,002 | 0,007 |
| Франция | 0,015 | -0,008 | -0,012 | 0 | 0 | -0,014 | -0,01 | -0,005 |
| Германия | 0,015 | -0,008 | -0,012 | 0 | 0 | -0,014 | -0,009 | -0,005 |
| Англия | 0,029 | 0,006 | 0,002 | 0,014 | 0,014 | 0 | 0,005 | 0,009 |
| Америка | 0,024 | 0,001 | -0,002 | 0,009 | 0,009 | -0,005 | 0 | 0,004 |
| Канада | 0,02 | -0,003 | -0,007 | 0,005 | 0,005 | -0,009 | -0,004 | 0 |

Подсчитав коэффициенты корреляции между эмпирической динамикой и построенной динамикой с логистическим ростам по всем странам Большой Восьмерки, можно заметить, что наименьший коэффициент корреляции равен 0,999606771968367 в случае, когда Америка взята за стандарт. Это означает, что построенная модель довольно точна даже в этом случае, но если выбрать в качестве стандарта Францию, то эта точность лишь увеличиться, поэтому при дальнейших вычислениях будем пользоваться этим вариантом.

Далее представлена таблица интерполяции, экстраполяции на следующие 8 лет, т.е. на интервал с 2011 по 2018, график эмпирической динамики и график интерполяции и экстраполяции динамики.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Года | Россия | Италия | Япония | Франция | Германия | Англия | Америка | Канада |
| 1995 | 8,64% | 10,76% | 9,98% | 14,76% | 14,55% | 9,60% | 18,90% | 12,81% |
| 1996 | 8,47% | 10,80% | 10,05% | 14,70% | 14,48% | 9,69% | 18,99% | 12,81% |
| 1997 | 8,30% | 10,84% | 10,12% | 14,63% | 14,42% | 9,78% | 19,09% | 12,82% |
| 1998 | 8,14% | 10,87% | 10,19% | 14,56% | 14,36% | 9,88% | 19,18% | 12,82% |
| 1999 | 7,98% | 10,91% | 10,26% | 14,49% | 14,29% | 9,97% | 19,27% | 12,83% |
| 2000 | 7,82% | 10,95% | 10,34% | 14,42% | 14,23% | 10,06% | 19,36% | 12,83% |
| 2001 | 7,66% | 10,98% | 10,41% | 14,35% | 14,16% | 10,15% | 19,45% | 12,83% |
| 2002 | 7,51% | 11,02% | 10,48% | 14,28% | 14,10% | 10,25% | 19,54% | 12,83% |
| 2003 | 7,36% | 11,05% | 10,55% | 14,21% | 14,03% | 10,34% | 19,63% | 12,83% |
| 2004 | 7,21% | 11,08% | 10,62% | 14,14% | 13,96% | 10,43% | 19,71% | 12,83% |
| 2005 | 7,07% | 11,12% | 10,69% | 14,07% | 13,90% | 10,53% | 19,80% | 12,83% |
| 2006 | 6,92% | 11,15% | 10,76% | 14,00% | 13,83% | 10,62% | 19,89% | 12,83% |
| 2007 | 6,78% | 11,18% | 10,83% | 13,92% | 13,76% | 10,71% | 19,97% | 12,83% |
| 2008 | 6,65% | 11,22% | 10,90% | 13,85% | 13,69% | 10,81% | 20,06% | 12,83% |
| 2009 | 6,51% | 11,25% | 10,97% | 13,78% | 13,62% | 10,90% | 20,14% | 12,83% |
| 2010 | 6,38% | 11,28% | 11,04% | 13,70% | 13,56% | 11,00% | 20,22% | 12,82% |
| 2011 | 6,25% | 11,31% | 11,11% | 13,63% | 13,49% | 11,09% | 20,31% | 12,82% |
| 2012 | 6,12% | 11,34% | 11,18% | 13,56% | 13,42% | 11,19% | 20,39% | 12,81% |
| 2013 | 5,99% | 11,37% | 11,25% | 13,48% | 13,35% | 11,28% | 20,47% | 12,81% |
| 2014 | 5,87% | 11,40% | 11,32% | 13,41% | 13,28% | 11,38% | 20,55% | 12,80% |
| 2015 | 5,75% | 11,43% | 11,39% | 13,33% | 13,20% | 11,48% | 20,63% | 12,79% |
| 2016 | 5,63% | 11,45% | 11,46% | 13,26% | 13,13% | 11,57% | 20,71% | 12,79% |
| 2017 | 5,51% | 11,48% | 11,53% | 13,18% | 13,06% | 11,67% | 20,79% | 12,78% |
| 2018 | 5,40% | 11,51% | 11,59% | 13,11% | 12,99% | 11,77% | 20,87% | 12,77% |

Можно заметить, что в данном случае эта модель является довольно неплохим приближением действительности. Можно заключить, что страна, в которой доля доля ВВП, выделяемая на здравоохранение, будет расти, это США. В России же этот показатель будет падать. Во всех остальных же странах он останется примерно на неизменном уровне с небольшими колебаниями.

*Логарифмически-линейная вероятностная цепочка*

Теперь будем решать ту же самую задачу, но с использованием модели, основанной на логарифмически-линейной вероятностной цепочке. Прежде чем исследовать динамику взаимных долей, необходимо удостовериться в том, что выполняются предпосылки регрессионного анализа. Проведем эту процедуру аналогично с предыдущей моделью, когда Германия принята за стандарт (в этом случае выполняются предпосылки регрессионного анализа и объяснение получают наибольшее количество взаимосвязей модели).

1. По критерию Шапиро-Уилкса получаем, что остатки нормально распределены для всех уравнений системы, следовательно, рассматриваем их все.
2. По t-критерию Стьюдента принимается гипотеза о равенстве нулю математического ожидания остатков всех рассматриваемых уравнений.
3. Метод рядов для остатков данного уравнения позволяет сказать, что для всех уравнения принимается гипотеза об отсутствии автокорреляции.
4. Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена между остатками любого уравнения и объясняющими переменными являются незначимыми, что говорит об отсутствии гетероскедастичности.

Таким образом, с Германией в качестве стандарта можно проводить дальнейшие исследования для доли здравоохранения для всех остальных стран Большой Восьмерки.

С помощью приложения найдена оценка матрицы неизвестных коэффициентов для логарифмически-линейной вероятностной цепочки.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | -1,328 | 0,932 | -0,533 | 1,155 | 0,294 | 0,741 | 1,198 |
|  | 0,339 | 1,063 | -0,760 | 1,705 | 0,310 | 0,753 | 1,823 |
|  | -5,643 | 1,533 | 0,308 | 0,587 | 1,031 | 0,814 | 0,281 |
|  | -5,799 | 1,908 | -0,820 | 1,796 | 1,190 | 1,019 | -0,640 |
| |  | | --- | |  | | 4,069 | -0,166 | -2,350 | 1,502 | -1,852 | 0,074 | 2,381 |
|  | -0,487 | 1,618 | -0,843 | 2,202 | 0,902 | 1,726 | 2,557 |
|  | -2,343 | 0,980 | -1,555 | 2,082 | 0,198 | 1,504 | 2,678 |
|  | -2,359 | 1,105 | -0,972 | 1,903 | 0,471 | 0,673 | 1,792 |

А также коэффициенты суммарные преимущества для всех стран, кроме Германии:

= 2,13604787

= 167112199,355064

= 2,2387223104787

=465631046243,995

= 243,77479853687

= 6308489,01122381

= 215975782689,657

Для оценки значимости коэффициентов уравнений проведем t-тест Стьюдента. Согласно его результатам значимыми являются следующие коэффициенты:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | коэффициент | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| уравнение |  |
| 1 | |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 | |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 | |  |  |  |  | ● |  |  |  |
| 4 | | ● | ● |  | ● | ● | ● | ● | ● |
| 6 | |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 7  8 | |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | |  |  |  |  |  |  |  |  |

Результаты F-тесты Фишера говорят о статистической значимости четвертого и третьего уравнений и системы в целом.

Соответственно, для вышеназванных коэффициентов (для уравнений доли здравоохранения от ВВП для Японии и Франции) можно делать выводы и выявлять закономерности динамики в логарифмически-линейной модели. Итак, экстраполяция динамики на ближайшие 8 лет логарифмически-линейными вероятностными цепочками выглядит следующим образом:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Года | Россия | Италия | Япония | Франция | Германия | Англия | Америка | Канада |
| 1996 | 0,083931 | 0,107485 | 0,100103 | 0,147626 | 0,146137 | 0,097749 | 0,191466 | 0,125503 |
| 1997 | 0,088953 | 0,108576 | 0,099681 | 0,146068 | 0,143921 | 0,095481 | 0,19056 | 0,126759 |
| 1998 | 0,084639 | 0,109771 | 0,102101 | 0,145935 | 0,144186 | 0,097018 | 0,189828 | 0,126521 |
| 1999 | 0,080416 | 0,111542 | 0,103368 | 0,145357 | 0,143611 | 0,098757 | 0,191095 | 0,125854 |
| 2000 | 0,079501 | 0,111592 | 0,103482 | 0,144619 | 0,142144 | 0,099736 | 0,192373 | 0,126552 |
| 2001 | 0,075966 | 0,111957 | 0,103638 | 0,144754 | 0,140893 | 0,101229 | 0,194066 | 0,127497 |
| 2002 | 0,072988 | 0,11208 | 0,103895 | 0,144908 | 0,139999 | 0,103163 | 0,195575 | 0,127392 |
| 2003 | 0,071115 | 0,112091 | 0,10391 | 0,14458 | 0,138885 | 0,104662 | 0,197466 | 0,127292 |
| 2004 | 0,069618 | 0,111762 | 0,103929 | 0,144078 | 0,137789 | 0,105845 | 0,199241 | 0,127737 |
| 2005 | 0,067808 | 0,111429 | 0,104187 | 0,143591 | 0,136989 | 0,107048 | 0,200732 | 0,128215 |
| 2006 | 0,066485 | 0,111033 | 0,104702 | 0,142843 | 0,136463 | 0,108146 | 0,201891 | 0,128437 |
| 2007 | 0,065544 | 0,110659 | 0,105259 | 0,141867 | 0,135985 | 0,108877 | 0,202915 | 0,128894 |
| 2008 | 0,064727 | 0,110239 | 0,105925 | 0,140892 | 0,135665 | 0,10942 | 0,203576 | 0,129557 |
| 2009 | 0,0639 | 0,109922 | 0,106727 | 0,139958 | 0,135538 | 0,109902 | 0,203936 | 0,130118 |
| 2010 | 0,063376 | 0,10965 | 0,107615 | 0,138957 | 0,135529 | 0,110253 | 0,204072 | 0,130548 |
| 2011 | 0,062978 | 0,109449 | 0,108471 | 0,137964 | 0,135527 | 0,110419 | 0,20411 | 0,131082 |
| 2012 | 0,062623 | 0,109265 | 0,109356 | 0,137052 | 0,135601 | 0,11054 | 0,20396 | 0,131603 |
| 2013 | 0,062283 | 0,10916 | 0,110263 | 0,136188 | 0,135731 | 0,110645 | 0,203724 | 0,132006 |
| 2014 | 0,062093 | 0,109069 | 0,11117 | 0,135313 | 0,135873 | 0,110694 | 0,203438 | 0,132349 |
| 2015 | 0,06191 | 0,10901 | 0,112039 | 0,13447 | 0,135996 | 0,110685 | 0,20315 | 0,13274 |
| 2016 | 0,061737 | 0,108944 | 0,112931 | 0,133663 | 0,136149 | 0,110691 | 0,202799 | 0,133086 |
| 2017 | 0,061574 | 0,108908 | 0,113834 | 0,132853 | 0,136309 | 0,110692 | 0,202452 | 0,133379 |
| 2018 | 0,061479 | 0,108855 | 0,11475 | 0,132018 | 0,136466 | 0,110668 | 0,202096 | 0,133669 |

Итак, можно судить об уменьшении доли здравоохранения в ВВП Франции, но не очень значительного. На его величину оказывают влияние изменение соответствующих долей всех остальных стран.

1. **Приложение 2. Проверка предпосылок регрессионного анализа.**

Чтобы гарантировать построение адекватной модели на основе логарифмически-линейной вероятностной цепочки, необходимо для каждого из уравнений системы (11) проверить следующие предпосылки:

Математическое ожидание случайного отклонения равно нулю, т.е. , где *k* — количество остатков. Это означает, что случайный член не имеет систематического смещения в положительную или отрицательную сторону.

Дисперсия случайных отклонений постоянна, т.е. . Данное условие говорит об отсутствии какой-либо величины, вызывающей большую ошибку, и называется гомоскедастичностью.

Случайные отклонения независимы друг от друга, т.е. . Если это условие не выполняется, имеет место автокорреляция остатков.

Случайные отклонения не зависят от объясняющих переменных, т.е. .

Модель линейна по параметрам.

Этих пяти предпосылок достаточно для получения уравнения регрессии, однако для оценки точности этого уравнения и его параметров необходимо также, чтобы случайные отклонения были распределены согласно нормальному закону.

Перечисленные условия относятся к парной линейной регрессии, однако, они распространяются и на случай множественной регрессии, а, следовательно, и на случай системы внешне не связанных уравнений. Однако, поскольку при оценке матрицы *A* неизвестных коэффициентов методом наименьших квадратов приходится решать матричное уравнение (см. (13)), к указанным предпосылкам добавляются также условия о том, что матрица должна быть неособенной (т.е. ее определитель должен быть отличным от нуля), и о том, что количество наблюдений должно превышать число неизвестных параметров (иначе получение надежных выводов является невозможным).

Условия о линейности модели по параметрам можно опустить в данном случае (ведь модель на основе логарифмически-линейной вероятностной цепочки является таковой по определению), а также о том, что матрица должна быть неособенной — проверка данного свойства естественным образом происходит при нахождении решения матричного уравнения (13). Что касается условия о количестве наблюдений, проверка этой предпосылки не требует сколько-нибудь сложных математических выкладок и производится непосредственно в разработанном программном комплексе до начала работы с данными.

Проверка вышеприведенных условий сводится к проверке соответствующих статистических гипотез. Приведем теперь описание того, как эти процедуры были реализованы в данной работе.

Для проверки нормальности распределения остатков каждого из уравнений регрессии (11) в данной работе используется критерий Шапиро-Уилка, который считается одним из наиболее эффективных критериев проверки нормальности. Этот критерий применяется для выборок размером от 5 до 50 наблюдений. Статистика критерия W выглядит следующим образом:

где — умноженная на *n* выборочная дисперсия, *n* — количество наблюдений (в нашем случае проверяется нормальность распределения остатков, поэтому здесь и далее, где тестируются остатки, в качестве размера выборки берется T), , — значения проверяемой переменной (в данном случае — остатков), упорядоченные по возрастанию, — коэффициенты из специальной таблицы.

Если статистика то нулевая гипотеза о нормальности распределения отклоняется на уровне значимости α. Если , то гипотеза о нормальности распределения принимается. — критические значения статистики также находятся из специальных таблиц. Все используемые в работе таблицы критических значений приведены в разработанной программе.

Поскольку нахождение коэффициентов из таблиц не всегда является удобным, особенно если размер выборки велик, существует следующая аппроксимация критерия Шапиро-Уилка:

где по-прежнему представляет собой умноженную на n выборочную дисперсию, n — количество наблюдений, — упорядоченные по возрастанию значения проверяемой переменной.

В этом случае нулевая гипотеза о нормальности распределения отклоняется на уровне значимости 0.05, если , и принимается в противном случае. В данной работе указанная аппроксимация применяется для выборок, в которых число наблюдений превышает 50.

Убедившись в том, что остатки в уравнениях (11) распределены согласно нормальному закону, можно осуществить проверку того, что их математическое ожидание равно нулю, с помощью t-критерия Стьюдента. Тестовая статистика этого критерия в случае с неизвестной дисперсией имеет вид

где — выборочная дисперсия, — среднее арифметическое выборки, — размер выборки, . В данном случае в качестве выборки рассматривается последовательность ошибок уравнения регрессии за каждый год из исследуемого промежутка времени, а . Такая тестовая статистика распределена по закону Стьюдента со степенью свободы , и для проверки статистических гипотез по этому критерию используются таблицы критических значений Стьюдента. Так, в случае двустороннего критерия (когда альтернативная гипотеза имеет вид ), если

(где находится из таблицы критических значений), то нулевая гипотеза о том, что математическое ожидание равно , отклоняется на уровне значимости α. В противном случае нулевая гипотеза принимается.

Для проверки отсутствия автокорреляции остатков в уравнениях, для этой цели используются тесты Дарбина-Уотсона, Бреуша-Годфри, Льюинга- Бокса, Кохрана-Оркатта, Q-тест Льюинга-Бокса и др. В данной работе для проверки отсутствия автокорреляции был выбран тест Дарбина-Уотсона, который является наиболее удобным для реализации в программе и, в отличие от многих других тестов, не требует дополнительного построения регрессий остатков. Данный метод довольно прост, но имеет и свои недостатки: он обладает зонами неопределенности и выявляет корреляцию только между соседними наблюдениями. Впрочем, ситуации, когда на значения наблюдений оказывают влияние не соседние, а более ранние наблюдения, является достаточно редкой. Что касается проблемы с зоной неопределенности, можно прибегнуть к помощи еще одного теста — метода рядов, который будет описан чуть ниже.

Итак, тестовая статистика Дарбина-Уотсона имеет вид

где - остатки уравнения регрессии, — размер выборки.

Тест Дарбина-Уотсона, строго говоря, не является статистическим критерием, поскольку содержит зоны неопределенности, однако существуют пороговые значения и , на основе которых можно сделать определенные выводы о наличии или отсутствии автокорреляций:

Если то принимается гипотеза о наличии положительной автокорреляции.

Если, то вопрос о наличии или отсутствии автокорреляции остается открытым.

Если , то гипотеза о наличии автокорреляции отклоняется.

Если , то вопрос о наличии или отсутствии автокорреляции остается открытым.

Если , то принимается гипотеза о наличии отрицательной автокорреляции.

Значения находятся из специальных таблиц.

В данной работе также используется метод рядов, который основан на исследовании того, как распределяются знаки остатков уравнения регрессии. Итак, пусть — объем выборки, — количество положительных остатков при n наблюдениях, — количество отрицательных остатков при наблюдениях, — количество рядов, т.е. идущих подряд остатков одинакового знака.

Для небольшого количества наблюдений ( < 20, < 20) существуют специальные таблицы (для уровней значимости 0.01 и 0.05), которые позволяют получить значения и по заданным и . Тогда, если , то можно говорить об отсутствии автокорреляции остатков. Если же , тогда можно говорить о наличии положительной или отрицательной автокорреляции остатков соответственно.

Для проверки гомоскедастичности используют тесты Парка, Глейзера, Уайта, Голдфелда-Квандта, ранговой корреляции Спирмена и др. В данной работе применяется тест ранговой корреляции Спирмена, и его выбор объясняется теми же причинами, что и в случае с тестом Дарбина-Уотсона. Стоит также заметить, что этот тест одновременно служит и для проверки предпосылки о независимости остатков уравнений регрессии и объясняющих переменных.

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена задается формулой

где и — ранги наблюдений объясняющей переменной и остатка , а — объем выборки. Разумеется, в случае с системой внешне не связанных уравнений, такой коэффициент вычисляется для каждой объясняющей переменной и остатка каждого уравнения, т.е. если имеется объясняющих переменных и уравнений, то будет получено коэффициентов корреляции.

Возможна и такая ситуация, когда нескольким значениям объясняющей переменной или нескольким значениям остатка приписываются одинаковые ранги (их называют связанными). В этом случае коэффициент ранговой корреляции Спирмена вычисляется по формуле:

где и — число групп одинаковых рангов у объясняющей переменной и у остатка, а и — число рангов, которые входят в соответствующую группу неразличимых рангов у объясняющей переменной и у остатка.

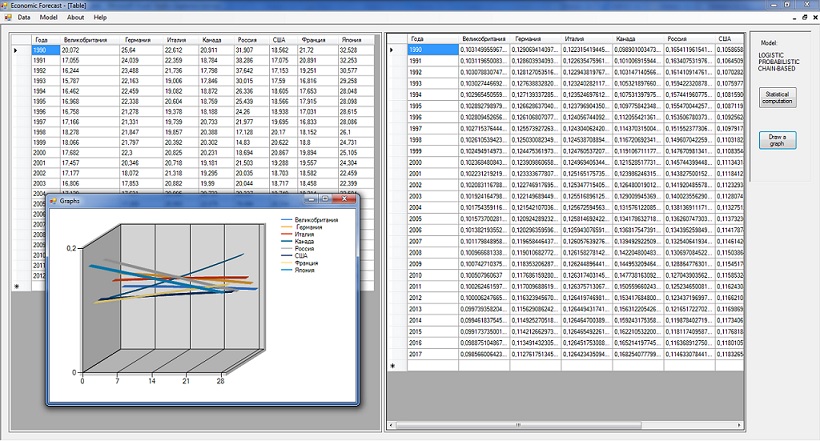
Для проверки нулевой гипотезы об отсутствии корреляционной связи при используется тестовая статистика вида

которая имеет распределение Стьюдента с степенями свободы.

Таким образом, нулевая гипотеза об отсутствии корреляционной связи (а, следовательно, и гетероскедастичности) отклоняется на уровне значимости α, если , где находится из таблицы критических значений Стьюдента.

1. **Приложение 3. Руководство пользователя.**
2. [Знакомство с возможностями Economic Forecast.](#welcome)
3. Работа с программой Economic Forecast.
   1. [С чего начать?](#start)
   2. [Различные модели построения прогноза.](#difmodels)
      1. [Логистическая модель.](#logistic)
      2. [Логарифмически-линейная модель.](#loglin)
      3. [Дополнительные возможности.](#options)
   3. [Работа с построенной моделью.](#constructed)
   4. [Экспорт информации.](#export)
4. [Системные требования.](#system)

*Знакомство с возможностями Economic Forecast.*



Приложение "Economic Forecast" представляет собой комплекс исследователя, позволяющий строить прогнозы на несколько лет вперед по имеющимся статистическим данным. Экстраполировать данные можно, основываясь на двух моделях: логистической и логарифмически-линейной.

Данный программный продукт позволяет строить графическое отображение полученных результатов, сохранять их в формате Excel, HTML.

Так же для каждой построенной модели можно получить статистические выкладки, полученные в ходе построения прогноза.

*С чего начать?*

Начните работу с программой с загрузки данных, которые вы хотите обработать, нажав в главном окне программы Data—>Import...

Данные загружаются из файла в формате Excel, с 1 листа этого файла, причем года должны располагаться в крайнем левом столбце в строгом порядке по возрастанию без промежутков в годах. Наименования исследуемых факторов должны располагаться в первом ряду таблицы.

Данные из выбранного файла откроются в новом дочернем окне, после чего вы можете проводить дальнейшую работу с ними.

*Различные модели построения прогноза.*

После открытия исследуемых данных вы можете построить две различные интерполяционные и экстраполяционные модели, которые будут построены справа от исходной таблицы:

* логистическая модель;
* логарифмически-линейная.

Предусмотрена возможность изменения различных параметров для каждой из вышеуказанных моделей.

*Логистическая модель.*

Нажмите Model—>Logistic в главном окне программы, чтобы построить интерполяционную и экстраполяционную модель с помощью вероятностных цепочек с логистическим ростом.

Она будет построена в таблице, расположенной справа от таблицы с исходными данными в том же формате, что и первая: в столбце слева идут года по увеличению, а в первой строке - факторы. Все оставшиеся значения таблицы представлены в долях.

*Логарифмически-линейная модель.*

Нажмите Model—>Logarifmic-linear в главном окне программы, чтобы построить интерполяционную и экстраполяционную модель с помощью вероятностных цепочек с логарифмически-линейным ростом.

Она будет построена в таблице, расположенной справа от таблицы с исходными данными в том же формате, что и первая: в столбце слева идут года по увеличению, а в первой строке - факторы. Все оставшиеся значения таблицы представлены в долях.

*Дополнительные возможности.*

По нажатию Model—>Options... открывается дополнительное окно, в котором можно изменить различные параметры используемой модели:

* из выпадающего списка можно выбрать предпочитаемый фактор в качестве стандарта (им может быть любой из имеющихся). Автоматически за стандарт принят первый фактор.
* в текстовое поле можно ввести год окончания построения экстраполяции. Он должен быть больше года начала. Автоматически это значении равно последнее значение таблицы исходных данных (год) плюс пять.

*Работа с построенной моделью.*

После построения любой из моделей в доернем окне с данными появляются две дополнительные кнопки, отражающие дополнительные возможности работы с данными:

* Построение графика. По нажатию на кнопку "Draw a graph" строится график полученных данных для визуализации и наглядного представления смоделированного процесса.
* Статистические вычисления. По нажатию на кнопку "Statistical computation" открывается форма с подробно вычисленными статистическими значениями, соответствующие примененной модели, по которым можно сделать вывод о значимости построенной модели в целом и отдельных параметров.

*Экспорт информации.*

По нажатию Data—>Export меню главного окна программы предоставляется возможность экспортировать полученные данные из приложения "Economic Forecast". При этом экспорт можно осуществить в два представленных формата: Excel и HTML по нажатию на соответствующие кнопки.

*Системные требования:*

1. Операционная система: Windows XP и более новая версия.
2. .NET Framework 4.
3. Оперативная память: не менее 16 МБ.
4. Свободное пространство на диске: 400КБ.
5. Microsoft Office 2000 и выше – для импорта и экспорта данных в приложение.
6. **Список литературы**
   * 1. Азрилиян А. Н. Большой энциклопедический словарь, 5-е изд. доп и перераб. М.: Институт новой экономики, 2002.
     2. Айвазян С.А. и др. Прикладная статистика: Исследование зависимостей. М.: Финансы и статистика, 1985.
     3. Брутланд Г.Х. Наше общее будущее. Доклад Комиссии ООН по окружающей среде и развитию. 1987. М.: Прогресс, 1988.
     4. Вальрас Л. Этюды прикладной политической экономии. 1898.
     5. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. М.: Айрис-пресс, 2012.
     6. Кондратьев Н.Д. Основные проблемы экономической статики и динамики. М.: Наука, 1991.
     7. Кондратьев Н.Д. Проблемы экономической динамики. М.: Экономика, 1989.
     8. Коптюг В.А. Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, июнь 1992 г.) // Информационный обзор. Новосибирск, 1992. С.19–20.
     9. Коптюг В.А. Острые проблемы на пути к устойчивому развитию // Наука спасет человечество. Новосибирск: Издательство СО РАН НИЦ ОИГГМ, 1997. С.212-216.
     10. Леонтьев В.В. Экономические эссе (Essays in Economics: Theories and Theorizing). 1966.
     11. Маршалл А. Принципы экономической науки. Прогресс, 1993
     12. Парето В. Учебник политической экономии. 1927. с. 268.
     13. Слуцкий Е.Е. Экономические и статистические произведения: Избранное. М.: ЭКСМО, 2011. - 1152 с
     14. Стронг М. Конференция ООН в Рио-де-Жанейро по окружающей среде и развитию, 1992.
     15. Ярыгина Т.В. О формировании стратегии устойчивого развития России // Материалы работы межпарламентской группы. Стенографический отчет государственной думы РФ от 2 октября 2002 г.
     16. Greene, William H. Econometric Analysis, Fourth ed., New York, NY: Macmillan, 2000.
     17. Edgeworth F.Y. Papers Relating to Political Economy. 1925, vol I, p. 117.
     18. Sonis M. Discrete Non-Linear Probabilistic Chains (M. Drachlin and E. Litsyn eds) // Functional-Differential Equations, Ariel, Israel, 2003, 10:445-487.
     19. Zellner A. An Eﬃcient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regression Equations and Tests of Aggregation Bias // Journal of the American Statistical Association, 1962, 57, 500-509.
     20. Доклад Комиссии по охране окружающей среды Генеральной Ассамблей ООН, 1987. http://www.un.org/ru/ga/pdf/brundtland.pdf
     21. Международный Банк – The World Bank. <http://data.worldbank.org/>
     22. Международный Валютный Фонд. <http://www.imf.org/external/data.htm>
     23. Федеральная служба государственной статистики. <http://www.gks.ru/>
     24. United Nations: Department of Economic and Social Affairs Population Division. World Population to 2300. http://www.un.org/esa/population/publications/longrange2/WorldPop2300final.pdf