

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

ГОУ ВПО Кыргызско-Российский Славянский университет

УТВЕРЖДАЮ

Декан ЭФ Гайдамако В.К.



15.09.2017 г.

Статистические модели векторной авторегрессии рабочая программа дисциплины (модуля)

Закреплена за кафедрой	Математических методов и исследований операций в экономике		
Учебный план	Направление подготовки 38.04.01 Экономика Магистерская программа "Прикладной экономический анализ"		
Квалификация	магистр		
Форма обучения	очная		
Общая трудоемкость	2 ЗЕТ		
Часов по учебному плану	72	Виды контроля в семестрах: зачеты 2	
в том числе:			
аудиторные занятия	18		
самостоятельная работа	54		

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	2 (1.2)		Итого	
	Неделя 20		уп	рпд
Вид занятий	уп	рпд	уп	рпд
Лекции	8	8	8	8
Лабораторные	10	10	10	10
В том числе инт.	6	6	6	6
Итого ауд.	18	18	18	18
Контактная работа	18	18	18	18
Сам. работа	54	54	54	54
Итого	72	72	72	72

Программу составил(и):

д.э.н., доцент Лукашова И.В., к.т.н., доцент Цой Ман-Су

Рецензент(ы):

д.т.н., профессор Миркин Е.Л.

Рабочая программа дисциплины

Статистические модели векторной авторегрессии

разработана в соответствии с ФГОС 3+:

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки 38.04.01 (уровень магистратуры) (приказ Минобрнауки России от 30.03.2015г. №321)

составлена на основании учебного плана;

Направление подготовки 38.04.01 Экономика Магистерская программа "Прикладной экономический анализ" утвержденного учёным советом вуза от 28.06.2017 протокол №11.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

Математических методов и исследований операций в экономике

Протокол от 13.09 2017 г. № 1

Срок действия программы: 2017-2019 уч.г.

Зав. кафедрой д.э.н., доц. Лукашова И.В.

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель УМС

18.09. 2018 г.

Дж- (Лукашова И.В.)

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2018-2019 учебном году на заседании кафедры **Математических методов и исследований операций в экономике**

Протокол от 14.09. 2018 г. № 1
Зав. кафедрой д.э.н., доцент Лукашова И.В.



Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель УМС

2.09. 2019 г.

Дж- (Лукашова И.В.)

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2019-2020 учебном году на заседании кафедры **Математических методов и исследований операций в экономике**

Протокол от 27.08. 2019 г. № 1
Зав. кафедрой д.э.н., доцент Лукашова И.В.



Визирование ООП для исполнения в очередном учебном году

Председатель УМС факультета

08.09. 2020 г.

Дж- (Лукашова И.В.)

ООП пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2020-2021 учебном году на заседании кафедры **Математических методов и исследований операций в экономике**

Протокол от 04.09. 2020 г. № 1
Зав. кафедрой д.э.н., доцент Лукашова И.В.



Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель УМС

_____ 2021 г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2021-2022 учебном году на заседании кафедры **Математических методов и исследований операций в экономике**

Протокол от _____ 2021 г. № ____
Зав. кафедрой д.э.н., доцент Лукашова И.В.

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1	Цель дисциплины - научить студентов актуальному методу анализа временных рядов, дать представление о современном инструментарии VAR-моделирования, познакомить с практическим применением VAR моделей при проведении научных и прикладных экономических исследований с использованием современного программного обеспечения.
1.2	Задачи дисциплины: ознакомить студентов с методикой VAR моделирования; вооружить студентов дополнительным инструментом прогнозирования экономических процессов; научить поиску эмпирических свидетельств относительно реакции экономических переменных на шоки экономической политики и выявлению адекватных теоретических моделей экономики.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ООП:	Б1.В.ДВ.1
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:
2.1.1	Эконометрика (продвинутый уровень)
2.2	Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:
2.2.1	Прикладная макроэкономика
2.2.2	Моделирование демографических и миграционных процессов

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ПК-10: способность составлять прогноз основных социально-экономических показателей деятельности предприятия, отрасли, региона и экономики в целом

Знать:

Уровень 1	Теоретические основы прогнозирования социально-экономических показателей
-----------	--

ПК-3: способность проводить самостоятельные исследования в соответствии с разработанной программой

Знать:

Уровень 1	Основные источники данных, описывающих экономические процессы и современные программные продукты, необходимые для их обработки.
-----------	---

ПК-10: способность составлять прогноз основных социально-экономических показателей деятельности предприятия, отрасли, региона и экономики в целом

Знать:

Уровень 2	Методы и модели описания и прогнозирования социально-экономических показателей на основе статистических данных, границы применения моделей, ограничения прогнозов.
-----------	--

ПК-3: способность проводить самостоятельные исследования в соответствии с разработанной программой

Знать:

Уровень 2	Разработанность выбранной темы, методы исследования, возможности и ограничения их применения
Уровень 3	Методологию организации самостоятельной научно-исследовательской работы

ПК-10: способность составлять прогноз основных социально-экономических показателей деятельности предприятия, отрасли, региона и экономики в целом

Знать:

Уровень 3	Методы и модели прогнозирования на основе обработки больших массивов статистической информации; границы применения моделей; горизонты прогнозирования, оценку достоверности краткосрочных и долгосрочных прогнозов ; современное программное обеспечение для анализа и прогноза данных.
-----------	---

ПК-3: способность проводить самостоятельные исследования в соответствии с разработанной программой

Уметь:

Уровень 1	Работать с научной литературой. Формулировать гипотезы. Собирать, обрабатывать и анализировать данные с использованием современного программного обеспечения
-----------	--

ПК-10: способность составлять прогноз основных социально-экономических показателей деятельности предприятия, отрасли, региона и экономики в целом

Уметь:

Уровень 1	Выбирать подходящие методы и модели для анализа и прогноза социально-экономических показателей экономики разного уровня.
ПК-3: способность проводить самостоятельные исследования в соответствии с разработанной программой	
Уметь:	
Уровень 2	Обосновывать выбор темы и методов исследования, проводить содержательную интерпретацию полученных результатов
ПК-10: способность составлять прогноз основных социально-экономических показателей деятельности предприятия, отрасли, региона и экономики в целом	
Уметь:	
Уровень 2	Строить корректные модели социально-экономических показателей, оценивать их прогнозные свойства; соотносить модельные данные с реальностью; строить прогнозы.
ПК-3: способность проводить самостоятельные исследования в соответствии с разработанной программой	
Уметь:	
Уровень 3	Разрабатывать техническое задание на выбранную тему, определять ключевые направления исследования, выбрать методологию, соотносить результаты с исследованиями современных авторов, формулировать выводы и рекомендации
ПК-10: способность составлять прогноз основных социально-экономических показателей деятельности предприятия, отрасли, региона и экономики в целом	
Уметь:	
Уровень 3	Применить подходящие модели и методы обработки больших массивов разнородных данных из разных источников, используя современное программное обеспечение и инструменты анализа в целях прогноза.
ПК-3: способность проводить самостоятельные исследования в соответствии с разработанной программой	
Владеть:	
Уровень 1	Методами сбора, первичной обработки и систематизации данных по теме исследования в профессиональной сфере
ПК-10: способность составлять прогноз основных социально-экономических показателей деятельности предприятия, отрасли, региона и экономики в целом	
Владеть:	
Уровень 1	Навыкам сбора данных для построения моделей в целях прогнозирования социально-экономических показателей экономики разного уровня.
ПК-3: способность проводить самостоятельные исследования в соответствии с разработанной программой	
Владеть:	
Уровень 2	Навыками поиска и анализа научной литературы по теме исследования, оценки разработанности выбранной темы, выбора методов исследования и проведения исследования
ПК-10: способность составлять прогноз основных социально-экономических показателей деятельности предприятия, отрасли, региона и экономики в целом	
Владеть:	
Уровень 2	Навыками моделирования социально-экономических показателей, подготовки данных для моделирования; выбора методов прогнозирования и подходящего программного обеспечения, оценки прогнозных свойств моделей
Уровень 3	Методологией и навыками кратко и долгосрочного прогнозирования социально-экономических показателей на основе опыта работы с большими массивами разнообразной информации и применения современного программного обеспечения.
ПК-3: способность проводить самостоятельные исследования в соответствии с разработанной программой	
Владеть:	
Уровень 3	Навыками подготовки технического задания на исследование, проведения научного исследования и оценки получаемых результатов

В результате освоения дисциплины обучающийся должен

3.1	Знать:
3.1.1	Назначение и особенности VAR-моделей
3.1.2	Этапы построения VAR - моделей

3.1.3	Плюсы и минусы VAR - моделей
3.2	Уметь:
3.2.1	Специфицировать VAR - модели
3.2.2	Получать оценки параметров VAR - моделей
3.2.3	Интерпретировать результаты моделирования
3.3	Владеть:
3.3.1	Навыками моделирования экономических процессов на основе VAR моделей
3.3.2	Навыками прогнозирования на основе VAR моделей

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Компетенции	Литература	Инте ракт.	Примечание
	Раздел 1. Основные понятия векторной авторегрессии						
1.1	Модель VAR, условие стационарности. /Лек/	2	2	ПК-3	Л1.2	0	
1.2	Оценка VAR модели и статистические свойства /Лек/	2	2	ПК-3	Л1.1	2	Разбор статей современных авторов по теме
1.3	Выполнение исследовательского проекта /Лаб/	2	2	ПК-10	Л3.1 Э6 Э7	2	Критический разбор случайно выбранной работы
1.4	Выполнение исследовательского проекта /Ср/	2	16	ПК-10	Л3.1 Э3 Э5 Э6 Э7	0	
1.5	Выбор показателей для проведения VAR - моделирования /Лаб/	2	2	ПК-10	Э3 Э1 Э2 Э4 Э5	0	
1.6	Сбор данных для выполнения исследовательского проекта /Ср/	2	6	ПК-10	Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	0	
	Раздел 2. Коинтеграция						
2.1	Коинтеграция. Тесты на коинтегрированность. /Лек/	2	2	ПК-3	Л1.2	0	
2.2	Модель VECM. Критерий коинтегрированности для модели VAR. /Лек/	2	2	ПК-3	Л1.1 Л1.2 Л3.1	0	
2.3	Выполнение исследовательского проекта /Лаб/	2	4	ПК-10	Л3.1 Э3 Э4 Э5	2	Критический разбор случайно выбранной работы
2.4	Выполнение исследовательского проекта /Ср/	2	16	ПК-10	Л3.1 Э6	0	
2.5	/Зачёт/	2	0			0	
2.6	Выполнение исследовательского проекта /Лаб/	2	2	ПК-10	Л3.1 Э6 Э7	0	
2.7	Выполнение исследовательского проекта /Ср/	2	16	ПК-10	Л3.1 Э7 Э6	0	

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

5.1. Контрольные вопросы и задания

Презентация статьи, подготовленной по результатам проведения исследовательского проекта

5.2. Темы курсовых работ (проектов)

Не предусмотрена

5.3. Фонд оценочных средств

Техническое задание на исследовательский проект. Приложение 1
Вопросы по курсу. Приложение 2

5.4. Перечень видов оценочных средств

Виды работ и шкалы оценок. Приложение 3
Исследовательский проект.
Вопросы по курсу

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**6.1. Рекомендуемая литература****6.1.1. Основная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л1.1	Елисеева И.И.	Эконометрика: Учебник	М.: Проспект 2010
Л1.2	Айвазян С.А., Иванова С.С.	Эконометрика: Учебное пособие	М.: Маркет ДС 2010

6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л3.1	Фадеева Е.	Методические указания по построению VAR моделей: методические указания	Кафедра ЭММ, КРСУ 2015

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

Э1	http://stat.kg – НСК КР	
Э2	http://www.nbkr.kg – НБКР	
Э3	http://sophist.hse.ru/hse/nindex.shtml - Единый архив экономических и социологических данных	
Э4	http://www.ess-ru.ru – Европейское социальное обследование	
Э5	http://www.worldbank.org – Всемирный Банк	
Э6	http://cyberleninka.ru/ - Научная электронная библиотека	
Э7	http://elibrary.ru - Научная электронная библиотека	

6.3. Перечень информационных и образовательных технологий**6.3.1 Компетентностно-ориентированные образовательные технологии**

6.3.1.1	Традиционные: Лекции, лабораторные работы.
6.3.1.2	Инновационные: Исследовательский проект, подготовка статьи.
6.3.1.3	Информационные: Сбор данных по динамике выбранных показателей для VAR моделирования. Презентация разделов исследовательского проекта.

6.3.2 Перечень информационных справочных систем и программного обеспечения

6.3.2.1	http://stat.kg – НСК КР
6.3.2.2	http://www.nbkr.kg – НБКР
6.3.2.3	http://sophist.hse.ru/hse/nindex.shtml - Единый архив экономических и социологических данных
6.3.2.4	http://www.ess-ru.ru – Европейское социальное обследование
6.3.2.5	http://www.worldbank.org – Всемирный Банк
6.3.2.6	http://cyberleninka.ru/ - Научная электронная библиотека
6.3.2.7	http://elibrary.ru - Научная электронная библиотека

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

7.1	Лекции проводятся в виде компьютерных презентаций с использованием мультимедийных средств. Лабораторные занятия проводятся в компьютерном классе, оснащенном персональными компьютерами с необходимыми параметрами и с установленным профессиональным программным обеспечением. Используется Интернет для доступа к необходимым статистическим ресурсам.
-----	--

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Технологическая карта и вес работ. Приложение 4
Методические указания для работы с VAR моделями. Приложение 5

Техническое задание

**для выполнения самостоятельного исследования на тему
«Прогнозирование экономических показателей ...Кыргызстана на основе
моделей векторной авторегрессии»
по курсу
Статистические модели векторной авторегрессии**

1. Выбрать 2 показателя для исследования. Сформировать временные ряды (не менее, чем 24 периода).
2. Обосновать актуальность исследования.
3. Описать показатели (экономическое содержание и измерение).
4. Представьте графики временных рядов для наблюдения совместной динамики.
5. Дайте общую характеристику поведения.
6. Постройте и опишите коррелограмму.
7. Представьте графики временного ряда для наблюдения совместной динамики. Дайте общую характеристику поведения.
8. Постройте и опишите автокорреляционную и частную автокорреляционную функции. Какой вывод можно сделать по характеру ACF и PACF?
9. Проверьте ряды на стационарность с помощью теста Дики-Фуллера. В случае нестационарности рядов, приведите их к стационарным.
10. Постройте и оцените по 2-е предполагаемых модели ARIMA (выбор моделей обоснуйте) для каждого показателя. Рассчитайте для них значения информационных критериев. Опишите модели, запишите их математическую форму и статистические свойства. Сравните качество построенных моделей. Из моделей выберите наилучшую, для каждого ряда, обоснуйте Ваш выбор. Проверьте модели на адекватность. На основе выбранных адекватных моделей постройте прогноз.
11. Проведите тест Грэнджера на причинность. Подробно опишите полученные результаты, в том числе лаговые связи.
12. Постройте векторную авторегрессию.
13. Опишите и объясните модель авторегрессии включая: лаговые переменные, критерии Шварца и Акайки, таблицу/график AR-корней, парные тесты причинно-следственной зависимости по Грэнжеру, тесты на исключение лагов, критерии длины лагирования.
14. Постройте и объясните парные перекрестные коррелограммы, проведите тест множителей Лагранжа для автокорреляций, протестируйте остатки на нормальность распределения и на наличие гетероскедастичности.

15. Проведите анализ откликов на импульсы. Опишите и объясните полученные результаты.
16. Проведите декомпозицию (разложение) дисперсии. Опишите и объясните полученные результаты.
17. Результаты всех проведенных исследований представьте в виде статьи объемом 5 страниц с оформлением по ГОСТ Р 7.0.5–2008 (Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления) ГОСТ 7.32 – 2001 (Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления).
18. В статье должны быть следующие разделы: название, аннотация, ключевые слова, описание предмета и объекта исследования, актуальность темы, исходные данные, результаты моделирования, выводы, список использованных источников.

Вопросы по курсу Статистические модели векторной авторегрессии

1. Понятие временного ряда.
2. Понятие лага, автокорреляции и автокорреляционной функции.
3. Коррелограмма.
4. Выявление структуры временного ряда на основе коррелограммы.
5. Понятие стационарности временного ряда.
6. Классификация временных рядов (строго стационарные, слабо стационарные, нестационарные).
7. Признаки нестационарности временного ряда.
8. Условия стационарности.
9. ARMA(p,q) модель.
10. Обнаружение нестационарности. (графический анализ временного ряда, аналитическая проверка условий стационарности).
11. Обнаружение нестационарности на основе коррелограммы.
12. Использование конечных разностей для приведения нестационарного ряда к стационарному.
13. ARIMA(p,d,q) модель.
14. Практические рекомендации определения порядка p и q в AR(p) MA(q) моделях.
15. Формальный метод обнаружения нестационарности на основе базовой модели.
16. Тест Дики-Фулера (DF). Нулевая гипотеза
17. Процессы с константой и детерминированным трендом.
18. Автокорреляция остатков.
19. Расширенный тест Дики-Фулера (ADF).
20. Выбор k -порядка AR – процесса в оцениваемой регрессии при использовании ADF теста.
21. Тест Лагранжа (LM – тест). Нулевая гипотеза.
22. Этапы подбора модели ARIMA(p,d,q)
23. Понятие коинтеграции.
24. Актуальность теории коинтеграции.
25. Равновесные отношения.
26. Условие существования коинтеграции между двумя временными рядами.
27. Тестирование гипотезы о коинтеграции (Тест Дики-Фулера,).
28. Алгоритм тестирования гипотезы о коинтеграции временных рядов на основе теста Дики-Фулера.
29. Процесс коррекции ошибок.
30. Общий вид модели коррекции ошибок (ECM).
31. Простейшая модель ECM, $p=q=0$.
32. Модель коррекции ошибок при известных продажах и затратах на рекламу
33. Причинность по Грэнджеру
34. Тест Грэнджера на причинность
35. Понятие о векторной авторегрессии VAR: определение, условие стационарности, частные случаи и приложения.
36. Коинтеграция в VAR-моделях.
37. Основные типы VAR-моделей.
38. Преимущества и проблемы использования VAR-моделей.
- 39.

**Виды работ и шкалы оценок
по курсу
Статистические модели векторной авторегрессии**

Доклад в форме презентации

Доклад – один из видов самостоятельной работы студентов, реализуемых кафедрой ЭММ, часто содержащий исследовательскую компоненту.

Доклад – это развернутое устное сообщение на выбранную/заданную тему, сделанное публично.

Доклад служит для оценки освоения общепрофессиональных и профессиональных компетенций уровня «уметь» и «владеть».

В качестве тем для докладов используется материал учебного курса, который не освещается в лекциях, а выносится на самостоятельное изучение.

Работа над докладом позволяет студентам приобрести новые знания, способствует освоению методов научного познания, формированию важных научно-исследовательских навыков и навыков публичного выступления.

Основной организационной формой для представления доклада является студенческая конференция различного статуса (групповая, курсовая, вузовская, межвузовская) или аудиторное занятие.

Шкала оценивания уровня навыков с помощью презентации доклада

	Низкий 0-30 баллов	Фрагментарный 31-59 баллов	Поверхностный 60-69 баллов	Достаточный 70-84 балла	Высокий 85-100 баллов	оценка	вес
Раскрытие проблемы	Проблема не раскрыта, выводы отсутствуют	Проблема раскрыта частично. Выводы не соответствуют изложенной информации или выводов нет	Проблема раскрыта не глубоко. Выводы не соответствуют изложенной информации или выводы не полны	Проблема раскрыта. Не все выводы обоснованы.	Проблема раскрыта полностью. Выводы обоснованы	X1	0,5
Представление информации	Представляемая информация логически не	Представляемая информация и результаты	Представляемая информация и результаты	Представляемая информация и результаты	Представляемая информация и	X2	0,2

результатов	связана. Не использованы профессиональные термины. Результаты не представлены.	логически не связаны, не систематизированы и не полны.	логически связаны, но не систематизированы и не полны.	логически связаны, систематизированы, но не полны.	результаты логически связаны, систематизированы, достаточно полны.		
Оформление презентации	Презентация нечитабельна	Более 5 ошибок в оформлении презентации	Не более 5 ошибок в оформлении презентации	Не более 4 ошибок в оформлении презентации	Не более 2 ошибок в оформлении и презентации	X3	0,1
Ответы на вопросы	Нет ответов на вопросы	Ответы полностью не соответствуют вопросам	Ответы только на элементарные вопросы	Ответы сформированы после дополнительных наводящих вопросов.	Ответы достаточно полные с приведением примеров и пояснений	X4	0,2
Итоговая оценка	$0,5 * X1 + 0,2 * X2 + 0,1 * X3 + 0,2 * X4$						

Исследовательский проект/часть проекта

Исследовательский проект – один из видов самостоятельной работы студентов, реализуемых кафедрой ЭММ.

Цель исследовательского проекта – на основании технического задания, разработанного преподавателем, провести в заданные сроки законченное исследование по заданной/выбранной теме, включающее, но не ограниченное следующими этапами: обзор литературы, разработка инструментов для сбора данных, сбор данных, формулирование гипотез, выбор методов обработки данных, обработка данных, описание полученных результатов, формулирование выводов, оформление исследовательского проекта в печатном виде.

Темы исследовательских проектов, как правило, предоставляются преподавателем, но возможна инициатива со стороны студентов.

Исследовательский проект служит для оценки освоения профессиональных компетенций уровня «уметь», «владеть».

	Низкий 0-30 баллов	Фрагментарный 31-59 баллов	Поверхностный 60-69 баллов	Достаточный 70-84 балла	Высокий 85-100 баллов	оценка	вес
--	-----------------------------------	---	---	--	--------------------------------------	---------------	------------

Формальное выполнение технического задания (ТЗ)	Цели ТЗ не достигнуты	Цели ТЗ не достигнуты, но направление исследования в целом верное.	Формально цели ТЗ достигнуты не полностью. Выводы не сделаны или не обоснованы	Формально цели ТЗ достигнуты, но не все выводы сделаны или обоснованы.	Формально цели ТЗ достигнуты. Выводы в целом обоснованы.	X1	0,4
Сбор и обработка данных	Данных недостаточно для проведения исследования	Данных достаточно, данные из одного источника, многие из них некорректны и неполны	Данных достаточно, из нескольких источников, корректны, но неполны. Есть риски неверных выводов.	Данных достаточно, из нескольких источников, корректны, неполны. Есть риски неверных выводов.	Данных достаточно, источники данных дополняют друг друга, данные корректны и полны. Риски неверных выводов минимальны или отсутствуют.	X2	0,3
Количество используемых источников информации	Не более 2	Не более 3	Не более 4	Не более 5	Более 5	X3	0,1
Оформление печатной работы	Не соответствует ГОСТ	Работа изобилует ошибками в оформлении	Не более 5 ошибок в оформлении работы	Не более 4 ошибок в оформлении работы	Не более 2 ошибок в оформлении работы	X4	0,1
Своевременность сдачи	Не своевременно, 0 баллов		Своевременно, 100 баллов			X5	0,1
Итоговая оценка	$0,4 \cdot X1 + 0,3 \cdot X2 + 0,1 \cdot X3 + 0,1 \cdot X4 + 0,1 \cdot X5$						

Технологическая карта

Дисциплина: **Статистические модели векторной авторегрессии**

Курс/семестр: 1/1

Количество кредитов (ЗЕ): 2

Отчетность: **Зачетно-экзаменационная ведомость (зачет)**

Название модулей дисциплины согласно РПД	Контроль	Форма контроля	зачетный минимум	зачетный максимум	график контроля
Модуль 1					
Основные понятия векторной авторегрессии	Текущий контроль	Отчеты №1	9	15	
	Рубежный контроль	Презентация отчета	9	15	
Модуль 2					
Коинтеграция	Текущий контроль	Отчет №2	9	15	
	Рубежный контроль	Подготовка статьи	15	25	
ВСЕГО за семестр			42	70	
Промежуточный контроль (Зачет)			20	30	
Семестровый рейтинг по дисциплине			62	100	

Вес работ по курсу

Статистические модели векторной авторегрессии

Содержание дисциплины	Тип контроля	Форма контроля	Уровень освоения компетенции	Количество единиц	Максимальный балл за контрольную единицу/за весь контроль	Вес	Максимум за форму контроля
Модуль 1							
Трендсезонное и ARIMA моделирование	Текущий	Исследовательский проект	Уметь, владеть	1	100/100	0.15	15
	Рубежный	Презентация отчета	знать	1	100/100	0.15	15
Модуль 2							
Причинность по Грэнджеру и VAR моделирование	Текущий	Исследовательский проект	Уметь, владеть	1	100/100	0.15	15
	Рубежный	Статья	Уметь, владеть	1	100/100	0,25	25
Итог							
	Промежуточный	Презентация статьи	Уметь, владеть	1	100/100	0,3	30
Семестровый рейтинг							100

Методические указания по построению VAR моделей

Векторная авторегрессия (VAR, Vector AutoRegression) — модель динамики нескольких временных рядов, в которой текущие значения этих рядов зависят от прошлых значений этих же временных рядов [1].

Векторная модель авторегрессии предложена Кристофером Симсом в 1980 году и является обобщением моделей авторегрессии к многомерным временным рядам, представляет собой систему уравнений, в которой каждая переменная (компонента многомерного временного ряда) представлена линейной комбинацией всех переменных в предыдущие моменты времени [2].

Векторные модели авторегрессии строятся по *стационарным* временным рядам. В случае, если ряды нестационарны, то:

- приводятся к стационарным путем взятия разностей;
- строятся векторные модели корректировки ошибок (VECM).

Порядок модели p в VAR(p) определяется максимальным порядком лага участвующих переменных.

Простейшая VAR-модель включает две переменные с лагом 1, число уравнений модели равно числу переменных:

$$\begin{cases} x_{t1} = \alpha_{10} + \alpha_{11}x_{t-1,1} + \alpha_{12}x_{t-1,2} + \varepsilon_{t1} \\ x_{t2} = \alpha_{20} + \alpha_{21}x_{t-1,1} + \alpha_{22}x_{t-1,2} + \varepsilon_{t2} \end{cases}, \quad (1)$$

где α_{10}, α_{20} - свободные параметры; α_{ij} - параметры авторегрессии ($i, j = 1, 2$); $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ - взаимно некоррелированные «белые шумы» [2].

В общем виде для k переменных и числа лагов p модель авторегрессии (VAR(p)) имеет вид:

$$\begin{cases} x_{t1} = \alpha_1 + \alpha_{11}^{[1]}x_{t-1,1} + \dots + \alpha_{1k}^{[1]}x_{t-1,k} + \alpha_{11}^{[2]}x_{t-2,1} + \dots + \alpha_{1k}^{[2]}x_{t-2,k} + \dots + \alpha_{11}^{[p]}x_{t-p,1} + \dots + \alpha_{1k}^{[p]}x_{t-p,k} + \varepsilon_{t1} \\ x_{t2} = \alpha_2 + \alpha_{21}^{[1]}x_{t-1,1} + \dots + \alpha_{2k}^{[1]}x_{t-1,k} + \alpha_{21}^{[2]}x_{t-2,1} + \dots + \alpha_{2k}^{[2]}x_{t-2,k} + \dots + \alpha_{21}^{[p]}x_{t-p,1} + \dots + \alpha_{2k}^{[p]}x_{t-p,k} + \varepsilon_{t2} \\ \dots \\ x_{tk} = \alpha_k + \alpha_{k1}^{[1]}x_{t-1,1} + \dots + \alpha_{kk}^{[1]}x_{t-1,k} + \alpha_{k1}^{[2]}x_{t-2,1} + \dots + \alpha_{kk}^{[2]}x_{t-2,k} + \dots + \alpha_{k1}^{[p]}x_{t-p,1} + \dots + \alpha_{kk}^{[p]}x_{t-p,k} + \varepsilon_{tk} \end{cases} \quad (2)$$

или в векторно-матричной записи:

$$\begin{pmatrix} x_{t1} \\ x_{t2} \\ \dots \\ x_{tk} \\ X_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \dots \\ \alpha_k \\ \alpha \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \alpha_{11}^{[1]} \dots \alpha_{1k}^{[1]} \\ \alpha_{21}^{[1]} \dots \alpha_{2k}^{[1]} \\ \dots \\ \alpha_{k1}^{[1]} \dots \alpha_{kk}^{[1]} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{t-1,1} \\ x_{t-1,2} \\ \dots \\ x_{t-1,k} \\ X_{t-1} \end{pmatrix} + \dots + \begin{pmatrix} \alpha_{11}^{[p]} \dots \alpha_{1k}^{[p]} \\ \alpha_{21}^{[p]} \dots \alpha_{2k}^{[p]} \\ \dots \\ \alpha_{k1}^{[p]} \dots \alpha_{kk}^{[p]} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{t-p,1} \\ x_{t-p,2} \\ \dots \\ x_{t-p,k} \\ X_{t-p} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_{t1} \\ \varepsilon_{t2} \\ \dots \\ \varepsilon_{tk} \\ \tilde{\varepsilon}_t \end{pmatrix} \quad (3)$$

или

$$X_t = \alpha + A^{[1]} X_{t-1} + \dots + A^{[p]} X_{t-p} + \vec{\varepsilon}_t.$$

К преимуществам VAR-моделей можно отнести:

- Возможность оценки параметров методом МНК;
- Отсутствие разделения переменных на экзогенные и эндогенные;
- Более точный и простой для исполнения прогноз.

К недостаткам VAR-моделей можно отнести:

- Непростую процедуру определения порядка VAR модели;
- Чем больше переменных и больше лагов участвуют в VAR, тем больше требуется данных для оценки параметров;
- Коэффициенты VAR неинтерпретируемы.

Изучим построение и исследование векторной модели авторегрессии для двумерного временного ряда. Для моделирования возьмем данные по ВВП в постоянных ценах 2008 года и количеству безработных в России за период с I квартала 2002 года по II квартал 2015 года.

На рисунке 1 представлены ряды динамики изучаемых показателей.

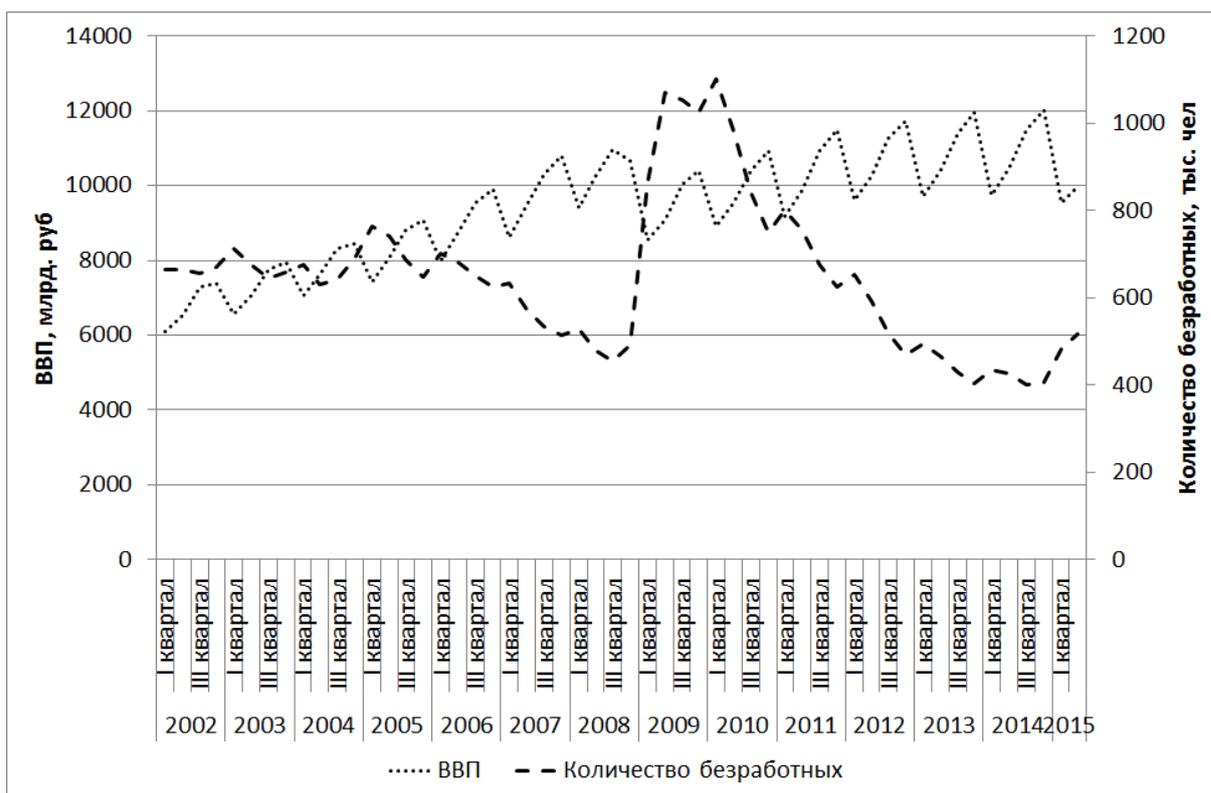


Рисунок 1. – Изменение ВВП и количества безработных за 2002-2015 гг. в России

По графику изменения ВВП и количества безработных за 2002-2015 гг. в России можно сделать предположение о нестационарности временных рядов, так как прослеживается наличие трендов и периодических колебаний. Чтобы проверить предположение, построим коррелограммы и воспользуемся тестом Дикки-Фуллера.

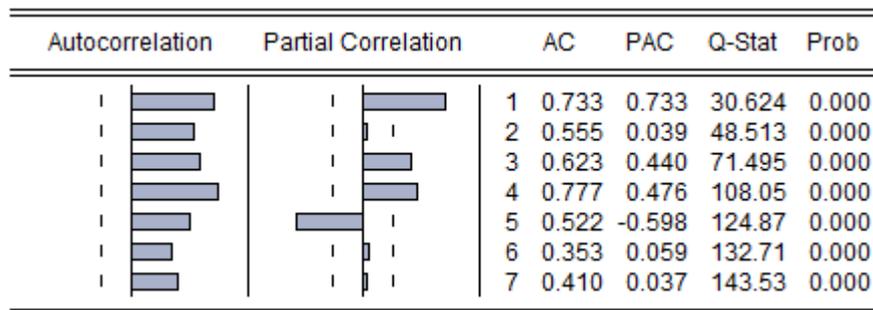


Рисунок 2. – Correlogramma показателя ВВП в России

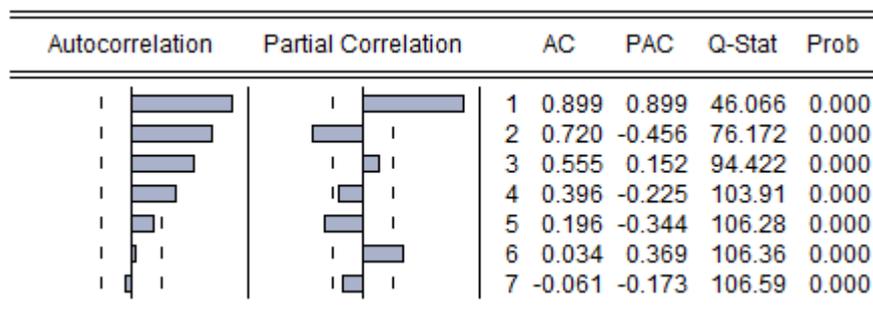


Рисунок 3. – Correlogramma показателя численности безработных в России

Correlogramмы показателей ВВП и количества безработных в России говорят о нестационарности данных рядов, так как значения AC в первом лаге близки к 1, а затем correlogramмы медленно убывают, значения PAC в первом лаге близки к 1, а остальные значения статистически не значимы.

В тесте Дики-Фуллера проверяется гипотеза о нестационарности ряда. В таблице 1 представлены результаты теста для ряда ВВП по уровням. Расчетное значение t-статистики превышает критическое значение на 5% уровне значимости, следовательно, нулевая гипотеза о нестационарности ряда принимается.

Таблица 1. – Тест Дики-Фуллера для ряда ВВП по уровням

Null Hypothesis: GDP has a unit root
 Exogenous: Constant
 Lag Length: 1 (Fixed)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.827482	0.0614
Test critical values: 1% level	-3.562669	
5% level	-2.918778	
10% level	-2.597285	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
GDP(-1)	-0.266981	0.094423	-2.827482	0.0068
D(GDP(-1))	-0.070279	0.135694	-0.517923	0.6068
C	2590.696	898.4423	2.883542	0.0058
R-squared	0.166998	Mean dependent var	66.28210	

Фадеева Е., ЭПЭАМ -2015, КРСУ

Adjusted R-squared	0.132998	S.D. dependent var	1019.332
S.E. of regression	949.1300	Akaike info criterion	16.60493
Sum squared resid	44141541	Schwarz criterion	16.71750
Log likelihood	-428.7282	Hannan-Quinn criter.	16.64809
F-statistic	4.911694	Durbin-Watson stat	2.083237
Prob(F-statistic)	0.011372		

Для уровней ряда показателей численности безработных расчетное значение t-статистики также меньше критического на 5% уровне значимости, что говорит о нестационарности ряда.

Таблица 2. – Тест Дики-Фуллера для ряда численности безработных по уровням

Null Hypothesis: UNEMP has a unit root

Exogenous: Constant

Lag Length: 1 (Fixed)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.506371	0.1198
Test critical values: 1% level	-3.562669	
5% level	-2.918778	
10% level	-2.597285	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
UNEMP(-1)	-0.140979	0.056248	-2.506371	0.0156
D(UNEMP(-1))	0.466275	0.127986	3.643158	0.0006
C	90.29471	37.81828	2.387594	0.0209

R-squared	0.247282	Mean dependent var	-2.819231
Adjusted R-squared	0.216559	S.D. dependent var	77.21540
S.E. of regression	68.34505	Akaike info criterion	11.34298
Sum squared resid	228881.3	Schwarz criterion	11.45555
Log likelihood	-291.9174	Hannan-Quinn criter.	11.38613
F-statistic	8.048715	Durbin-Watson stat	1.814014
Prob(F-statistic)	0.000949		

Проведем тест Дики-Фуллера для рядов показателей ВВП и количества безработных в первых разностях:

Таблица 3. – Тест Дики-Фуллера для ряда ВВП в первых разностях

Null Hypothesis: D(GDP) has a unit root

Exogenous: None

Lag Length: 1 (Fixed)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-11.08150	0.0000
Test critical values: 1% level	-2.611094	
5% level	-1.947381	
10% level	-1.612725	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(GDP(-1))	-1.933164	0.174450	-11.08150	0.0000
D(GDP(-1),2)	0.656154	0.117906	5.565052	0.0000
R-squared	0.749252	Mean dependent var	-6.020524	
Adjusted R-squared	0.744134	S.D. dependent var	1578.208	
S.E. of regression	798.3074	Akaike info criterion	16.24129	
Sum squared resid	31227440	Schwarz criterion	16.31705	
Log likelihood	-412.1529	Hannan-Quinn criter.	16.27024	
Durbin-Watson stat	2.960790			

Таблица 4. – Тест Дики-Фуллера для ряда численности безработных в первых разностях

Null Hypothesis: D(UNEMP) has a unit root

Exogenous: None

Lag Length: 1 (Fixed)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-5.262571	0.0000
Test critical values: 1% level	-2.611094	
5% level	-1.947381	
10% level	-1.612725	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation

Dependent Variable: D(UNEMP,2)

Method: Least Squares

Date: 12/24/15 Time: 01:19

Sample (adjusted): 2002Q4 2015Q2

Included observations: 51 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(UNEMP(-1))	-0.798525	0.151737	-5.262571	0.0000
D(UNEMP(-1),2)	0.304960	0.137454	2.218638	0.0312
R-squared	0.367452	Mean dependent var	0.876471	
Adjusted R-squared	0.354543	S.D. dependent var	86.13837	
S.E. of regression	69.20388	Akaike info criterion	11.35042	
Sum squared resid	234669.7	Schwarz criterion	11.42617	
Log likelihood	-287.4356	Hannan-Quinn criter.	11.37937	
Durbin-Watson stat	1.890641			

Для рядов показателей ВВП и количества безработных расчетное значение t-статистики меньше критического значения, следовательно, нулевая гипотеза отвергается. Данные ряды являются стационарными в первых разностях. Следует отметить, что для построения VAR-моделей важным моментом является одинаковый порядок интегрирования рядов.

Для дальнейшей работы необходимо сгенерировать ряды первых разностей, что можно сделать с помощью опции Genr:

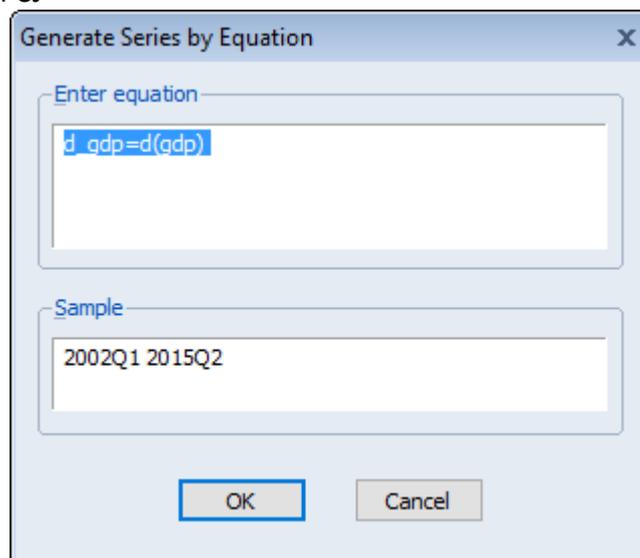


Рисунок 4. – Генерирование ряда первых разностей

На рисунке 5 показаны ряды первых разностей показателей ВВП и количества безработных.

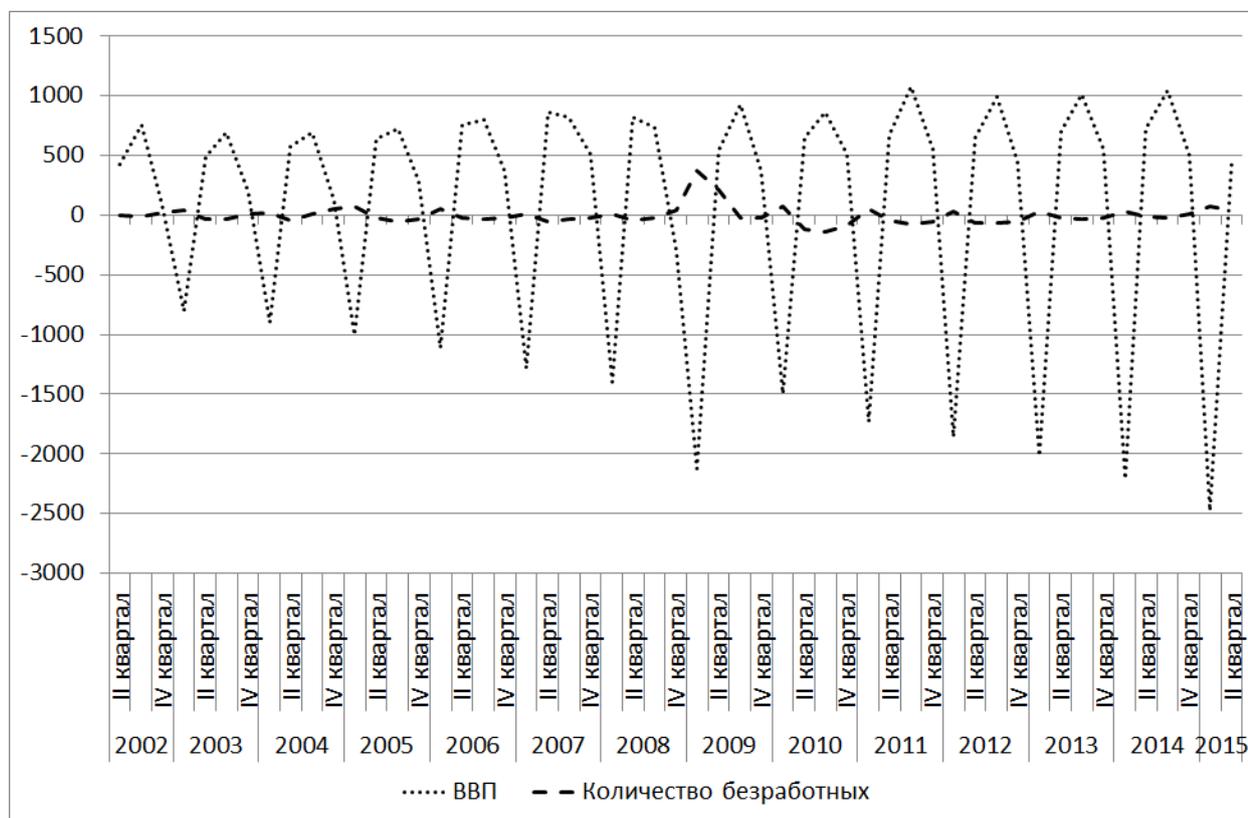


Рисунок 5. – Ряды первых разностей изменения ВВП и количества безработных за 2002-2015 гг. в России

Далее необходимо провести тест Грэнджера на причинность.

Тест Грэнджера на причинность (англ. Granger causality test) — процедура проверки причинно-следственной связи («причинность по Грэнджеру») между временными рядами. Идея теста заключается в том, что значения (изменения) временного ряда x_t , являющегося причиной изменений временного ряда y_t , должны предшествовать изменениям этого временного ряда, и кроме того, должны вносить значимый вклад в прогноз его значений.

В тесте Грэнджера последовательно проверяются две нулевые гипотезы: «x не является причиной y по Грэнджеру» и «y не является причиной x по Грэнджеру». Для проверки этих гипотез строятся две регрессии: в каждой регрессии зависимой переменной является одна из проверяемых на причинность переменных, а регрессорами выступают лаги обеих переменных (фактически это векторная авторегрессия).

$$\begin{aligned} y_t &= a_0 + a_1 y_{t-1} + \dots + a_p y_{t-p} + b_1 x_{t-1} + \dots + b_p x_{t-p} + \varepsilon_t \\ x_t &= c_0 + c_1 x_{t-1} + \dots + c_p x_{t-p} + d_1 y_{t-1} + \dots + d_p y_{t-p} + u_t \end{aligned} \quad (5)$$

Для каждой регрессии нулевая гипотеза заключается в том, что коэффициенты при лагах второй переменной одновременно равны нулю.

$$\begin{aligned} H_0^1 : b_1 = \dots = b_p = 0 \\ H_0^2 : d_1 = \dots = d_p = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

Данные гипотезы можно проверить, например, с помощью F-теста или LM-теста. Необходимо отметить, что результаты теста могут зависеть от количества использованных лагов в регрессиях [3].

Для проведения теста необходимо открыть проверяемые ряды, которые уже приведены к стационарному виду, как группу. Далее в меню View выбрать опцию Granger Causality.

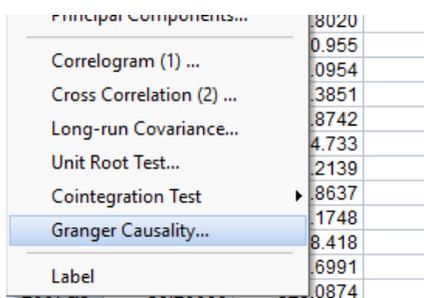


Рисунок 6. – Тест Грэнджера на причинность

В окне Lag Specification необходимо подобрать такое количество лагов, при котором вероятность осуществления нулевой гипотезы меньше 5%. Если для любого количества лагов вероятность осуществления нулевой гипотезы больше 5%, то выбранные ряды не влияют друг на друга и смысла в построении VAR-модели нет.

Таблица 5. – Результаты теста Грэнджера на причинность

Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
D_GDP does not Granger Cause			
D_UNEMP	49	7.67939	0.0001
D_UNEMP does not Granger Cause D_GDP		5.80969	0.0009

Для построения VAR-модели необходимо выбрать опцию Procs/Make Vector Autoregression...

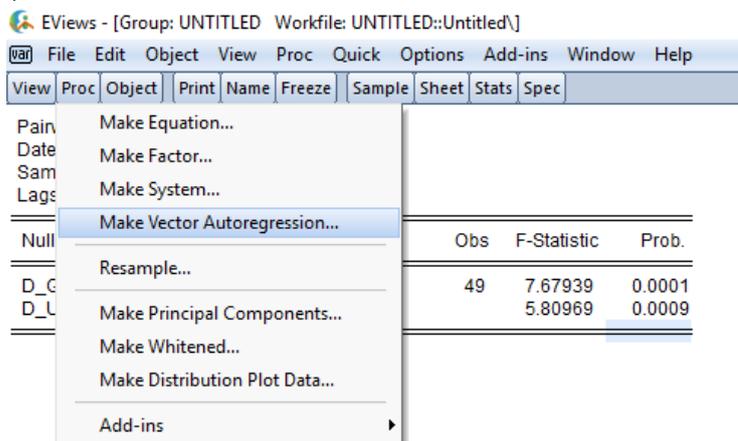


Рисунок 7. – Построение VAR-модели

В появившемся окне необходимо:

- ввести список эндогенных переменных, входящих в векторную авторегрессию (Endogenous Variables), и экзогенных переменных (Exogenous Variables);
- выбрать необходимое количество включаемых запаздываний эндогенных переменных, т.е. порядок векторной авторегрессии (Lag Intervals for Endogenous). Эта информация вводится попарно: каждая пара чисел определяет диапазон лагов. Например, лаговая пара: 1 4 говорит программе EViews использовать в правых частях уравнений системы в качестве переменных все эндогенные переменные с лагами от первого до четвертого порядка. Можно добавлять любое число интервалов лагирования, притом все интервалы лагирования необходимо вводить попарно. К примеру, если вводятся лаги 2 4 6 9 12 12, то в модели отобразятся лаги со 2 по 4, с 6 по 9 и 12 [5].
- интервал, на котором нужно оценить модель (Estimation Sample) [4].

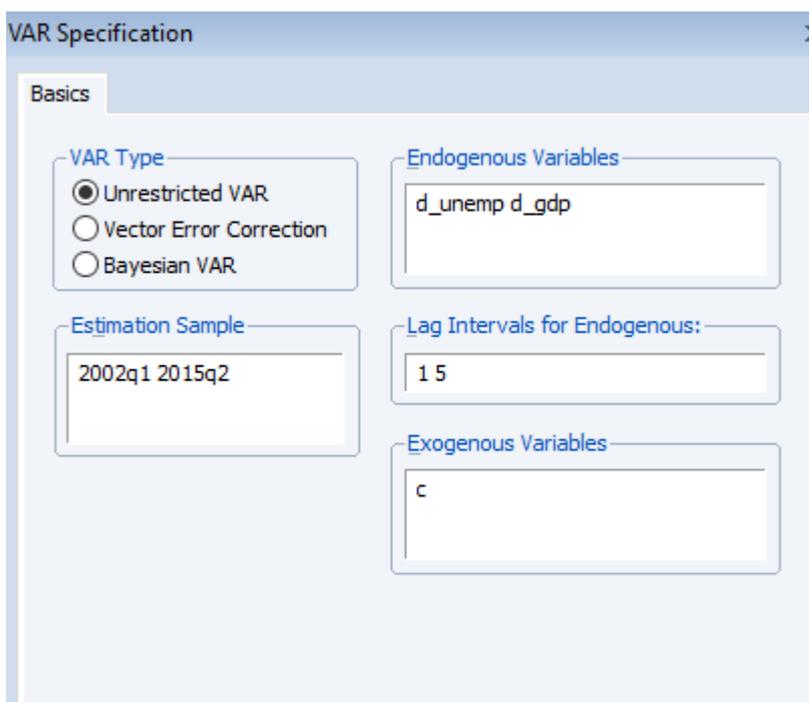


Рисунок 8. – Задание параметров VAR-модели

В рассматриваемом примере оценивается модель пятого порядка показателей ВВП и количества безработных на интервале с 1 квартала 2002 года по 2 квартал 2015 года:

Таблица 6. – Результаты оценивания коэффициентов в VAR-модели

	D_UNEMP	D_GDP
D_UNEMP(-1)	0.385557 (0.13870) [2.77979]	-0.076667 (0.60578) [-0.12656]
D_UNEMP(-2)	-0.327325 (0.15795) [-2.07237]	0.044715 (0.68985) [0.06482]
D_UNEMP(-3)	0.151713 (0.16505) [0.91920]	1.610709 (0.72087) [2.23441]
D_UNEMP(-4)	0.493840 (0.17874) [2.76282]	-0.979542 (0.78068) [-1.25472]
D_UNEMP(-5)	-0.144594 (0.11923) [-1.21278]	-0.264419 (0.52073) [-0.50779]
D_GDP(-1)	-0.240445 (0.04056) [-5.92771]	0.560314 (0.17716) [3.16273]
D_GDP(-2)	-0.004453 (0.02302) [-0.19343]	-0.128205 (0.10055) [-1.27498]
D_GDP(-3)	0.013352 (0.02336) [0.57161]	-0.077188 (0.10202) [-0.75661]
D_GDP(-4)	-0.017415 (0.02295) [-0.75867]	0.906509 (0.10026) [9.04190]
D_GDP(-5)	0.269453 (0.04135) [6.51702]	-0.742967 (0.18058) [-4.11428]
C	-5.577318 (8.65963) [-0.64406]	29.89095 (37.8217) [0.79031]
R-squared	0.817050	0.979673
Adj. R-squared	0.767604	0.974179
Sum sq. resids	54957.32	1048355.
S.E. equation	38.54002	168.3268

Фадеева Е., ЭПЭАМ -2015, КРСУ		
F-statistic	16.52412	178.3258
Log likelihood	-237.1437	-307.9058
Akaike AIC	10.33932	13.28774
Schwarz SC	10.76814	13.71656
Mean dependent	-3.270833	60.96167
S.D. dependent	79.94620	1047.540

Determinant resid covariance (dof adj.)	35829847
Determinant resid covariance	21289523
Log likelihood	-541.1875
Akaike information criterion	23.46615
Schwarz criterion	24.32378

Каждый столбец в таблице соответствует уравнению в VAR-модели.

В таблице приведены оценки коэффициентов модели со стандартными ошибками в (...) и t-статистиками в [...] (критическое значение t-статистики можно узнать по таблице распределения Стьюдента, для данного примера оно равно 2), а также стандартные МНК-статистики, характеризующие качество каждого уравнения системы. Последние 5 строк таблицы – статистики, характеризующие оцененную модель векторной авторегрессии:

Determinant Resid Covarience (dof adj.) – определитель ковариационной матрицы случайных ошибок модели (степени свободы скорректированы) рассчитывается по формуле:

$$|\hat{\Omega}| = \det\left(\frac{1}{T-p} \sum_t \hat{\varepsilon}_t \hat{\varepsilon}_t'\right) \quad (7)$$

где: T – длина временного ряда, p – порядок векторной авторегрессии.

При нескорректированных степенях свободы в формуле (7) число параметров p исключается.

Log Likelihood – значения логарифмической функции максимального правдоподобия рассчитывается в предположении, что случайные ошибки модели подчиняются многомерному закону нормального распределения:

$$l = \frac{T}{2} [k(1 + \log 2\pi) + \log |\hat{\Omega}|] \quad (8)$$

Информационные критерии Акаике и Шварца (Akaike Information Criteria и Schwarz Criteria):

$$AIC = -\frac{2l}{T} + \frac{2n}{T} \quad (9)$$

$$BIC = -\frac{2l}{T} + \frac{n \log T}{T} \quad (10)$$

где n=k(d+pk) – число всех параметров, оцениваемых в модели векторной авторегрессии, k – число эндогенных переменных, d – число экзогенных переменных (включая константу).

Фадеева Е., ЭПЭАМ -2015, КРСУ

Эти информационные критерии можно использовать для выбора модели, например, для определения длины лагирования в VAR-модели. Здесь предпочтительнее модели с *меньшими* значениями информационного критерия.

В окне VAR имеются меню View/Lag Structure и View/Residual Tests. Они предназначены для того, чтобы помочь проверить правомерность оцененной VAR-модели.

Меню View/Lag Structure (лаговая структура)

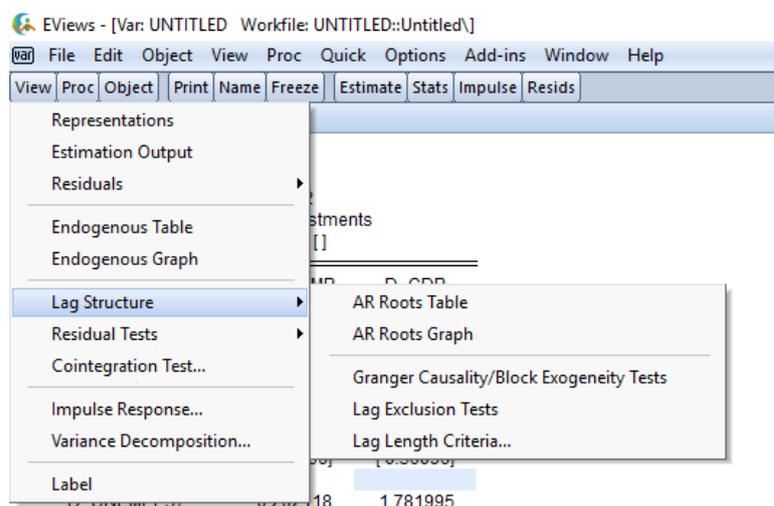


Рисунок 9. – Меню Lag Structure VAR-модели

Опции AR Roots Table/Graph (Таблица/график AR-корней). С помощью этих опций сообщаются обратные корни характеристического AR-полинома. Оцененная VAR-модель стационарна, если все обратные корни по модулю меньше единицы и находятся внутри единичного круга. Если VAR-модель не стационарна, то определенные результаты (например, стандартные ошибки отклика на импульс) не допустимы.

Таблица 6. – Значения характеристических корней VAR-модели

Root	Modulus
-1.017406	1.017406
0.003224 - 1.013573i	1.013578
0.003224 + 1.013573i	1.013578
-0.150687 - 0.820255i	0.833981
-0.150687 + 0.820255i	0.833981
0.802290 - 0.031085i	0.802892
0.802290 + 0.031085i	0.802892
0.623563 - 0.503563i	0.801503
0.623563 + 0.503563i	0.801503
-0.593503	0.593503

Warning: At least one root outside the unit

VAR does not satisfy the stability condition.

В таблице 6 приводятся значения характеристических корней, а в нижней части таблицы (последние две строки) указывается, удовлетворяет ли многомерный временной ряд условию устойчивости, т.е. является ли слабостационарным многомерным процессом.

Наглядно корни характеристического AR-полинома можно увидеть на графике:

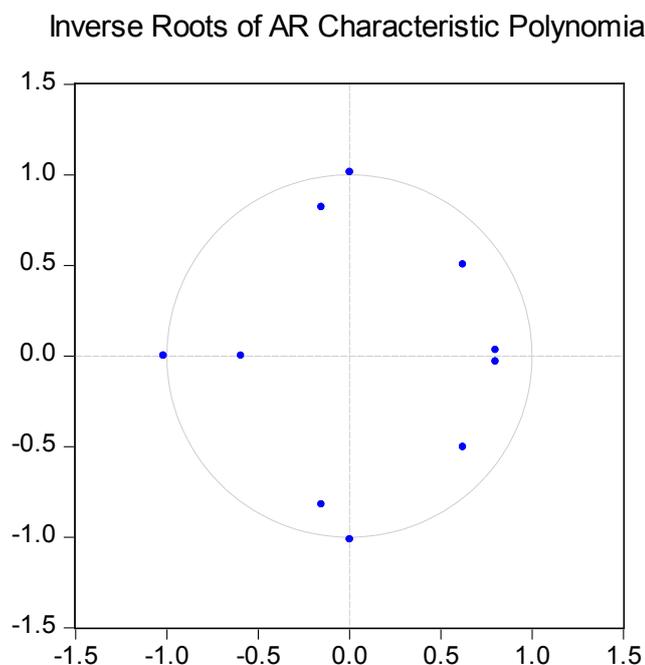


Рисунок 10. – График характеристических корней VAR-модели

Опция Granger Causality/Block Exogeneity Tests (парные тесты причинно-следственной зависимости по Грэнжеру). С помощью этой опции проверяются гипотезы о том, что некоторые эндогенные переменные на самом деле являются экзогенными. Для каждого уравнения в VAR-модели вывод результатов отображает статистику хи-квадрат (Вальда) совместной значимости эндогенной переменной этого уравнения с каждой другой лагированной эндогенной переменной. Статистика в последней строке (All)— статистика совместной значимости эндогенной переменной этого уравнения со всеми другими лагированными эндогенными переменными.

Таблица 7. – Результаты теста Грэнджера для VAR-модели

Dependent variable: D_UNEMP

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
D_GDP	30.71754	4	0.0000
All	30.71754	4	0.0000

Dependent variable: D_GDP

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
----------	--------	----	-------

Фадеева Е., ЭПЭАМ -2015, КРСУ

D_UNEMP	23.23877	4	0.0001
All	23.23877	4	0.0001

В рассматриваемом примере вероятность того, что безработица и ВВП на самом деле являются экзогенными, а не эндогенными переменными, равна 0. Следовательно, они оказывают влияние друг на друга.

Опция Lag Exclusion Tests (тесты на исключение лагов). С помощью этой опции для лага каждого порядка в VAR-модели выполняется тестирование на исключение этого лага. Для каждого уравнения в отдельности, для лага каждого порядка сообщается статистика хи-квадрат (Вальда) совместной значимости всех лагированных эндогенных переменных с лагом этого порядка в совокупности для всех уравнений (столбец Joint).

Таблица 8. – Тест на исключение лагов

Chi-squared test statistics for lag exclusion:
Numbers in [] are p-values

	D_UNEMP	D_GDP	Joint
Lag 1	96.46594 [0.000000]	16.21358 [0.000301]	97.69646 [0.000000]
Lag 2	5.153337 [0.076027]	2.234291 [0.327212]	7.302508 [0.120740]
Lag 3	0.864357 [0.649094]	9.497622 [0.008662]	13.76328 [0.008090]
Lag 4	11.75757 [0.002798]	109.9180 [0.000000]	120.6337 [0.000000]
Lag 5	45.72037 [1.18e-10]	16.94708 [0.000209]	49.55388 [4.47e-10]
df	2	2	4

Как видно из таблицы, в данном примере незначимыми оказались переменная ВВП во 2 лаге и переменная безработица в 3 лаге. Второй лаг оказался незначимым. Чтобы удалить незначимый лаг, в меню Proc необходимо выбрать опцию Specify/Estimate и в окне Lag Intervals for Endogenous вместо 1 5 указать 1 1 3 5.

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
Lag 1	67.90321	NA	17.74120	28.11941	28.20133	28.14962
Lag 2	1.014530	20.56138	4.03e+09	27.79142	28.03717	27.88205
Lag 3	66.72746	23.07764	2.65e+09	27.37016	27.77975	27.52121
Lag 4	50.78904	69.06105	4.70e+08	25.63785	26.21126	25.84931
Lag 5	486.3570	29.92074*	65136803*	23.64451*	24.54559*	23.97680*
Lag 6	485.3059	1.466785	75899432	23.78167	24.84658	24.17437
Lag 7	481.5399	4.904514	78446460	23.79255	25.02130	24.24568
Lag 8	478.5587	3.605176	84755850	23.83994	25.23252	24.35348
Lag 9	475.8768	2.993712	93756580	23.90125	25.45766	24.47520
Lag 10	471.3827	4.598588	96466451	23.87827	25.59851	24.51264

Рисунок 11. – Меню Proc VAR-модели

Опция Lag Length Criteria (критерии длины лагирования). С помощью этой опции вычисляются значения различных критериев, позволяющих наилучшим образом выбрать порядок p векторной авторегрессии VAR(p) без ограничений. Выбрав эту опцию необходимо указать количество запаздываний, для которых необходимо провести тестирование.

Таблица 9. – Таблица критериев длины лагирования

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-602.5674	NA	5.59e+09	28.11941	28.20133	28.14962
1	-591.5156	20.56138	4.03e+09	27.79142	28.03717	27.88205
2	-578.4585	23.07764	2.65e+09	27.37016	27.77975	27.52121
3	-537.2137	69.06105	4.70e+08	25.63785	26.21126	25.84931
4	-506.4600	48.63374	1.36e+08	24.39349	25.13074	24.66536
5	-486.3570	29.92074*	65136803*	23.64451*	24.54559*	23.97680*
6	-485.3059	1.466785	75899432	23.78167	24.84658	24.17437
7	-481.5399	4.904514	78446460	23.79255	25.02130	24.24568
8	-478.5587	3.605176	84755850	23.83994	25.23252	24.35348
9	-475.8768	2.993712	93756580	23.90125	25.45766	24.47520
10	-471.3827	4.598588	96466451	23.87827	25.59851	24.51264

Для каждого числа запаздываний приводится 6 различных статистик, позволяющих выбрать лучшую модель, которая указывается звездочкой «*». Таким образом, для рассматриваемого примера, порядок авторегрессии $p=5$.

Меню View/Residual Tests (тестирование остатков)

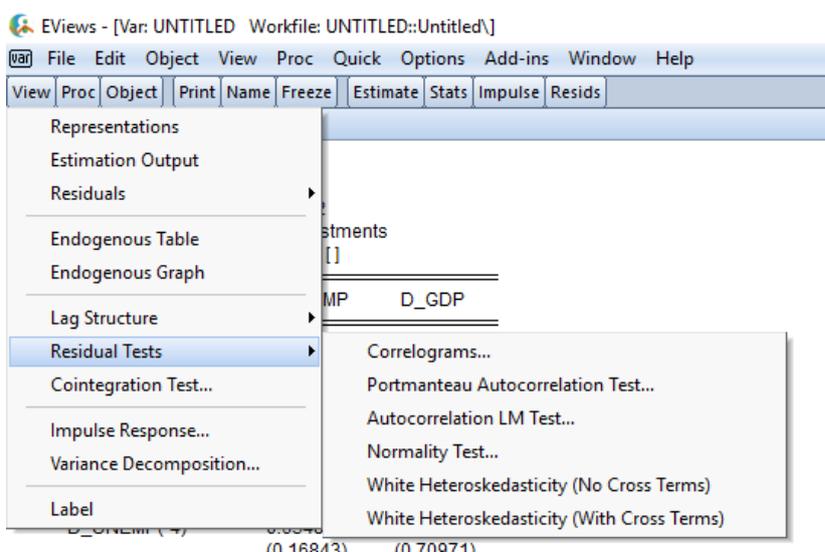


Рисунок 12. – Меню Residual Tests VAR-модели

Опция Correlograms (коррелограммы). С помощью этой опции для специфицированного числа лагов отображаются парные перекрестные коррелограммы (выборочные автокорреляции) оцененных остатков VAR-модели. Перекрестные коррелограммы могут отображаться в трех различных форматах. Предоставляются две табличные формы, в одной форме представление упорядочено по переменным (опция Tabulate by Variable), а в другой — по лагам (опция Tabulate by Lag). Форма Graph отображает матрицу парных перекрестных коррелограмм. Пунктирные линии на каждом графике представляют плюс или минус два, умноженное на асимптотическую стандартную ошибку лагированных корреляций.

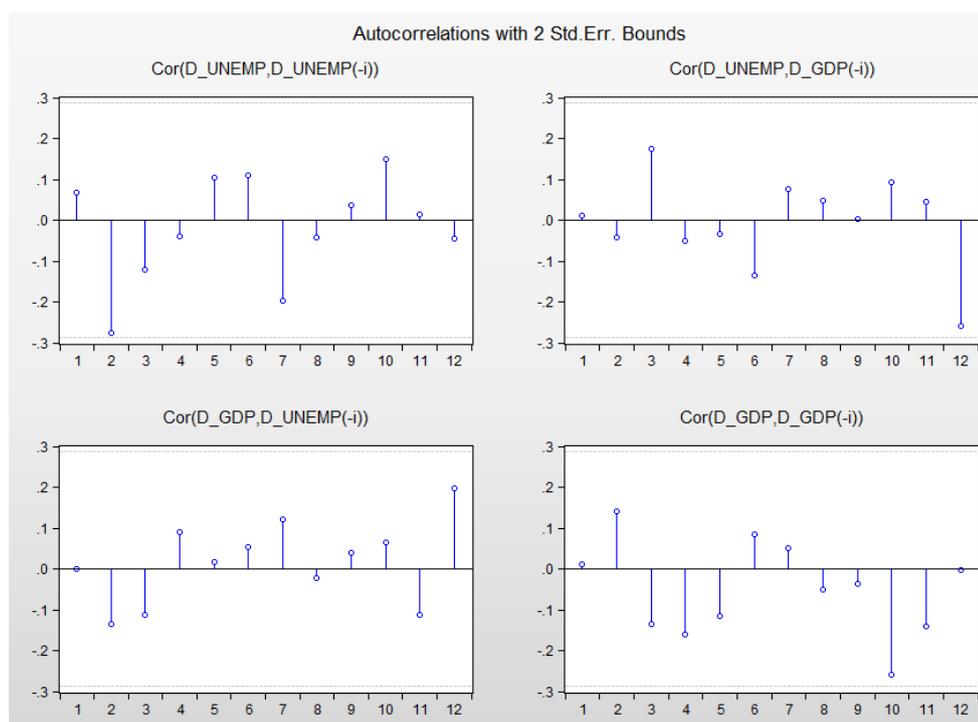


Рисунок 13. – Коррелограмма остатков VAR-модели

Фадеева Е., ЭПЭАМ -2015, КРСУ

Для рассматриваемого примера значения коэффициентов автокорреляции не выходят за пределы доверительного интервала, что говорит о независимости остатков.

Опция Portmanteau Autocorrelation Test. С помощью этой опции для остаточной сериальной корреляции до специфицированного порядка вычисляются многомерные Q-статистики Бокса-Пирса/Льюнга-Бокса. Программа EViews предоставляет как обычные Q-статистики, так и скорректированные (с коррекцией для малых выборок). Нулевой гипотезой является отсутствие сериальной корреляции вплоть до лага порядка h .

Таблица 10. – Тест Портманто

Lags	Q-Stat	Prob.	Adj Q-Stat	Prob.	df
1	0.400412	NA*	0.408932	NA*	NA*
2	8.741065	NA*	9.112222	NA*	NA*
3	12.89448	NA*	13.54253	NA*	NA*
4	15.07625	NA*	15.92264	NA*	NA*
5	16.54885	NA*	17.56648	NA*	NA*
6	18.44912	0.0181	19.73821	0.0114	8
7	21.07850	0.0492	22.81651	0.0293	12
8	21.46044	0.1615	23.27484	0.1066	16
9	21.71881	0.3560	23.59284	0.2606	20
10	26.97963	0.3054	30.23807	0.1770	24

*The test is valid only for lags larger than the VAR lag order.
df is degrees of freedom for (approximate) chi-square distribution

Для рассматриваемого примера нулевая гипотеза об отсутствии автокорреляции в остатках выше лага 6 равна отвергается, так как ее вероятность меньше 5%. Однако выше 8 лага нулевая гипотеза принимается.

Опция Autocorrelation LM Test (тест множителей Лагранжа для автокорреляций). С помощью этой опции сообщаются многомерные статистики LM-теста остаточной сериальной корреляции вплоть до специфицированного порядка. Нулевой гипотезой является отсутствие сериальной корреляции порядка h .

Таблица 11. – LM-тест

VAR Residual Serial Correlation
LM Tests
Null Hypothesis: no serial
correlation at lag order h
Sample: 2002Q1 2015Q2
Included observations: 48

Lags	LM-Stat	Prob
1	1.482373	0.8298
2	9.045710	0.0600
3	6.784975	0.1477
4	4.044740	0.4000

Фадеева Е., ЭПЭАМ -2015, КРСУ
 5 2.106139 0.7162

Probs from chi-square with 4 df.

Вероятность отсутствия сериальной корреляции для всех лагов больше 5%, следовательно, нулевая гипотеза принимается и во всех лагах сериальная корреляция отсутствует.

Опция Normality Test (Тестирование на нормальное распределение). С помощью этой опции выполняются многомерные расширения теста Джаркви-Бера (Jarque-Bera) для проверки гипотезы нормального распределения остатков.

Таблица 12. – Тест на нормальность распределения остатков

Component	Skewness	Chi-sq	df	Prob.
1	-0.158581	0.201183	1	0.6538
2	-1.797503	25.84813	1	0.0000
Joint		26.04931	2	0.0000
Component	Kurtosis	Chi-sq	df	Prob.
1	4.783883	6.364475	1	0.0116
2	9.793068	92.29156	1	0.0000
Joint		98.65603	2	0.0000
Component	Jarque-Bera	df	Prob.	
1	6.565659	2	0.0375	
2	118.1397	2	0.0000	
Joint	124.7053	4	0.0000	

По результатам теста вероятность осуществления нулевой гипотезы 0%, следовательно, распределение остатков не является нормальным распределением.

Опция White Heteroskedasticity Test (тест Уайта на наличие гетероскедастичности). Тестовая регрессия строится посредством регрессии каждого перекрестного произведения остатков на перекрестные произведения регрессоров и тестируется как совместная значимость регрессии. Опция NoCrossTerms использует только уровни и квадраты исходных регрессоров, в то время как опция With Cross Terms включает все неизбыточные перекрестные произведения исходных регрессоров в тестовом уравнении. Тестовая регрессия всегда включает в качестве регрессора постоянный член. Нулевой гипотезой является отсутствие гетероскедастичности.

Таблица 13. – Тест Уайта на наличие гетероскедастичности

Joint test:

Chi-sq	df	Prob.
137.1428	132	0.3619

Individual components:

Dependent	R-squared	F(44,3)	Prob.	Chi-sq(44)	Prob.
res1*res1	0.986492	4.979463	0.1047	47.35163	0.3375
res2*res2	0.934216	0.968271	0.6126	44.84238	0.4363
res2*res1	0.976709	2.859222	0.2105	46.88204	0.3551

Вероятность отсутствия гетероскедастичности составляет 36%, следовательно, нулевая гипотеза принимается и в остатках гетероскедастичность отсутствует.

Отклики на импульсы

Импульс – это однократное возмущение, которое придается одному из параметров.

Функция импульсного отклика описывает реакцию динамического ряда в ответ на некоторые внешние шоки. Под шоком понимается одномоментное изменение экзогенных переменных, равное их одному стандартному отклонению колебаний за весь наблюдаемый период.

Функции импульсного отклика характеризуют время возвращения эндогенной переменной на равновесную траекторию при единичном шоке экзогенной переменной.

Чтобы получить функцию отклика на импульсы, необходимо на панели инструментов VAR-объекта выбрать опцию View/Impulse Response. В результате появится диалоговое окно с двумя страницами: Display и Impulse Definition.

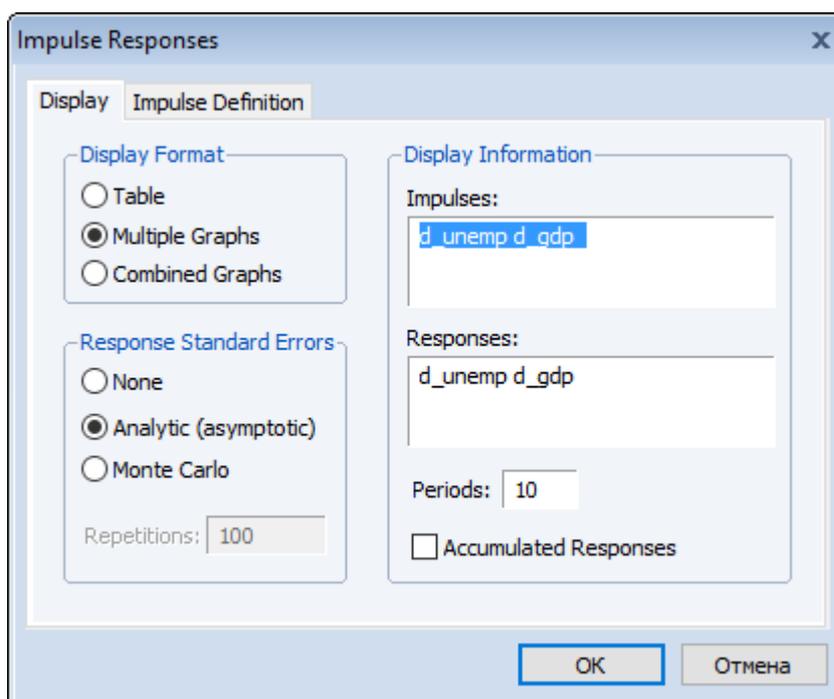


Рисунок 14. – Вкладка Display диалогового окна функции отклика

Страница диалога Display предоставляет следующие опции:

- Display Format: с помощью этого блока опций отображаются либо табличные, либо графические результаты.
- Display Information: в этом блоке опций следует ввести переменные, для которых необходимо генерировать возмущения (ввести эти переменные в редактируемое окно Impulses), и переменные, для которых нужно наблюдать отклики (ввести эти переменные в редактируемое окно Responses). Чтобы отобразить накопленные отклики, необходимо

сделать отметку в окошке выбора Accumulate Response. Для стационарных VAR-моделей отклики на импульсы должны затухать на нуле, а накопленные отклики должны асимптотически сходиться к некоторой (отличной от нуля) константе.

- Response Standard Errors: в этом блоке предоставляются опции для вычисления стандартных ошибок откликов.

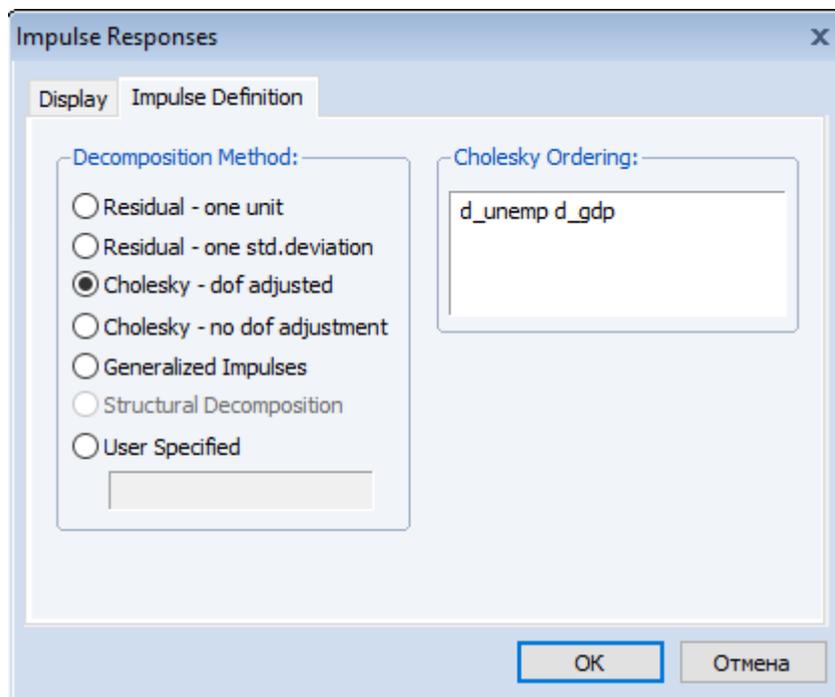


Рисунок 15. – Вкладка Impulse Definition диалогового окна функции отклика

Страница Impulse Definition предоставляет следующие опции преобразования импульсов:

- Residual — One Unit: с помощью этой опции на остатки устанавливается воздействие единичных импульсов.
- Residual — One Std. Dev.: с помощью этой опции устанавливается воздействие импульсов с величинами в одно среднее квадратичное отклонение остатков.
- Cholesky: при выборе этой опции для ортогонализации импульсов применяется обращение нижней треугольной матрицы (фактор Чолески) в разложении Чолески остаточной ковариационной матрицы. С помощью этой опции налагается упорядочение переменных в VAR-модели и весь эффект любой общей компоненты приписывается переменной, которая первой входит в VAR-систему. Следует отметить, что при изменении упорядочения переменных, отклики могут изменяться разительно.
- С помощью опции Generalized Impulses (обобщенные импульсы) строится ортогональное множество возмущений, которое не зависит от упорядочения в VAR-системе.
- User Specified (импульсы, специфицированные пользователем) позволяет специфицировать собственные импульсы пользователей.

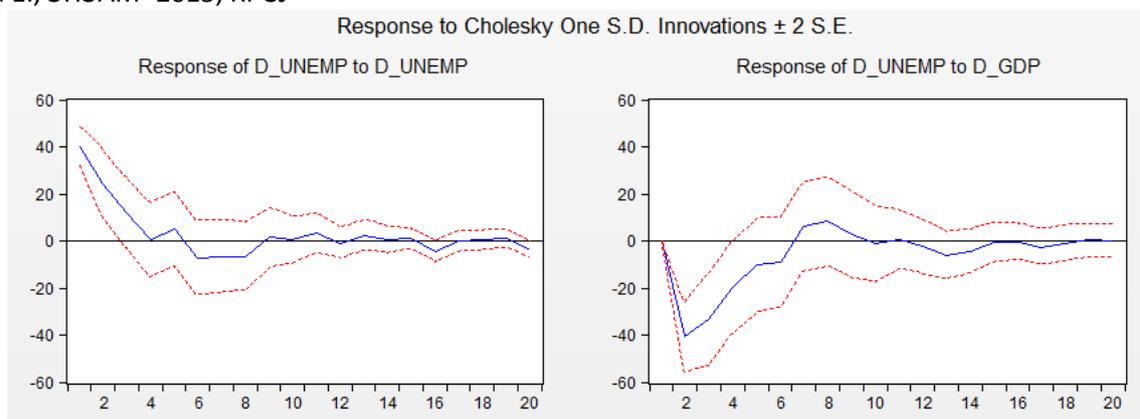


Рисунок 16. – Графики откликов безработицы

По полученным графикам видно, что при подаче импульса на безработицу, безработица вернется на равновесную траекторию через 4 квартала; при подаче импульса на ВВП безработица вернется на равновесную траекторию через 10 кварталов.

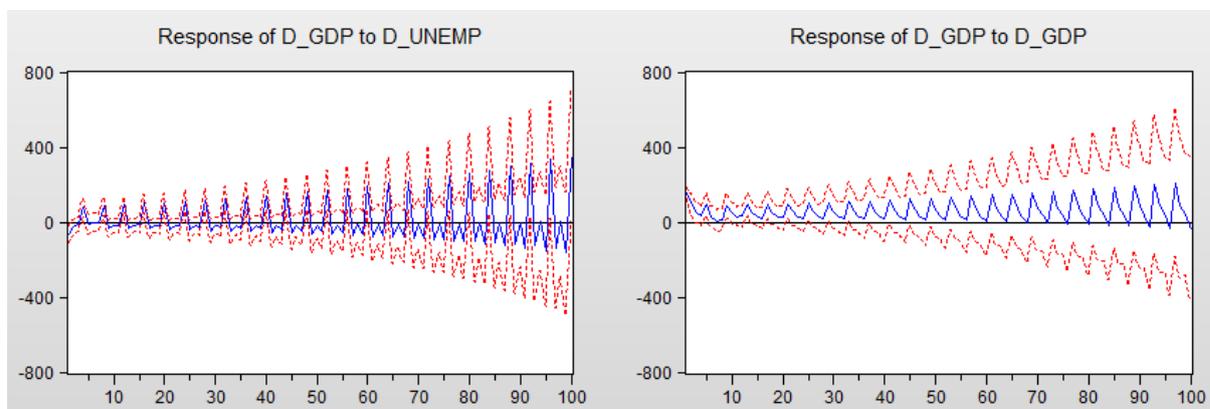


Рисунок 17. – Графики откликов ВВП

При подаче импульса на безработицу, ВВП вернется на равновесную траекторию через 3 квартала, а при подаче импульса на ВВП, ВВП вернется к равновесной траектории через 7 кварталов.

Декомпозиция (разложение) дисперсии

Декомпозиция дисперсии разделяет вариацию эндогенной переменной на компоненты воздействия в VAR-модели. Она предоставляет информацию об относительной важности каждого случайного возмущения в воздействии на переменные в VAR-системе.

Чтобы получить декомпозицию дисперсии, на панели инструментов VAR-модели необходимо выбрать опцию View/Variance Decomposition...и в диалоговом окне предоставить ту же самую информацию, что и для откликов на импульсы:

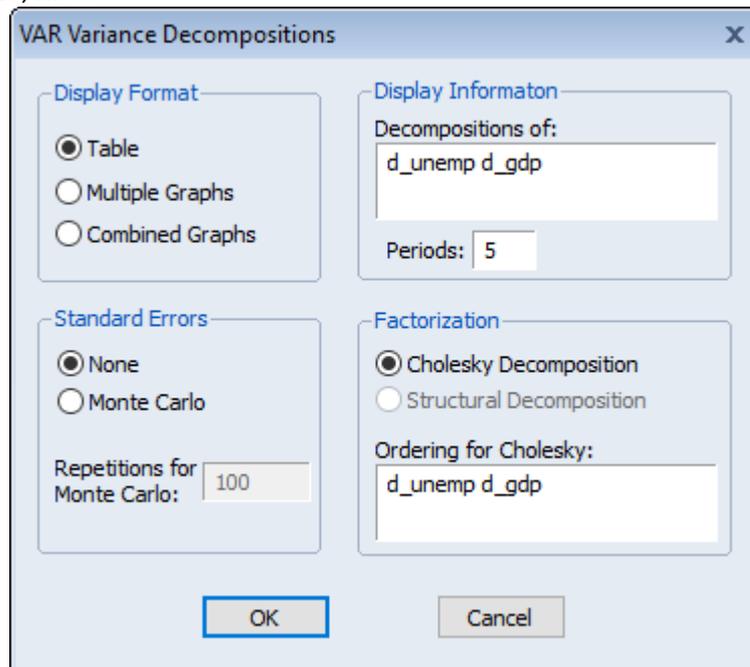


Рисунок 18. – Диалоговое окно разложения дисперсии

Формат таблицы отображает декомпозицию на отдельные дисперсии для каждой эндогенной переменной. Второй столбец, помеченный «S.E.», содержит ошибку прогноза переменной в заданном горизонте прогнозирования. Источник этой ошибки прогноза — вариация в текущих и будущих значениях возмущений каждой эндогенной переменной в VAR-модели. Остальные столбцы предоставляют проценты дисперсии прогноза, обусловленные каждым возмущением, и в сумме по каждой строке составляют 100%.

Как и в случае с откликами на импульсы, если изменить упорядочение переменных в VAR-модели, декомпозиция дисперсии, основанная на факторе Чолески, может разительно изменяться.

Таблица 14. – Результаты разложения дисперсии

Variance Decomposition of D_UNEMP:			
Period	S.E.	D_UNEMP	D_GDP
1	40.06781	100.0000	0.000000
2	62.09260	57.14945	42.85055
3	71.56784	45.80815	54.19185
4	74.21242	42.60796	57.39204
5	75.10881	42.05808	57.94192

Variance Decomposition of D_GDP:			
Period	S.E.	D_UNEMP	D_GDP
1	168.8316	15.06172	84.93828
2	198.2125	13.01191	86.98809
3	204.7801	12.43729	87.56271
4	220.6405	22.67265	77.32735
5	240.6137	19.27705	80.72295

Cholesky
 Ordering:
 D_UNEMP
 D_GDP

По таблице 14 видно, что на безработицу в первом лаге влияет только сама безработица, во втором лаге – на 57% безработица и на 43% - ВВП и т.д. Во 2, 3, 4, 5 лагах на безработицу оказывают примерно одинаковое влияние как сама безработица, так и ВВП. А на ВВП во всех лагах в среднем на 80% влияет сам ВВП и на 20% безработица.

Построение прогноза по VAR-модели

Для построения прогноза по VAR-модели необходимо:

1. Расширить диапазон данных (Range) на необходимое количество периодов вперед
2. В окне VAR-модели выбрать Proc/Make Model

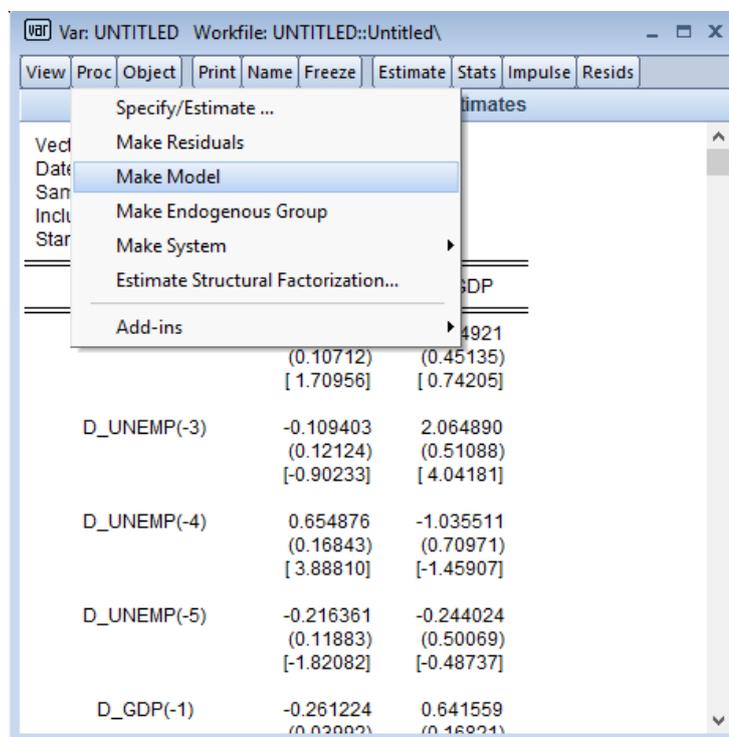


Рисунок 19. – Меню Proc VAR-модели

3. В открывшемся окне выбрать опцию Solve

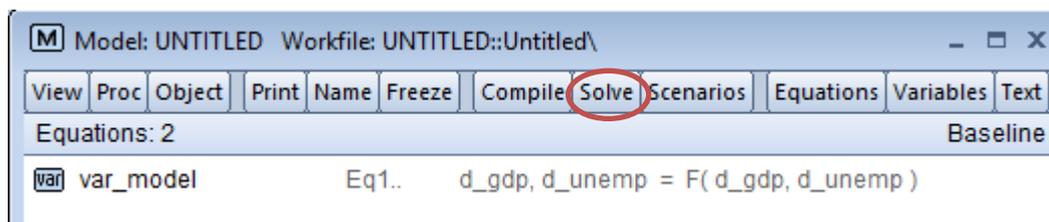


Рисунок 20. – Опции VAR-модели

4. В диалоговом окне Model Solution настроить необходимые параметры и нажать ОК.

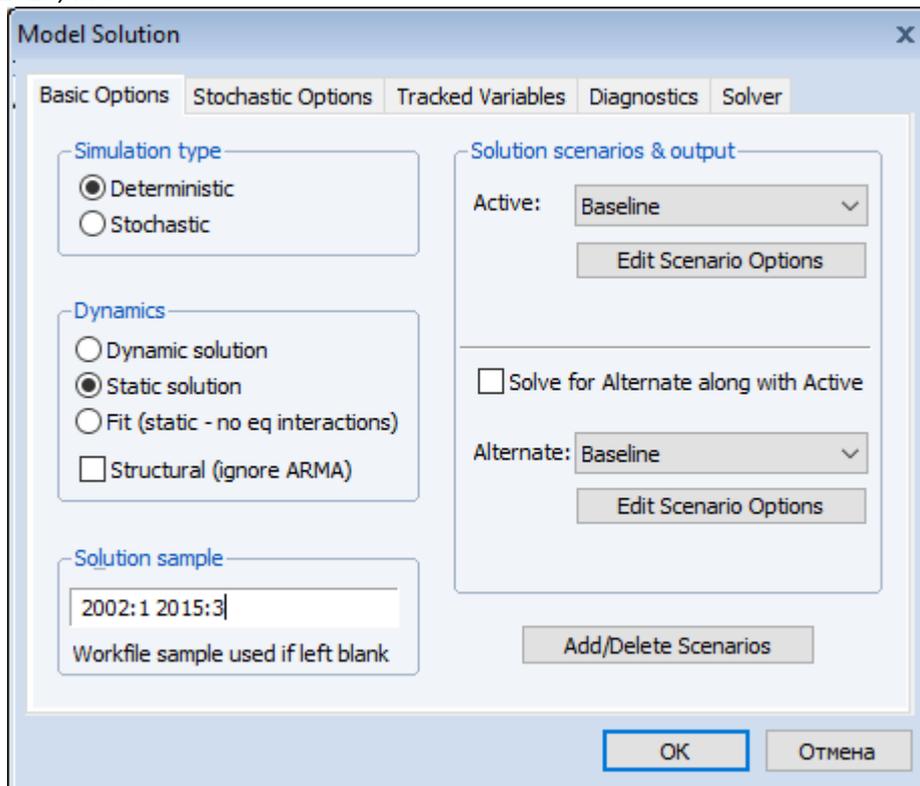


Рисунок 21. – Параметры прогноза VAR-модели

5. В списке переменных появятся две новых переменных: d_gdp_0 и d_unemp_0, содержащие прогнозные значения первых разностей показателей ВВП и количества безработных.

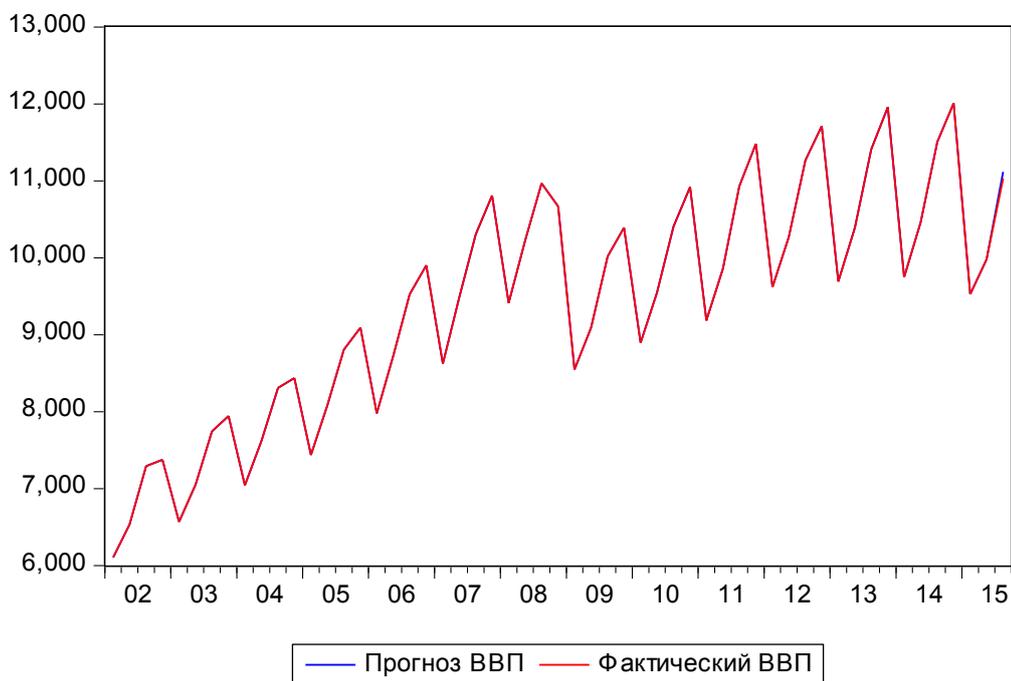


Рисунок 22. – Прогноз ВВП

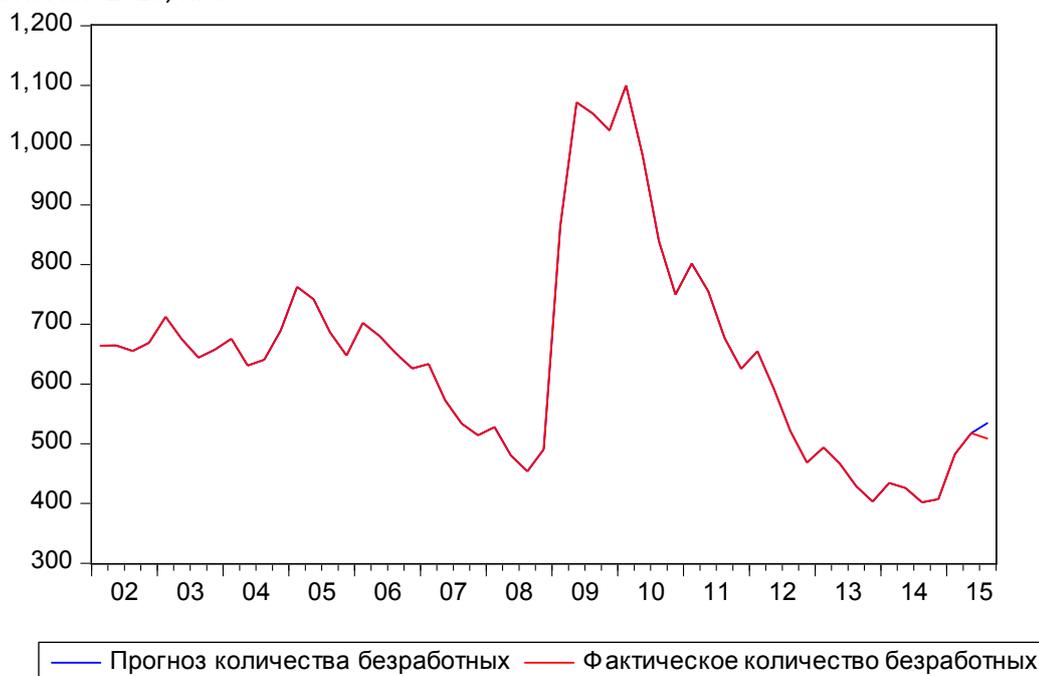


Рисунок 23. – Прогноз количества безработных

Прогноз ВВП на 3 квартал 2015 года по VAR-модели составил 11115.8 млрд. руб, а реальные данные 11027.8 млрд. руб. Отклонение прогнозных данных от реальных составило 0.8%.

Прогноз количества безработных на 3 квартал 2015 года по VAR-модели составил 535.1 тыс. человек, а реальные данные составили 508.5 тыс. человек. Отклонение прогнозных данных от реальных составило 5%.

Список литературы

1. Векторная авторегрессия // Википедия
URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Векторная_авторегрессия
2. Туктамышева Л.М. Подход к математическому моделированию многомерных временных рядов // - ФГБОУ ВПО ОГУ, г. Оренбург
3. Тест Грэнджера на причинность // Википедия
URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Тест_Грэнджера_на_причинность
4. МИЭФ ГУ-ВШЭ Пособие для студентов по курсу "Анализ временных рядов". Москва: 2003.
5. Банников, В.А. Векторные модели авторегрессии и коррекции регрессионных остатков (Eviews) / В.А. Банников // Прикладная эконометрика. 2006. № 3. С. 96-129.