

УДК 330.38

UDC 330.38

08.00.00 Экономические науки

Economics

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ САХАРНОГО ПОДКОМПЛЕКСА АПК**APPLICATION OF SPECTRAL ANALYSIS IN FORECASTING OF INDICATORS OF ACTIVITY OF COMPANIES OF THE SUGAR SUBCOMPLEX OF AIC**

Жмурко Даниил Юрьевич
канд. экон. наук, доцент
РИНЦ SPIN-код автора: 1543-2028
danis1982@list.ru

Zhmurko Daniil Yurivich
Cand.Econ.Sci., associate professor
RSCI SPIN-code: 1543-2028
danis1982@list.ru

Краснодарский университет МВД РФ, Краснодар, Россия

Krasnodar University of the Ministry of internal Affairs of the Russian Federation, Krasnodar, Russia

Для повышения системности и эффективности стратегического планирования и прогнозирования в современных условиях требуется развитие существующих классификаций видов планирования, стратегий, прогнозов и методов прогнозирования. В работе рассматривается введение в проблематику спектрального анализа макроэкономической динамики мирового и российского сахарного подкомплекса АПК. Статья посвящена вопросам прогнозирования деятельности интегрированных производственных систем сахарного подкомплекса АПК. Рассмотрены аспекты практического применения экономико-математических методов (на основе спектрального анализа) для управления экономическими параметрами интегрированных производственных систем сахарного подкомплекса АПК, ориентированных на удовлетворение потребностей в сахарной продукции населения не только отдельных регионов, но и страны в целом. Процедуры выявления и исследования периодических составляющих динамики развития агропромышленного сегмента АПК базируются на методах спектрального анализа случайных процессов. В работе описываются эксперименты с различного рода нестационарными временными рядами, относящимися к аграрному сектору и пищевой промышленности сахарного подкомплекса. Приведены результаты вычислительных экспериментов спектров временных рядов производства сахара, посевных площадей, валового сбора и урожайности сахарной свеклы и сахарного тростника по странам. Систематизированно изложены идеи и методы, лежащие в основе спектрального анализа. Дается оценка полученным результатам. Разработанный автором алгоритм адаптивной методики спектрального анализа был реализован в рамках конкретного программного продукта в формате MS Excel. Результаты проведенных им эмпирических исследований подтвердили возможность практического использования разработанных моделей при прогнозировании вероятных сценариев развития сахарного подкомплекса при участии интегрированных производственных систем. Изложенные результаты иллюстрируются многочисленными графиками, построенными на реальных данных. Вы-

Improvement of consistency and effectiveness of strategic planning and forecasting in modern conditions requires the development of the existing classifications of types of planning, strategies, forecasts and forecast methods. This work examines the introduction to problems of spectral analysis of the macroeconomic dynamics of worldwide and Russian sugar subcomplex. The article is devoted to forecasting the activities of integrated manufacturing systems of sugar subcomplex in agro industrial subcomplex. The article deals with aspects of practical application of economic-mathematical methods (based on spectral analysis) to control the economic parameters of the integrated industrial systems of the sugar subcomplex, oriented to meet the needs of the sugar production of the people not only of separate regions, but also of the country as a whole. Procedures of identifying and research of periodic components of the dynamics of the development of the agriculture segment are based on methods of spectral analysis of random processes. The study describes the performed experiments with various kinds of non-stationary time series of agricultural sector and food industry sugar subcomplex. The article provides examples of the results of numerical experiments the spectra of time series of sugar production, sown areas, gross harvest and yield of sugar beet and sugar cane across countries, systematic ideas and methods underlying the spectral analysis. The estimation of obtained results is given in article. The author's algorithm for the adaptive method of spectral analysis was implemented in the context of a specific software product, named MS Excel. The results of the empirical research confirmed the possibility of practical use of developed models in forecasting possible scenarios for the development of sugar subcomplex in the interests of integrated production systems. The results are illustrated by numerous graphs based on real data. The projections of latent structures of sugar subcomplex by macroregions are built. It is revealed that each of the macroeconomic time series can contain at least from 2 to 13 harmonics (cycles) of different kind and

строены проекции латентных структур сахарного подкомплекса АПК по макрорегионам. Установлено, что каждый макроэкономический временной ряд может содержать, по меньшей мере, от 2 до 13 гармоник (циклов) разного рода и силы воздействия на тренд

strength of impact on the trend

Ключевые слова: СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ, ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ, НАЛОЖЕНИЕ ЧАСТОТ, ГАРМОНИКИ, АГРАРНЫЕ ЦИКЛЫ, ЭФФЕКТ ПРОСАЧИВАНИЯ, МОДЕЛИ ФИЛЬТРАЦИИ, ОСТАТКИ, АМПЛИТУДЫ И ФАЗЫ

Keywords: SPECTRAL ANALYSIS, CONVERSION OF FOURIER, OVERLAPPING FREQUENCIES, HARMONICS, AGRICULTURAL CYCLES, TRICKLE-DOWN EFFECT, FILTER MODEL, BALANCES, AMPLITUDE AND PHASES

Doi: 10.21515/1990-4665-128-058

Еще до появления санкций со стороны Запада Президентом и Правительством Российской Федерации была подготовлена программа (стратегия) социально-экономического развития России до 2030 г. (так называемая Стратегия-2030). В ней основная роль отводится отечественному производителю, деятельность которого охватывает, так или иначе, все отрасли народного хозяйства. Как известно, миссия бизнеса – удовлетворять потребности общества. В настоящее время по ряду товаров сделать это не представляется возможным: иногда обстоятельства складываются не в пользу товаропроизводителей. В этом случае приходится импортировать товары. Весь комплекс таких мероприятий по силам выполнить только крупным производственным объединениям, которые выпускают готовую продукцию из собственного сырья, а при необходимости смогут получить квоту на ввоз импортного. По сути, такие образования – «квазидостаточные» конгломераты, которые в стремлении получить сверхприбыль сами выбирают стратегии развития, тем самым частично выполняя функции государства.

Для того чтобы перейти к планированию устойчивого развития, необходимо иметь или разработать (адаптировать) методы и модели прогнозирования. Стратегическое планирование и прогнозирование как наиболее эффективные инструменты менеджмента сейчас активно используются на всех уровнях управления: страны, регионов, отраслей, крупных предприятий и организаций.

Методы прогноза либо основываются на чисто статистических оценках, либо используют спектральное разложение. Отметим, что в разных прикладных областях применяют разные методы прогноза. Так, например, в гуманитарных (социология, психология, лингвистика и др.) предпочитают только статистические методы, а в инженерных и естественнонаучных областях (исследование сигналов физического и технического происхождения) – спектральные. Однако все методы прогнозирования имеют один существенный недостаток – они пытаются чисто формальными вычислениями восполнить недостаточность информации о сущности изучаемых процессов. Именно с этим связана слабая результативность всех известных формальных методов прогноза [2, 14].

Рассчитывать на повышение точности прогноза можно только при использовании методов, основанных на адаптированных математических моделях.

Происходящие в современной экономике перемены резко ограничивают возможность применения методов, которые основаны на идее экстраполяции стационарных процессов. Все чаще требуется, чтобы прогнозные модели отражали качественные изменения закономерностей развития изучаемых процессов. При этом требуемый уровень точности прогнозных оценок можно получить только с помощью моделей, обладающих адаптивными свойствами. В отличие от других, адаптивные модели при отражении текущего состояния исследуемого объекта способны учитывать особенности его динамических характеристик. Это делает их эффективным инструментом для прогнозирования и анализа процессов, характеризующих экономическую систему на любом этапе ее функционирования.

В последнее время все большее применение находят анализ и прогнозирование динамических рядов, что в определенной мере связано с интенсивным развитием информационных технологий. Благодаря их использованию в ряде вузов страны в учебные планы введена новая дисциплина

«Анализ и прогнозирование временных рядов». Ее целью является изложение методов анализа и прогнозирования временных рядов с помощью современных технологий. Среди этих методов особое место занимают статистические системы анализа (спектральный анализ) и прогнозирования временных рядов.

Спектральный анализ был и является ключевым звеном в системе выявления циклических компонент. Одним из центральных вопросов спектрального анализа является вычисление преобразования Фурье.

В технических науках спектральный и гармонический анализ используется для решения различных классов задач. В гуманитарных науках, в экономике, есть устоявшее мнение, что для решения разных задач (проблем) может применяться и быть полезным корреляционный анализ, спектральный же считается отчасти «неработающим» инструментом. Последний постулат в ходе нашего исследования автор попытается опровергнуть.

Объектом исследования являются интегрированные производственные системы сахарного подкомплекса АПК.

Предметом исследования являются методы спектрального анализа сахарного подкомплекса АПК. Анализ будет проводиться на основе данных статистики Краснодарского края, России, а также Германии, Бразилии, Индии и США (дополнительно рассматривается мировое производство сахара). В дальнейшем спектральный анализ станет базисом для проведения других видов эконометрического анализа.

Целью работы является выявление новых закономерностей при использовании адаптивных моделей спектрального анализа в деятельности интегрированных производственных систем сахарного подкомплекса АПК.

Основные задачи статистического исследования: сбор, обработка и анализ статистических данных, характеризующих состояние, развитие сельского хозяйства и пищевой промышленности сахарного подкомплекса АПК. Информационными источниками статистики для него служат: отече-

ственная и зарубежная периодическая отчетность, статистические материалы международных агентств, отслеживающие деятельность объектов сахарного рынка.

В статистике сахарного подкомплекса АПК применяется следующая система основных показателей: посевные площади; валовой сбор и урожайность сахарной свеклы и сахарного тростника; производство сахара (по видам).

Рассмотрим причины применимости спектрального анализа в физике, математике, радиотехнике и других сферах и невозможности его использования при решении социально-экономического блока задач.

1. Процессы в технических приборах (аппаратуре, стендах и т. п.) имеют характер волновой (циклической) природы и протекают, как правило, с огромной скоростью (со скоростью света), т. е. относятся к классу стационарного ряда (так как не «выходят» из строго заданных ограничений). Если же взять разные статистические графики (диаграммы) по экономике, социологии и другим гуманитарным наукам, то циклических колебаний можно не обнаружить, так как природа этих временных рядов относится к классу нестационарных (постоянно инфляцирующих).

2. В технических науках спектральный анализ применяют сразу после получения данных об исследуемом процессе или явлении. В социально-экономических науках все происходит иначе: полученную функцию разбивают на тренд, сезонную компоненту и нерегулярную (остатки, выбросы и т. п.) компоненту (рисунок 1). Ключевым звеном становится сезонная компонента, она и будет подвергаться исследованию, разложению на гармоники Фурье. Результаты этой процедуры будут относиться к классу статистики третьего порядка.

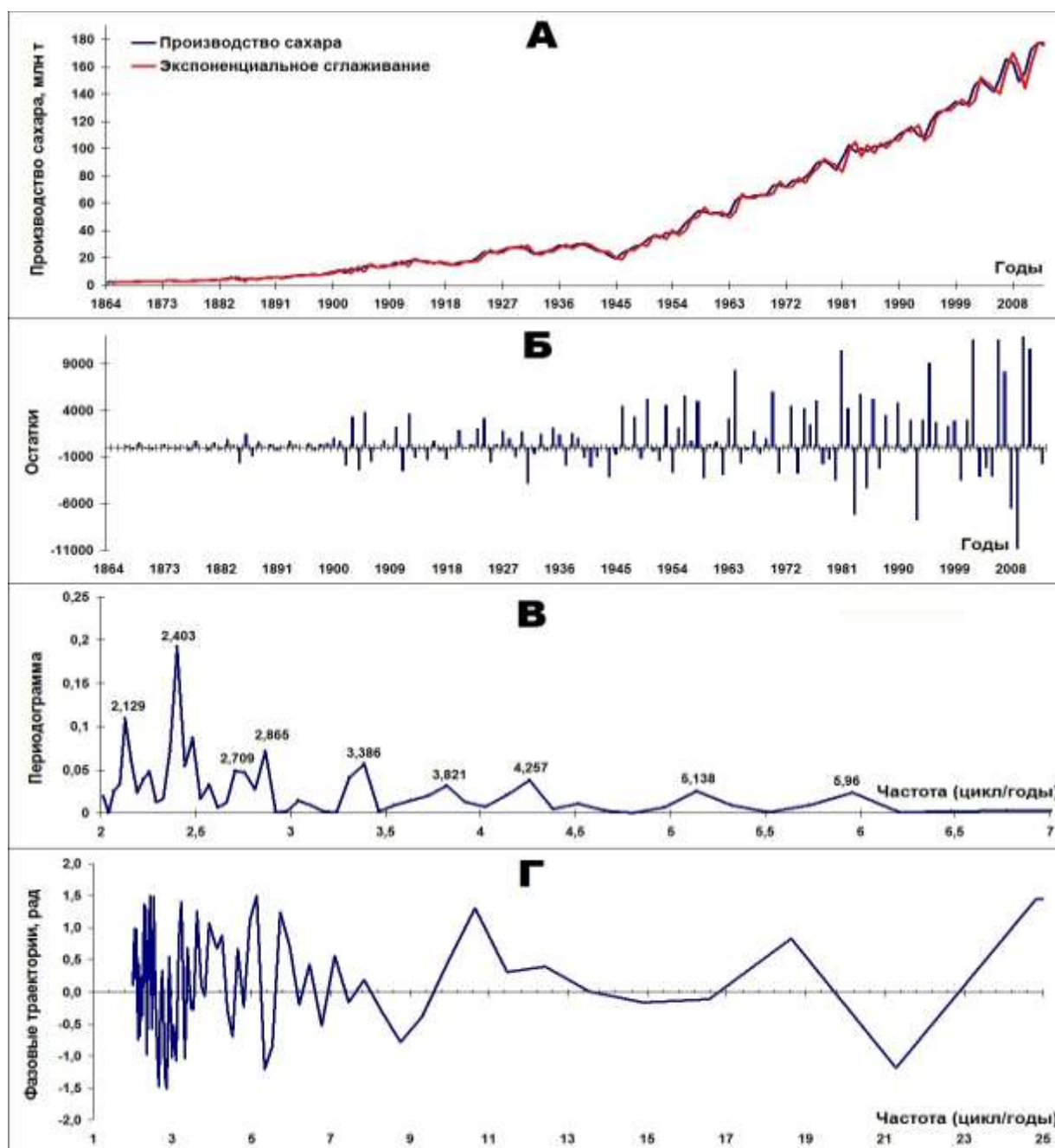


Рисунок 1 – Информационный портрет объемов мирового производства сахара, 1864–2013 гг. (А); остатки от экспоненциального сглаживания (Б); амплитудный портрет (В); фазовый портрет (Г)

3. Отличие исследований в области техники от социально-экономических состоит в наличии проблемы полипериодичности (квази-периодичности), когда выявленные закономерности содержат одновременно несколько циклов (частот). В физике такое явление называется турбулентностью. Решение технических задач находят при помощи фильтров (окон). В экономике решение этой проблемы находится в разбиением вре-

менного ряда на две части: тренд и остатки. Именно остатки становятся основой для спектрального анализа. В дальнейшем их роль сводится к наложению полученных весовых коэффициентов на тренд.

На рисунке 1 представлены: временной ряд (А), график остатков (Б), амплитудный спектр (В) и фазовый спектр (Г). Амплитудный спектр показан в виде периодограммы (рисунок 1В), т. е. графического изображения оценки (точнее, одной из нескольких возможных оценок) модуля преобразования Фурье автокорреляционной функции стационарного временного ряда или случайного процесса. Другими словами, это графическая форма одной из оценок спектра функции автокорреляции. Ее еще можно рассматривать как график зависимости мощности процесса (или квадрата амплитуды) от частоты [2, с. 10].

При анализе периодограммы нужно обращать особое внимание на ее пики (величины, характеризующие «энергетический вклад» k -той гармоники в функцию $\varphi(\tau)$ [2, с. 72]).

Большой пик в области некоторой частоты ω_0 указывает на то, что в спектральном разложении автокорреляционной функции присутствует соответствующая гармоническая компонента (рисунок 2)¹. Чем выше и резче выражен пик, тем большая часть мощности сосредоточена около частоты ω_n и тем большую роль

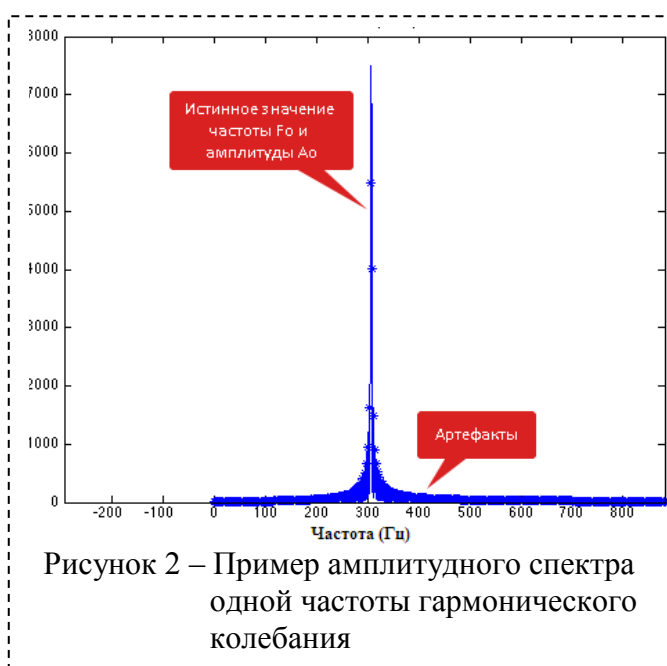


Рисунок 2 – Пример амплитудного спектра одной частоты гармонического колебания

играет эта частота в описании соответствующего случайного процесса или временного ряда [2, с. 10].

¹ Артефакт – [от лат. arte искусственно + factus сделанный] – биол. образования или процессы, возникающие иногда при исследовании биологического объекта вследствие воздействия на него самих условий исследования.

Фазовые траектории, представленные на рисунке 1Г, изображены в виде сложной «сжатой» кривой, состоящей из волн различных интегрированных частот (периодов) с меняющимися фазовыми отношениями. Ключевым на этом графике является фазовое ядро, показанное в диапазоне со 2-й по 4-ю единицу частоты, т. е. речь идет о том, что большинство циклов являются краткосрочными.

На рисунке 3 представлен спектр и его базовая «сжатая» часть.

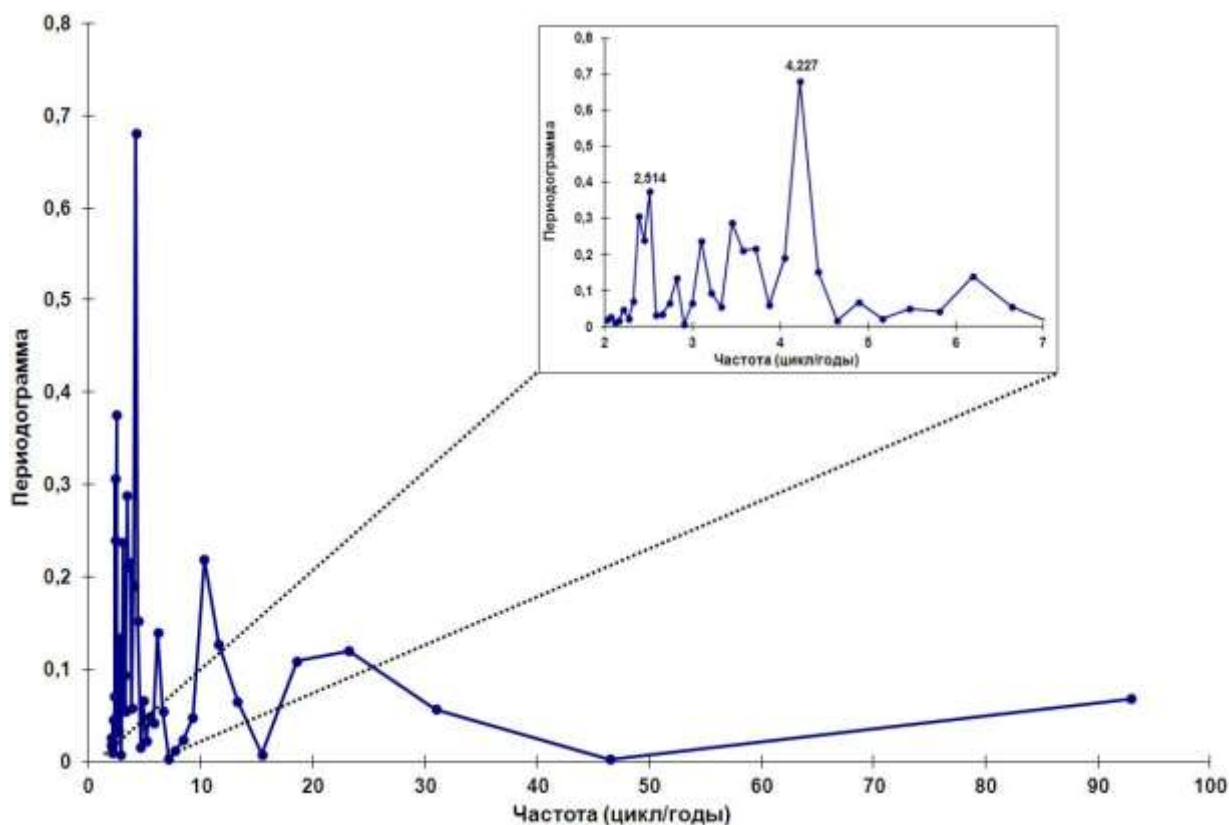


Рисунок 3 – Фрагмент амплитудного «растянутого» спектра

Такого рода временные ряды не являются чисто случайными, т. е. в них имеются некоторые, обычно не сразу замечаемые, закономерности. Здесь основным инструментом является периодограмма. Она позволяет более конкретно указать регулярные компоненты колебательного типа [2, с. 10].

При этом используются спектральная плотность (АЧХ – амплитудно-частотная характеристика) и ФЧХ (фазово-частотная характеристика). АЧХ показывает, на каких частотах исходного временного ряда сосредото-

точена основная «энергия» и где находятся области резонанса². Фазово-частотная характеристика является более изящным инструментом, она описывает сдвиги фаз отдельных гармоник и не носит явного энергетического характера [2, с. 10].

В современных условиях при решении задач управления сложными динамическими объектами используются математические методы и алгоритмы.

Алгоритм, по которому будет проходить исследование, представлен на рисунке 4.

Этап 1. Сбор статистических данных за период от 60 до 180 лет. Построение макроэкономического ряда.

Этап 2. Полученные динамические ряды из нестационарного состояния³ переводят в стационарное, производя сглаживание хронологических рядов (т. е. исследование переходит из параметрической в непараметрическую область). В научной работе используются две сезонные модели: мультипликативная и аддитивная, которые сочетаются с выбранными для сглаживания моделями – Хольта–Уинтера, скользящей средней, экспоненциальной и обратного быстрого преобразования Фурье (БПФ)⁴. Из полученных остатков (выбросов) также строятся динамические ряды.

² Пики, отмеченные на периодограммах являются «хорошими» циклами, если они высоки и имеют узкую ширину. Также существуют и другие пики, которые не очень хороши, поскольку имеют не узкую ширину (это означает, что энергия циклов распределяется в широком диапазоне, что делает их менее точными).

³ Нестационарность экономических показателей приводит к тому, что спектр колебания таких величин одного и того же отраслевого сегмента будет зависеть от времени его вычисления. Если сравнить две оценки спектральной плотности мощности, вычисленные на разных интервалах времени, то можно заметить, что спектральные пики медленно «плывут» или «расщепляются». Этим объясняется известная нам из технического анализа концепция правого и левого смещения для трендовых рынков. Концепция является следствием характерного для любых волн (свет, звук и т. д.) эффекта, известного в физике под названием «эффект Доплера»: изменение длины волны гармонического колебания, наблюдаемое при движении источника волн относительно приемника. Иначе говоря, нестационарность анализируемых процессов не только не является помехой в определении направления тренда, но и служит прямым доказательством наличия трендового движения на финансовых и товарных рынках, в чем часто сомневаются ортодоксальные сторонники фундаментального анализа [6, с. 24].

⁴ Для непериодических функций используется не ряд Фурье, а преобразование Фурье. Для таких функций преобразование Фурье называется *спектральной плотностью* стационарного случайного процесса.

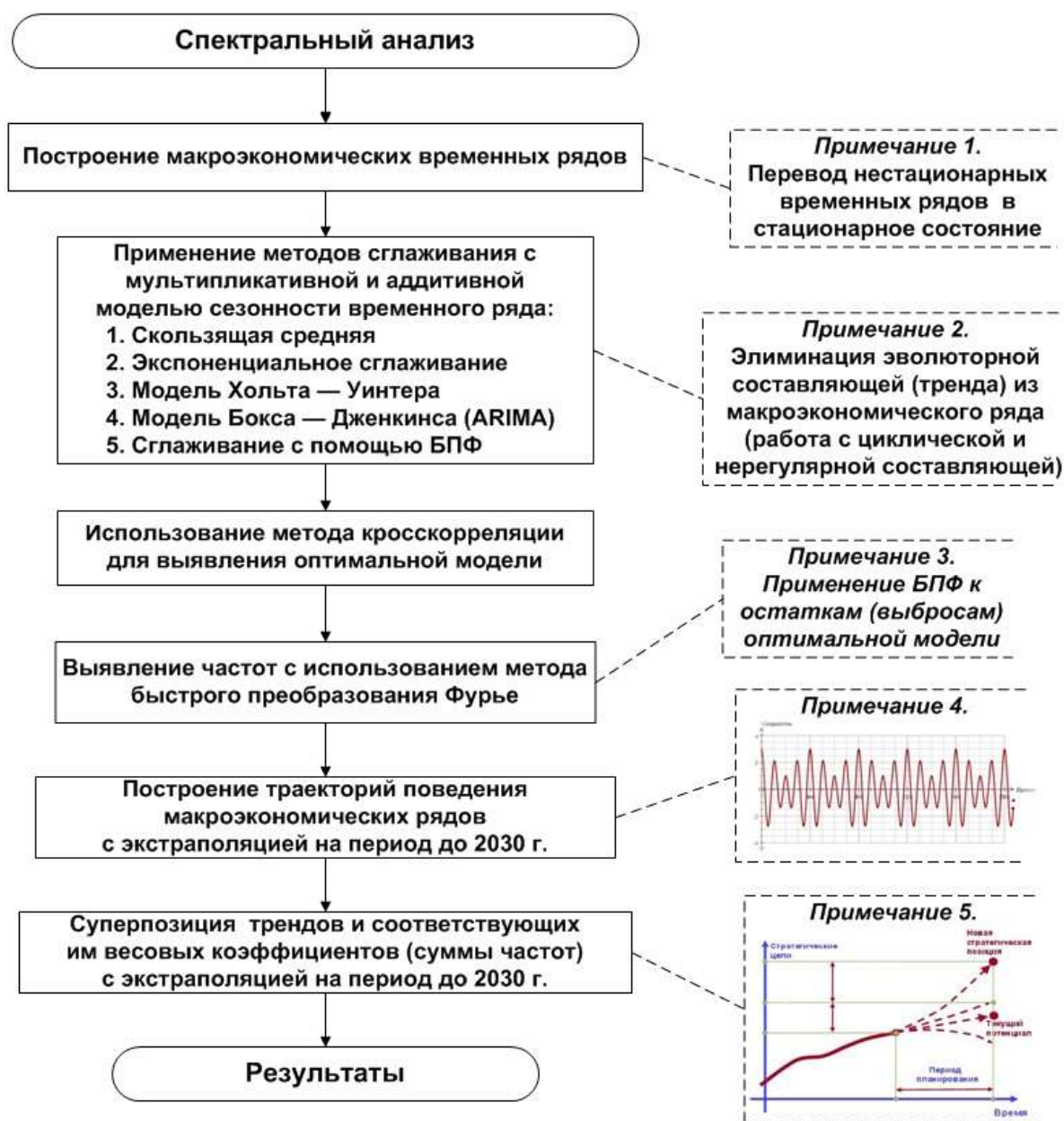


Рисунок 4 – Алгоритм адаптивной модели анализа Фурье для ИПС СП АПК

Этап 3. Выбор оптимальных моделей траекторий по аппроксимации с помощью кросскорреляционного метода.

Этап 4. Выявление базовых частот⁵ временных рядов, полученных на шаге 3. Результаты получают по частотам, выявленным при использовании аддитивных и мультипликативных моделей остатков, конкретизируя после элиминирования, т. е. разности основного временного ряда и сглаживаю-

⁵ Выявленные коэффициенты амплитуды (гармоники), с точки зрения автора, правильнее называть весовыми коэффициентами (силами) тренда.

щей кривой. Далее остатки обрабатываются с помощью метода спектрального анализа.

Этап 5. Построение траекторий по четырем показателям: производство сахара, посевные площади сахарной свеклы (тростника), валовой сбор сахарной свеклы (тростника) и урожайность сахарной свеклы (тростника).

Этап 6. Наложение траекторий, полученных на этапе 5, на объективные прогнозные модели развития данного направления до 2032 г. (рисунок 5).

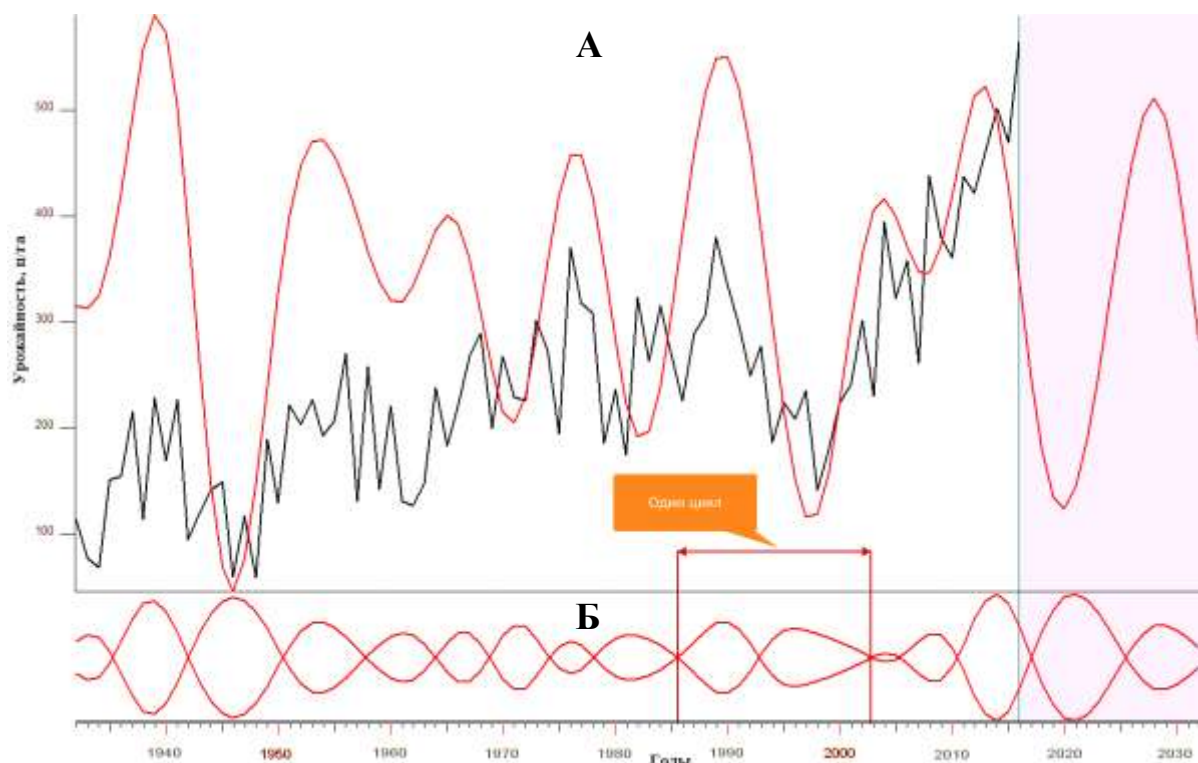


Рисунок 5 – Урожайность сахарной свеклы на Кубани, 1932–2016 гг. (А) и ее циклическая траектория развития с инверсией, построенная на основе коэффициентов спектрального анализа на период до 2032 гг. (Б)

Экспериментальная часть

В ней показаны полученные экспериментальные значения в виде классического представления спектров и комплекса гармонических колебаний (рисунок 6–8), а также их квантированное представление (рисунок 9) в качестве примера приведены данные по урожайности сахарной свеклы в Краснодарском крае.

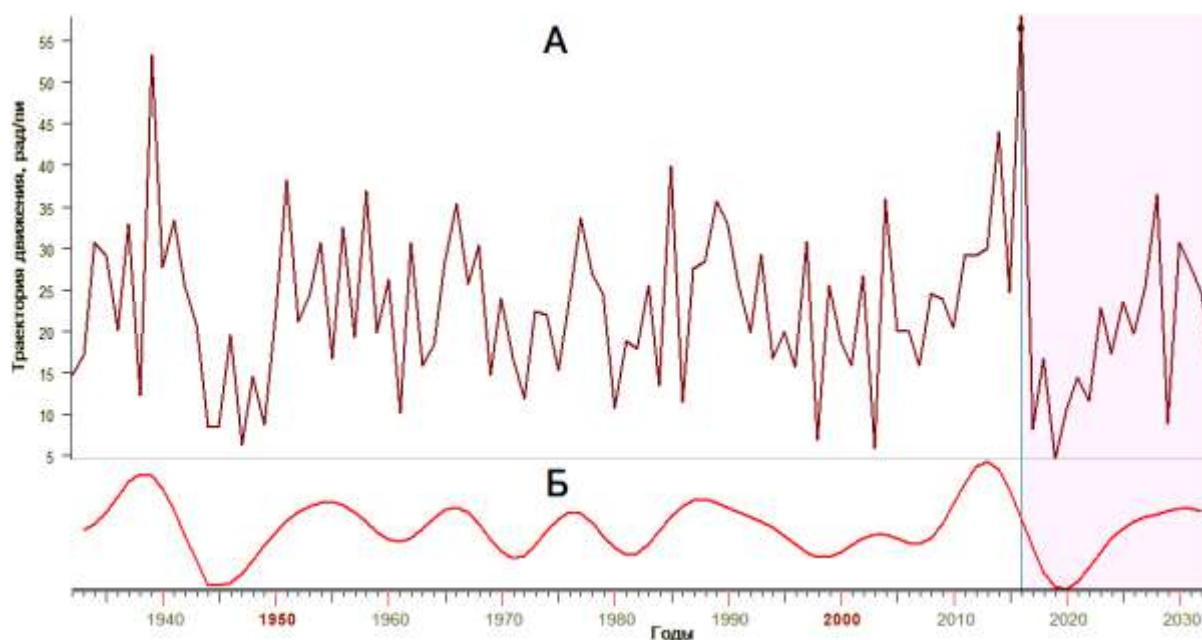


Рисунок 6 – Урожайность сахарной свеклы на Кубани с 1932 по 2032 гг.: график спектрального ряда (А) и ее циклограмма (Б)

На рисунке 6А показана суперпозиция спектральной траектории развития, на рисунке 6Б – циклическое представление анализируемого ряда, на рисунке 7 – совмещение исходного ряда и циклического (рисунок 6Б⁶).

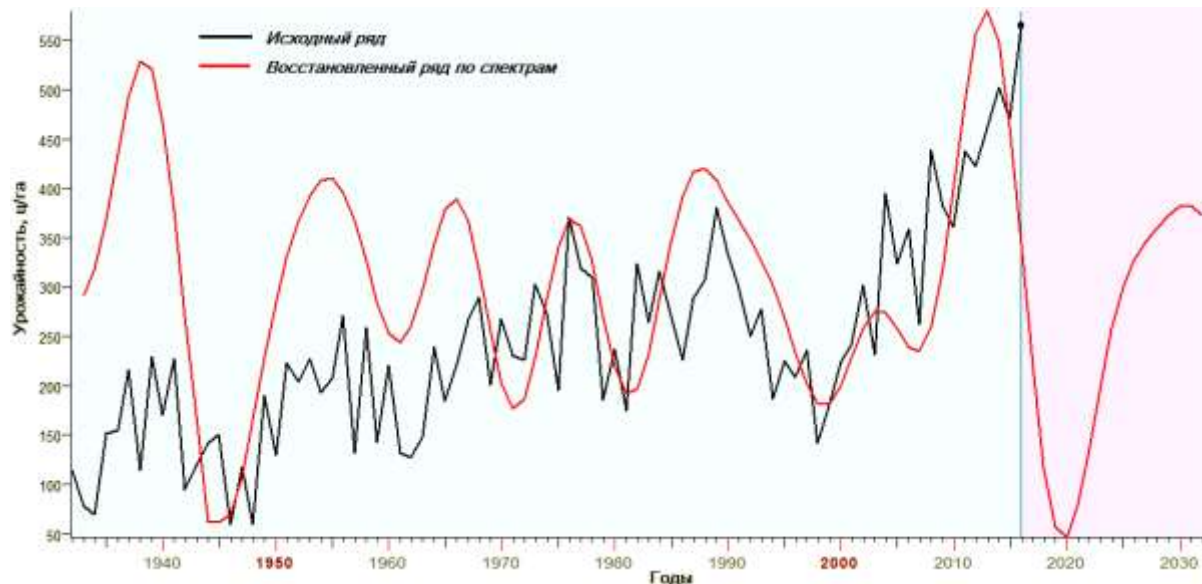


Рисунок 7 – Диаграмма урожайности сахарной свеклы на Кубани с 1932 по 2016 гг. и ее гармоническое приближение (1932–2032 гг.)

Рисунок 8 состоит из двух частей: комплекс циклических гармоник (8А) и их сумма в виде циклограммы (8Б).

⁶ Показатели аппроксимации (R^2) по всем исследуемым рядам варьируются в диапазоне от 0,05 до 0,45.

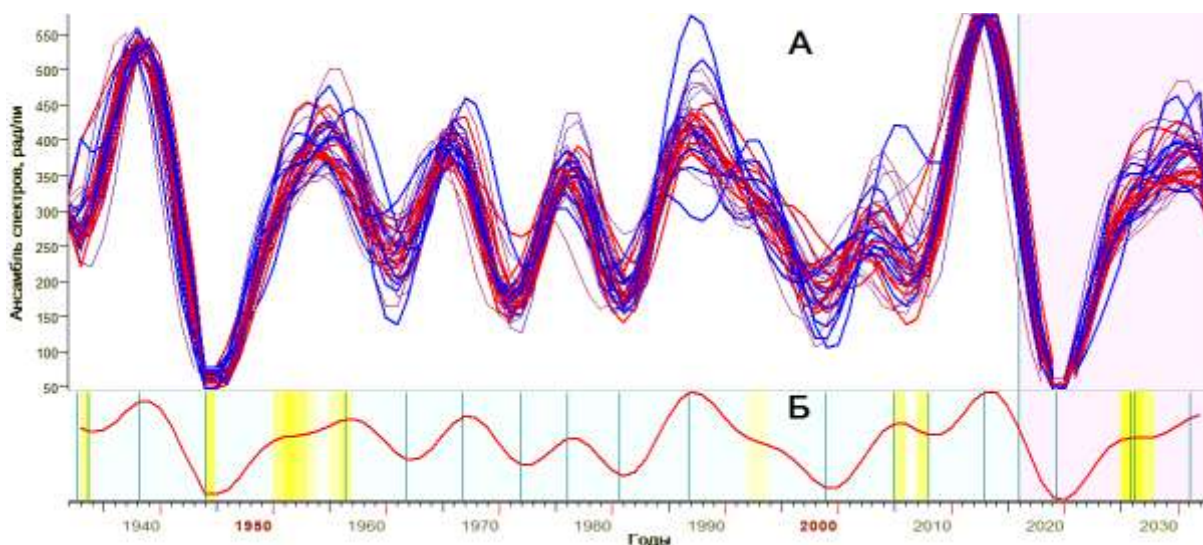


Рисунок 8 – График урожайности сахарной свеклы на Кубани с 1932 по 2032 гг.

На рисунке 8Б синими линиями показаны структурные сдвиги, желтыми зонами обозначены особенно сильные структурные разрывы.

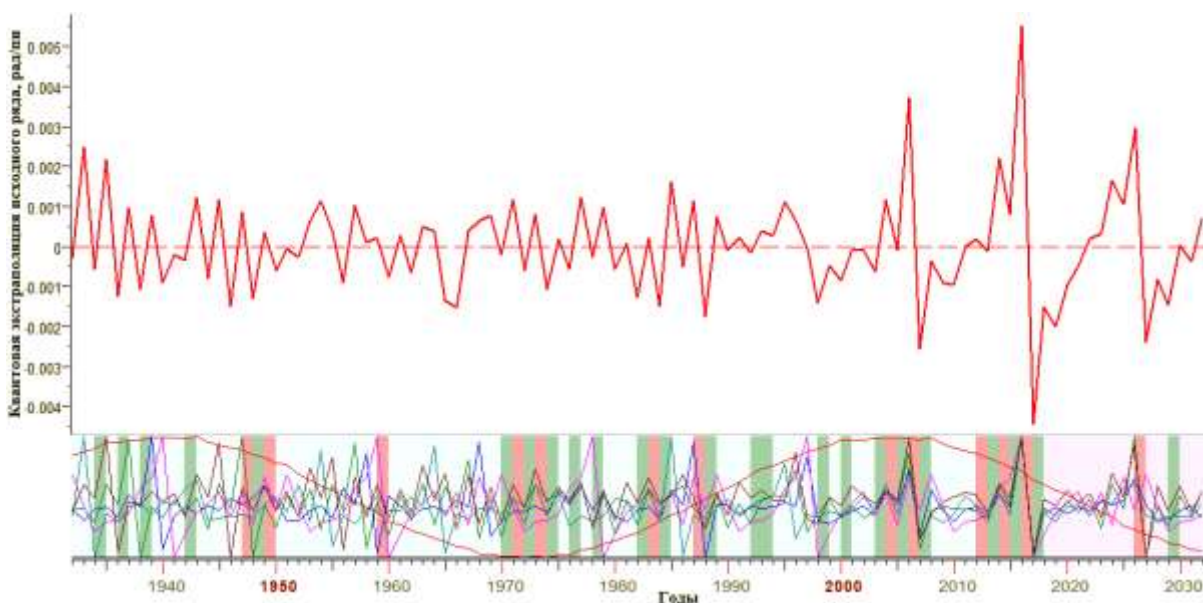


Рисунок 9 – Цифровая форма представления траектории движения показателей урожайности сахарной свеклы на Кубани с 1932 по 2032 гг.⁷

На рисунке 9 показана модель квантированной волны исследуемого показателя (рисунок 7 – «Исходный ряд»).

В таблицах 1–2 представлены выявленные базовые частоты показателей деятельности сахарного подкомплекса АПК, а в таблицах 3–4 – квантированные спектры, полученные также экспериментальным путем.

⁷ Исходя из согласованности поведения прогнозных линий (или волн циклов), можно предположить, что прогноз в данной части наиболее достоверен. Зеленые зоны – зоны роста, красные – падения.

Таблица 1 – Матрица действительных значений частот⁸ (циклов) показателей производства сахара, построенная с помощью Фурье-анализа

Производство сахара	Частота №												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>Мировое, 1864–2013 гг.</i>													
Общее, 1864–2014 гг.	40,67	25,54	5,98	14,26	5,31	5,21	12,12	10,66	7,72	6,97	–	–	–
Тростникового	40,87	26,43	4,46	7,64	7,67	4,41	2,66*	4,06	–	–	–	–	–
Свекловичного	35,64	25	14,16	4,8	4,22	3,4	3,07	2,26	2,08	–	–	–	–
<i>В России (Российская империя, СССР и РФ), 1881–2016 гг.</i>													
Общее	12,53	24,89	2,15	2,93	9,55	3,66	7,78	–	–	–	–	–	–
Свекловичного, 1871–2016 гг.	25,48	9,56	12,51	5,24	2,17	6,3	14,81	2,92	–	–	–	–	–
Тростникового, 1956–2016 гг.	5,27	7,73	12,68	4,5	3,12	3,53	2,38	–	–	–	–	–	–
<i>В России (РСФСР и РФ), 1921–2016 гг.</i>													
Общее	4,63	12,55	7,75	2,41	3,81	2,09	2,57	2,35	24,56	3,25	–	–	–
Тростникового, 1960–2015 гг.	8	2,85	3,15	3,72	5,53	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>На Кубани, 1921–2016 гг.</i>													
Общее	4,63	2,4	12,35	2,14	2,91	22,41	7,71	3,76	–	–	–	–	–
Тростникового, 1960–2014 гг.	2,04	4,1	5,04	4,55	5,68	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>В США, 1832–2015 гг.</i>													
Общее	5,47	3,89	12,18	2,25	2,31	19,29	7,38	4,24	2,56	–	–	–	–
Тростникового, 1832–2016 гг.	2,08	15,65	12,27	25,84	19,55	2,51	4	–	–	–	–	–	–
Свекловичного, 1873–2015 гг.	3,06	5,57	2,08	4,24	12,89	2,81	19,15	9,14	–	–	–	–	–
<i>В отдельных странах</i>													
Куба, 1849–2014 гг.	31,91	6,06	2,91	2,4	2,48	19,88	–	–	–	–	–	–	–
Германия, 1910–2015 гг.	14,13	12,35	23,96	16,49	10,01	3,66	9,11	11,03	19,45	4,63	3	31,07	2,46
Бразилия, 1949–2015 гг.	2,31	2,27	2,65	7,92	4,08	5,33	3,81	–	–	–	–	–	–
Индия, 1949–2016 гг.	4,66	6,4	2,57	2,82	2,16	–	–	–	–	–	–	–	–

* – при построении циклической траектории по этой частоте используется функция, как синус, так и косинус угла.

⁸ Значение частоты, определенное из сравнения с эталонной (или образцовой) частотой или измеренное образцовым частотомером.

Таблица 2 – Матрица действительных значений частот (циклов) производства сахарной свеклы и сахарного тростника, построенная с помощью Фурье-анализа

Показатель	Частота №											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Россия (Российская империя, СССР и РФ), 1881–2016 гг.</i>												
Посевная площадь сахарной свеклы	25,38	12,8	8,3	4,24	2,51	2,08	2,26	3,97	2,75	3,07	–	–
Урожайность сахарной свеклы	25,12	12,92	39,84	20,81	2,33	3,92	30,61	14,58	2,59	3,56	2,08	18,17
Валовой сбор сахарной свеклы	25,3	12,64	4,31	9,56	3,55	3,92	2,08	2,25	5,44	6,3	3,24	2,43
<i>Кубань, 1932–2016 гг.</i>												
Посевная площадь сахарной свеклы, 1920–2016 гг.	23,91	4,32	16,3	3,92	2,16	2,9	12,82	10,4	8,91	7,74	–	–
Урожайность сахарной свеклы	2,08	2,4	18,9	6,33	2,34	3,85	24,84	12,13	2,84	8,07	9,2	15,08
Валовой сбор сахарной свеклы	2,08	23,55	2,41	4,31	4,73	2,84	12,42	5,5	6,3	7,9	9,39	–
<i>США, 1903–2016 гг.</i>												
Посевная площадь сахарной свеклы	5,72	32,77	2,33	12,09	3,14	5,07	13,29	18,11	15,37	3,91	10,8	2,9
Урожайность сахарной свеклы	32,81	25,55	10,93	8,38	20,7	17,61	13,58	12,15	15,19	10,02	–	–
Валовой сбор сахарной свеклы	3,13	4,32	5,71	2,9	19,65	8,38	12,36	–	–	–	–	–
<i>США, 1909–2016 гг.</i>												
Посевная площадь сахарного тростника	12,87	31,69	10,3	11,45	24,06	14,86	2,08	19,66	9,44	2,25	5,56	3,98
Урожайность сахарного тростника	24,11	14,74	32,01	6,55	11,41	9,51	12,84	19,33	2,32	5,89	2,26	3,27
Валовой сбор сахарного тростника	12,83	15,07	32,5	3,32	7,16	3,01	2,26	4,33	24,06	6,56	9,58	3,99
<i>Германия, 1920–2016 гг.</i>												
Посевная площадь сахарной свеклы	9,3	17,84	8,48	27,72	12,77	14,88	10,39	4,32	2,25	2,33	2,9	6,21
Урожайность сахарной свеклы, 1920–2015 гг.	14,9	3,67	11,38	3,06	27,49	17,83	21,56	10,18	9,17	2,75	12,9	5,17
Валовой сбор сахарной свеклы, 1836–2015 гг.	14,39	3,05	3,67	25,34	2,74	36,68	3,33	2,47	19,19	–	–	–
<i>Бразилия, 1960–2015 гг.</i>												
Посевная площадь сахарного тростника	5,94	2,32	5,37	8,72	4,9	7,56	–	–	–	–	–	–

Показатель	Частота №											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Урожайность сахарного тростника	5,37	5,96	16,14	4,9	8,72	6,67	12,59	10,32	7,55	2,32	4,47	2,91
Валовой сбор сахарного тростника	15,94	12,92	2,09*	2,31*	5,95*	5,36*	2,51	4,91	–	–	–	–
<i>Индия, 1949–2015 гг.</i>												
Посевная площадь сахарного тростника	6,29	5,75	7,84	12,16	15,01	7,02	3,66	19,05	10,26	8,9	5,22	–
Урожайность сахарного тростника	19,4	7,12	15,07	6,42	12,32	7,96	4,1	10,4	9,02	5,86	4,56	2,25
Валовой сбор сахарного тростника, 1950–2015 гг.	6,28	4,07	12,23	7,07	7,81	5,78	3,27	10,28	4,49	–	–	–

* – при построении циклической траектории по этой частоте используется как синус, так и косинус угла.

Таблица 3 – Матрица квантированных частот (циклов) показателей производства сахара, построенная с помощью Фурье-анализа

Производство сахара	Частота №												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>Мировое, 1864–2013 гг.</i>													
Общее, 1864–2014 гг.	11,85	5,89	8,62	13,87	17,62	5,38	5,13	–	–	–	–	–	–
Тростникового	8,85	11,85	14,12	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Свекловичного	13,89	7,46	8,87	14,88	12,14	18,38	9,12	16,35	15,87	9,63	–	–	–
<i>В России (Российская империя, СССР и РФ), 1881–2016 гг.</i>													
Общее	10,72	12,48	15,49	9,48	7,64	7,88	16,47	13,53	13,63	14,38	–	–	–
Свекловичного, 1871–2016 гг.	12,5	9,18	9,38	8,9	10,5	7,11	12,14	8,63	7,38	–	–	–	–
Тростникового, 1956–2016 гг.	5,35	5,12	5,6	8,37	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>В России (РСФСР и РФ), 1921–2016 гг.</i>													
Общее	8,38	11,86	9,42	10,63	15,94	–	–	–	–	–	–	–	–
Тростникового, 1960–2015 гг.	нет												
<i>На Кубани, 1921–2016 гг.</i>													
Общее	11,86	7,89	9,5	8,13	8,63	7,85	7,56	–	–	–	–	–	–
Тростникового, 1960–2014 гг.	8,23	8,47	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Производство сахара	Частота №												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>В США, 1832–2015 гг.</i>													
Общее	11,59	19,35	15,47	8,37	7,62	8,61	10,4	7,13	7,39	–	–	–	–
Тростникового, 1832–2016 гг.	8,38	11,61	16,14	19,85	21,03	13,39	10,48	8,62	11,11	10,82	10,14	9,13	9,81
Свекловичного, 1873–2015 гг.	11,5	17,52	8,88	7,57	14,85	13,89	16,35	9,95	–	–	–	–	–
<i>В отдельных странах</i>													
Куба, 1849–2014 гг.	10,64	10,11	9,86	9,61	9,14	10,37	7,69	16,88	8,89	7,88	8,69	13,5	7,1
Германия, 1910–2015 гг.	14,19	6,69	7,94	14,89	10,86	10,61	5,13	7,52	–	–	–	–	–
Бразилия, 1949–2015 гг.	8,12	7,12	10,84	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Индия, 1949–2016 гг.	8,13	10,12	11,29	13,49	–	–	–	–	–	–	–	–	–

* – при построении циклической траектории по данной частоте используется как синус, так и косинус угла.

Таблица 4 – Матрица квантированных частот (циклов) производства сахарной свеклы и сахарного тростника, построенная с помощью Фурье-анализ

Показатель	Частота №											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Россия (Российская империя, СССР и РФ), 1881–2016 гг.</i>												
Посевная площадь сахарной свеклы	7,26	13,38	13,23	16,39	–	–	–	–	–	–	–	–
Урожайность сахарной свеклы	12,63	12,37	9,92	10,13	9,37	9,64	9,89	11,13	9,5	12,11	10,63	8,38
Валовой сбор сахарной свеклы	12,68	11,95	10,63	9,39	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Кубань, 1932–2016 гг.</i>												
Посевная площадь сахарной свеклы, 1920–2016 гг.	14,53	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Урожайность сахарной свеклы	9,63	9,89	9,51	10,38	10,13	–	–	–	–	–	–	–
Валовой сбор сахарной свеклы	7,62	8,38	7,07	9,64	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>США, 1903–2016 гг.</i>												
Посевная площадь сахарной свеклы	13,37	10,63	10,89	9,36	11,14	9,07	11,39	–	–	–	–	–
Урожайность сахарной свеклы	8,54	14,11	8,87	9,12	10,52	11,14	11,39	12,51	9,58	8,38	–	–
Валовой сбор сахарной свеклы	11,57	9,12	8,87	10,52	10,76	11,1	11,37	8,46	8,22	–	–	–

Показатель	Частота №											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>США, 1909–2016 гг.</i>												
Посевная площадь сахарного тростника	12,89	9,55	11,38	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Урожайность сахарного тростника	8,49	8,42	8,27	8	8,65	11,63	10,64	–	–	–	–	–
Валовой сбор сахарного тростника	12,03	11,63	11,51	9,63	9,88	8,38	8,13	8	–	–	–	–
<i>Германия, 1920–2016 гг.</i>												
Посевная площадь сахарной свеклы	8,62	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Урожайность сахарной свеклы, 1920–2015 гг.	11,63	11,51	9,61	8,13	8,38	8,62	8,86	–	–	–	–	–
Валовой сбор сахарной свеклы, 1836–2015 гг.	13,87	10,83	11,74	12,11	12,35	12,65	12,51	13,13	15,14	16,65	16,9	19,84
<i>Бразилия, 1960–2015 гг.</i>												
Посевная площадь сахарного тростника	7,6	9,38	8,49	11,37	–	–	–	–	–	–	–	–
Урожайность сахарного тростника	нет											
Валовой сбор сахарного тростника	7,62	7,87	8,12	8,57	9,37	11,12	–	–	–	–	–	–
<i>Индия, 1949–2015 гг.</i>												
Посевная площадь сахарного тростника	8,13	9,62	10,59	12,87	–	–	–	–	–	–	–	–
Урожайность сахарного тростника	8,37	11,62	12,77	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Валовой сбор сахарного тростника, 1950–2015 гг.	8,37	10,62	11,62	–	–	–	–	–	–	–	–	–

На рисунке 10 показана композитная диаграмма, в которой графически отображены все варианты визуального решения исследуемого ВР.

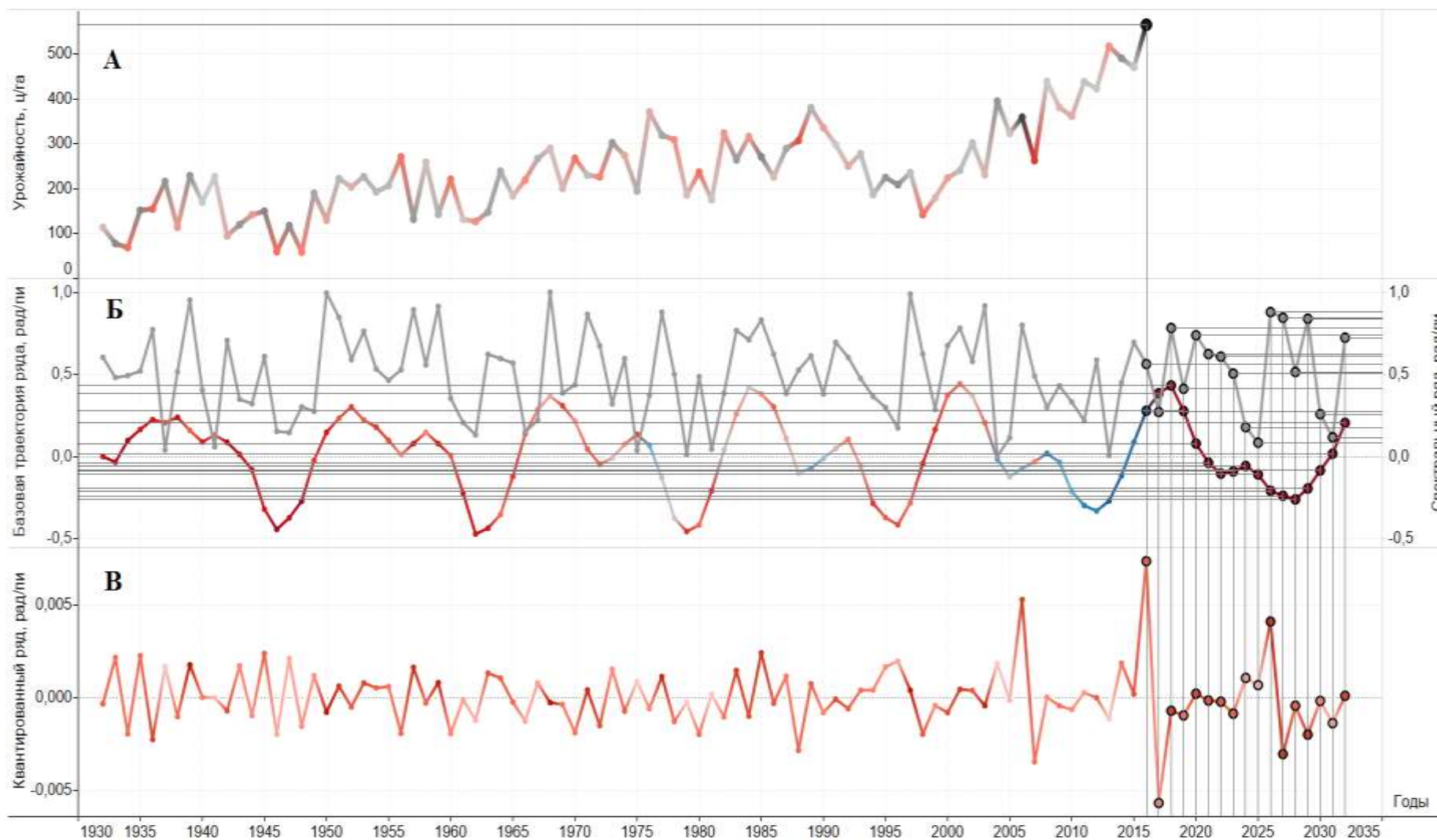


Рисунок 10 – Композитная диаграмма: урожайность сахарной свеклы на Кубани, с 1932 по 2016 гг. (А), *серая линия* – восстановленный спектр анализируемого ряда, *красная с синим оттенком* – грубое приближение спектра с его экстраполяцией [1932–2032 гг.] (Б) и квантированный ряд с экстраполяцией [1932–2032 гг.] (В)

Для самостоятельного построения траекторий развития ВР по отдельным показателям деятельности региональных сахарных подкомплексов АПК в качестве проверки контрольных точек в таблицах 5–6 представлены экстремумы выявленных частот в годовом выражении.

Таблица 5 – Матрица экстремумов циклов показателей производства сахара

<i>Производство сахара</i>	<i>Экстремумы</i>	
	<i>Минимумы</i>	<i>Максимумы</i>
<i>Мировое, 1864–2013 гг.</i>		
Общее, 1864–2014 гг.	1915, 1942, 1962, 1975, 1991 и 2015 гг.	1907, 1925, 1967 и 2007 гг.
Тростникового	1892, 1910, 1937, 1960, 1972, 1990 и 2014 гг.	1903, 1925, 1955, 1967, 1978 и 2004 гг.
Свекловичного	1917, 1941, 1960, 1973, 1991, 2001 и 2014 гг.	1910, 1924, 1935, 1948, 1967, 1978, 1986, 1997, 2007 и 2020 гг.
<i>В России (Российская империя, СССР и РФ), 1881–2016 гг.</i>		
Общее	1903, 1916, 1928, 1941, 1953, 1966, 1978, 1991, 2003, 2016 и 2028 гг.	1910, 1922, 1934, 1946, 1959, 1972, 1984, 1998, 2010 и 2023 гг.
Свекловичного, 1871–2016 гг.	1916, 1928, 1941, 1953, 1966, 1978, 1991, 2004, 2016 и 2028 гг.	1909, 1924, 1934, 1948, 1959, 1974, 1985, 1999, 2010 и 2024 гг.
Тростникового, 1956–2015 гг.	1966, 1983, 1991, 2003 и 2015 гг.	1959, 1970, 1987, 1998, 2010, 2018 и 2027 гг.
<i>В России (РСФСР и РФ), 1921–2016 гг.</i>		
Общее	1930, 1942, 1955, 1967, 1979, 1992, 2004, 2016 и 2028 гг.	1937, 1948, 1960, 1974, 1985, 1999, 2010 и 2023 гг.
Тростникового, 1960–2015 гг.	1982, 1992, 2003, 2014 и 2024 гг.	1977, 1987, 1998, 2009 и 2019 гг.
<i>На Кубани, 1921–2015 гг.</i>		
Общее	1927, 1946, 1968, 1981, 1992, 2005, 2016 и 2027 гг.	1937, 1962, 1975, 1986, 1999, 2008 и 2023 гг.
Тростникового, 1960–2014 гг.	1963, 1972, 1983, 1992, 2003, 2011 и 2022 гг.	1967, 1977, 1987, 1998, 2007, 2017 и 2027 гг.
<i>В США, 1832–2015 гг.</i>		
Общее	1955, 1967, 1979, 1991, 2005, 2016 и 2023 гг.	1949, 1960, 1972, 1985, 1998, 2010 и 2022 гг.
Тростникового, 1832–2016 гг.	1942, 1955, 1972, 1987, 1995, 2004, 2015 и 2020 гг.	1934, 1950, 1966, 1980, 1991, 1999, 2010, 2017 и 2026 гг.
Свекловичного, 1873–2015 гг.	1944, 1969, 1981, 1993, 2002 и 2022 гг.	1938, 1964, 1973, 1988, 1997, 2008 и 2031 гг.
<i>В отдельных странах</i>		
Куба, 1849–2014 гг.	1960, 1971, 1982, 1992, 2003, 2016 и 2027 гг.	1966, 1976, 1987, 1998, 2008 и 2020 гг.

<i>Производство сахара</i>	<i>Экстремумы</i>	
	<i>Минимумы</i>	<i>Максимумы</i>
Германия, 1910–2015 гг.	1919, 1932, 1945, 1958, 1974, 1993, 2006 и 2019 гг.	1913, 1926, 1940, 1952, 1968, 1981, 1999, 2012 и 2026 гг.
Бразилия, 1949–2015 гг.	1957, 1970, 1979, 1987, 1998, 2004, 2016 и 2025 гг.	1961, 1966, 1974, 1982, 1993, 2010, 2013 и 2022 гг.
Индия, 1949–2016 гг.	1954, 1966, 1982, 1999, 2007, 2019 и 2029 гг.	1950, 1959, 1977, 1993, 2001, 2012 и 2025 гг.

Таблица 6 – Матрица экстремумов циклов производства сахарной свеклы и сахарного тростника

<i>Показатель</i>	<i>Экстремумы</i>	
	<i>Минимумы</i>	<i>Максимумы</i>
<i>Россия (Российская империя, СССР и РФ), 1881–2016 гг.</i>		
Посевная площадь сахарной свеклы	1938, 1949, 1960, 1970, 1982, 1992, 2003, 2014 и 2023 гг.	1944, 1954, 1965, 1976, 1988, 1988, 2009, 2019 и 2030 гг.
Урожайность сахарной свеклы	1943, 1953, 1964, 1978, 1991, 2004, 2017 и 2031 гг.	1949, 1959, 1971, 1984, 1998, 2011 и 2024 гг.
Валовой сбор сахарной свеклы	1941, 1952, 1967, 1979, 1993, 2005, 2017 и 2029 гг.	1935, 1947, 1960, 1974, 1976, 2000, 2012 и 2023 гг.
<i>Кубань, 1932–2016 гг.</i>		
Посевная площадь сахарной свеклы, 1920–2016 гг.	1936, 1953, 1967, 1985, 2004 и 2017 гг.	1947, 1960, 1974, 1992, 2011 и 2024 гг.
Урожайность сахарной свеклы	1945, 1962, 1970, 1981, 1998, 2007 и 2019 гг.	1939, 1955, 1965, 1976, 1989, 2003 и 2013 гг.
Валовой сбор сахарной свеклы	1942, 1958, 1969, 1980, 1996 и 2017 гг.	1937, 1948, 1963, 1974, 1985, 2001, 2012 и 2023 гг.
<i>США, 1903–2016 гг.</i>		
Посевная площадь сахарной свеклы	1914, 1942, 1952, 1961, 1972, 1987, 1998, 2006, 2017 и 2026 гг.	1936, 1947, 1957, 1966, 1979, 1993, 2002, 2012 и 2023 гг.
Урожайность сахарной свеклы	1932, 1942, 1949, 1958, 1967, 1975, 1985, 1995, 2007, 2017 и 2028 гг.	1925, 1936, 1946, 1952, 1962, 1971, 1979, 1989, 2002, 2012 и 2023 гг.
Валовой сбор сахарной свеклы	1924, 1932, 1942, 1951, 1959, 1982, 1991, 1999, 2008, 2016 и 2026 гг.	1927, 1938, 1947, 1955, 1976, 1986, 1995, 2004, 2013, 2021 и 2030 гг.
<i>США, 1909–2016 гг.</i>		
Посевная площадь сахарного тростника	1926, 1942, 1956, 1967, 1978, 1995, 2006, 2017 и 2029 гг.	1934, 1949, 1962, 1972, 1983, 2001, 2011 и 2023 гг.
Урожайность сахарного тростника	1926, 1939, 1950, 1959, 1968, 1979, 1995, 2006, 2017 и 2028 гг.	1934, 1944, 1955, 1964, 1974, 1988, 2000, 2011 и 2023 гг.
Валовой сбор сахарного тростника	1930, 1939, 1948, 1958,	1934, 1943, 1952, 1962,

Показатель	Экстремумы	
	Минимумы	Максимумы
	1966, 1977, 1988, 1998, 2007, 2017 и 2026 гг.	1971, 1984, 1994, 2003, 2017 и 2030 гг.
<i>Германия, 1920–2016 гг.</i>		
Посевная площадь сахарной свеклы	1942, 1951, 1959, 1966, 1975, 1989, 1998, 2007, 2017 и 2026 гг.	1937, 1946, 1955, 1963, 1971, 1980, 1993, 2003, 2012, 2021 и 2030 гг.
Урожайность сахарной свеклы, 1920–2015 гг.	1925, 1935, 1949, 1959, 1972, 1983, 1996, 2006, 2017 и 2026 гг.	1928, 1939, 1952, 1966, 1977, 1989, 2001, 2011 и 2021 гг.
Валовой сбор сахарной свеклы, 1836–2015 гг.	1930, 1942, 1960, 1971, 1989, 2005, 2017 и 2029 гг.	1937, 1947, 1966, 1982, 1998, 2010 и 2022 гг.
<i>Бразилия, 1960–2015 гг.</i>		
Посевная площадь сахарного тростника	1966, 1982, 1990, 2001 и 2017 гг.	1976, 1985, 1995, 2011 и 2027 гг.
Урожайность сахарного тростника	1971, 1983, 1999 и 2017 гг.	1976, 1994, 2011 и 2027 гг.
Валовой сбор сахарного тростника	1967, 1988, 2003 и 2018 гг.	1977, 1995, 2010 и 2024 гг.
<i>Индия, 1949–2015 гг.</i>		
Посевная площадь сахарного тростника	1954, 1964, 1980, 1994, 2006, 2016 и 2027 гг.	1959, 1975, 1985, 2000, 2011 и 2021 гг.
Урожайность сахарного тростника	1952, 1961, 1970, 1979, 1988, 1998, 2007, 2016 и 2025 гг.	1956, 1966, 1975, 1984, 1993, 2002, 2011, 2021 и 2030 гг.
Валовой сбор сахарного тростника, 1950–2015 гг.	1956, 1971, 1986, 2002 и 2017 гг.	1963, 1979, 1994, 2009 и 2025 гг.

Предложенный адаптивный алгоритм обнаружения гармонических составляющих позволяет определить оптимальные частоты гармонических колебаний, что способствует более точному прогнозированию изучаемых процессов.

Выводы

1. Построены проекции латентных связей (структур) сахарного подкомплекса АПК по макрорегионам. Выявлено, что каждый макроэкономический временной ряд может содержать по меньшей мере от 1 до 13 (и более) гармоник (циклов) разного рода и разной силы воздействия на тренд.

2. Среднее базовое значение выявленных частот отдельно по каждой группе сахарного подкомплекса АПК равно:

– *производство сахара* – 12,42 года.

- посевные площади сахарной свеклы – 9,12 года.
- посевные площади сахарного тростника – 9,12 года.
- урожайность сахарной свеклы – 13,02 года.
- урожайность сахарного тростника – 9,35 года.
- валовой сбор сахарной свеклы – 8,63 года.
- валовой сбор сахарного тростника – 7,9 года.

3. Циклы агропромышленной активности выражаются в виде периодов быстрого роста, прерываемых периодами менее быстрого роста или, в худшем случае, небольшим спадом деловой активности в абсолютном выражении. Они могут проявляться на фоне основной тенденции любого вида, в том числе и на фоне тенденции спада [1, с. 51].

4. Периодические функции бывают довольно редко (для стационарных процессов – практически никогда). Поэтому предположение об их периодичности носит ограничительный характер и может рассматриваться как довольно грубое приближение к реальности.

Полученные классическими (спектральными) методами результаты частично будут реализованы в последующих работах при построении адаптивных моделей для традиционных методов сезонной декомпозиции, вейвлет–преобразовании и нейрокомпьютинга макроэкономических временных рядов.

Полученные аналитические зависимости могут быть использованы не только для определения характеристик описанного алгоритма, но также служить основой для разработки алгоритмов обнаружения квазигармонических колебаний в других отраслях народного хозяйства.

Список литературы

1. Бессонов В. А. Введение в анализ российской динамики переходного периода / В. А. Бессонов. – М.: Ин-т экономики переходного периода, 2003. – 151 с.
2. Горбачевич В. В. Анализ и прогнозирование временных рядов. Методические указания к чтению лекций и проведению практических занятий. Часть II. §4. Спектральная теория случайных процессов / В. В. Горбачевич. – М.: МАТИ, 2000. – 25 с.

3. Гренджер К. Спектральный анализ временных рядов в экономике / К. Гренджер, М Хатанака. – М., 1972. – 362 с.
4. Дженкинс Г. Спектральный анализ и его приложения. Том 1 / Г. Дженкинс, Д Ватте. Пер. с англ. В. Ф. Писаренко. – М.: Мир, 1971. - 316 с.
5. Конюховский П. В. Система экономико-математических и инструментальных методов моделирования стохастической динамики финансовых ресурсов / П. В. Конюховский : автореф. дис. д-ра. экон. наук. – СПб: СПбГУ, 2002. – 331 с.
6. Кравчук В. К. Новый адаптивный метод следования за тенденцией и рыночными циклами / В. К. Кравчук // Валютный спекулянт. – С. 50 – 55(49). – № 12, – 2000, – Электронный ресурс. [Режим доступа]: <http://download.virtuosclub.ru/gac/atcf.64.pdf>.

Reference

1. Bessonov V. A. Vvedenie v analiz rossijskoj dinamiki perehodnogo perioda / V. A. Bessonov. – М.: In-t jekonomiki perehodnogo perioda, 2003. – 151 s.
2. Gorbacevich V. V. Analiz i prognozirovanie vremennyh rjadov. Metodicheskie ukazanija k chteniju lekcij i provedeniju praktičeskix zanjatij. Chast' II. §4. Spektral'naja teorija sluchajnyh processov /V. V. Gorbacevich. – М.: MATI, 2000. – 25 s.
3. Grendzher K. Spektral'nyj analiz vremennyh rjadov v jekonomike / K. Grendzher, M Hatanaka. – М., 1972. – 362 s.
4. Dzenkins G. Spektral'nyj analiz i ego prilozhenija. Tom 1 / G. Dzenkins, D Vatte. Per. s angl. V. F. Pisarenko. – М.: Mir, 1971. - 316 s.
5. Konjuhovskij P. V. Sistema jekonomiko-matematičeskix i instrumental'nyh metodov modelirovanija stohastičeskoj dinamiki finansovyh resursov / P. V. Konjuhovskij : avtref. dis. d-ra. jekon. nauk. – SPb: SPbGU, 2002. – 331 s.
6. Kravchuk V. K. Novyj adaptivnyj metod sledovanija za tendenciej i rynochnymi ciklami / V. K. Kravchuk // Valjutnyj spekuljant. – S. 50 – 55(49). – № 12, – 2000, – Jelektronnyj resurs. [Rezhim dostupa]: <http://download.virtuosclub.ru/gac/atcf.64.pdf>.