

## МЕТОД СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ЦИКЛОВ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ КОНЪЮНКТУРЫ

© 2009 А.Ю. Ситникова\*

**Ключевые слова:** экономический цикл, экономическая конъюнктура, динамика развития, гармоническая составляющая, спектральный анализ, спектральная плотность мощности, преобразования Фурье.

Проводится анализ наиболее часто встречающихся в научной литературе циклов экономической конъюнктуры, предлагается методика их выявления из общей динамики экономического показателя на основании преобразований Фурье и спектральной плотности мощности, представленной в виде алгоритма. В основе последнего лежит итерационный метод Левинсона-Дарбина для расчета оптимальной спектральной плотности мощности. На примере котировок акций "Лукойл" выделяются долгосрочные и краткосрочные циклические составляющие.

С течением времени в экономических системах изменяются как качественные характеристики, отображающие отношения между людьми в ходе производства, распределения и обмена благ, так и количественные - объемы производства и занятости, загрузка производственных мощностей, уровень цен, прибыль, процентная ставка, денежная масса и скорость обращения денег. Причем по мере накопления этих изменений силы, придававшие им импульс развития, убывают, и экономическая система начинает движение в обратном направлении. Поэтому развитие экономических процессов носит циклический характер: рост обязательно сопровождается спадом, за которым следует восстановление и новый рост.

Причинами экономических циклов могут служить не только внутренние (обновление основных производственных фондов, колебания совокупных расходов, потребление и инвестиции, государственная экономическая политика), но и внешние факторы (войны, революции, крупные открытия и изобретения, демографические процессы). Таким образом, экономический цикл - результат взаимодействия внутренних процессов саморазвития экономической системы, и внешних импульсов, лежащих за ее пределами.

Проблема цикличности всегда привлекала внимание ученых-экономистов и до сих пор является одной из самых спорных и малоизученных проблем. К настоящему времени экономической науке известно более 1300

типов цикличности в соответствии с их продолжительностью (периодичностью) и движущей силой цикличности<sup>1</sup>.

Впервые ученые-экономисты попытались исследовать проблему кризисных и циклических явлений в экономике в начале XIX в. Ж. Сисмонди считал, что экономические кризисы возникают из-за "недопотребления" или "чрезмерных сбережений". В 60-х годах XIX в. была разработана теория циклических кризисов К. Марксом. Эта теория дала толчок к изучению феномена длинных волн учеными-марксистами.

В 1901 г. русский марксист А.И. Гельфанд впервые сформулировал положение, согласно которому капиталистической экономике свойственны периоды длительного спада и застоя. Причинами подъема экономики в начале XX века он считал открытие новых рынков, применение электричества и рост добычи золота. Позже длинные волны изучали голландские экономисты-марксисты Я. ван Гельден и С. де Вольф, которые в 1913 г., опираясь на статистику, включавшую как длинные ряды цен, так и более короткие ряды объема производства, финансовые показатели, данные о международной торговле, миграции населения, занятости, разработали теорию волнообразного эволюционного движения при капитализме.

Исследование сущности больших экономических циклов неразрывно связано с русским ученым Н.Д. Кондратьевым (1892-1938). Он доказал, что наряду с краткосрочными и

\* Ситникова Анастасия Юрьевна, аспирант Самарского государственного аэрокосмического университета им. акад. С.П. Королева. E-mail: sitnikova\_au@mail.ru.

среднесрочными экономическими циклами существуют циклы продолжительностью около 48-55 лет. Исследовав динамику развития многих стран Европы за 100-150 лет по целому ряду показателей (уровень товарных цен, процента на капитал, номинальной заработной платы, оборота внешней торговли, добычи и потребления угля, производство чугуна и свинца), Н.Д. Кондратьев пришел к выводу, что развитие рыночной системы происходит волнообразно, производство развивается в рамках больших циклов в связи с масштабными революционными изменениями в технологическом способе производства, структуре потребностей производства<sup>2</sup>.

Дальнейшее развитие теории длинных волн связано с именем австрийского экономиста Й. Шумпетера и его работой "Экономические циклы" (1939 г.). Главную причину долговременных колебаний экономики он видел в том, что внедрение базовых нововведений, которые существенно изменяют как набор производимых продуктов, так и технологию их изготовления, происходит не непрерывно, а периодически.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что к настоящему моменту времени существует большое количество теорий экономических циклов. Среди них выделяют основные типы циклов.

#### 1. Долгосрочные циклы:

- ◆ столетние, которые описывают тенденции за один и более веков;
- ◆ длинноволновые - охватывают несколько десятилетий ("длинные волны" Кондратьева продолжительностью около 50 лет).

#### 2. Среднесрочные циклы:

- ◆ циклы Жуглара (10 лет), возникающие по причине нарушений в кредитно-денежной системе;
- ◆ строительные циклы С. Кузнеца (15-20 лет), характеризующиеся изменением спроса на производственные сооружения и обновление жилых зданий;
- ◆ промышленные циклы (8-10 лет), которые определяются продолжительностью обновления основного капитала.

#### 3. Короткие:

- ◆ малые - вызваны колебаниями в товарно-материальных запасах (2-4 года), а также действиями правительства в области кредитно-денежной и налогово-бюджетной политики, связанными с выборами (5 лет);

- ◆ сезонные - полугодовые;

- ◆ краткосрочные отраслевые конъюнктурные колебания (запасов, процента, продаж и т.д.) - от 1-2 дней до полугода.

Также известны прочие теории без уточнения длительности цикла:

- ◆ теория равновесного экономического цикла, согласно которой цикличность объясняется не колебаниями выпуска продукции вокруг тренда потенциального ВВП, а колебаниями самого тренда в краткосрочном периоде времени;

- ◆ теория реального делового цикла, по которой причиной колебаний являются шоковые изменения производительности в секторах экономики или, иначе говоря, шоковые изменения в технологии производства;

- ◆ импульсно-распространительная теория циклов, согласно которой экономика сталкивается с множеством импульсов, дающим толчок циклическим колебаниям, из-за того, что таких импульсов может быть бесконечно много, экономика оказывается постоянно подверженной циклическим колебаниям.

Каждая из перечисленных теорий с той или иной степенью достоверности отражает причины циклических колебаний. Но в целом на сегодняшний день нет единой теории, которая бы вызывала единодушное признание всех экономических школ. Нет единства и по вопросу о продолжительности экономических циклов и способах их выявления из общей динамики экономических показателей. Малые, среднесрочные и большие циклы взаимодействуют, дополняя друг друга, и составляют единый процесс экономического развития. Циклы действуют одновременно, накладываясь один на другой, и в результате наложения то усиливают, то ослабляют общий размах экономических колебаний, т.е. общая динамика экономических процессов имеет очень сложную форму.

Таким образом, актуальной является проблема выделения циклов с учетом сложной конъюнктуры финансовых, товарных и прочих рынков, поскольку в настоящее время отсутствует научно обоснованный метод выделения циклов разной продолжительности.

Для решения этой проблемы предлагается адаптировать подход, используемый в технических системах - спектральный анализ. Его основная идея: определить состав динамики

изменения экономической конъюнктуры, т.е. представить колебания в виде суммы синусоидальных и/или косинусоидальных функций. Данное утверждение представляет собой содержание теоремы Фурье<sup>3</sup> (1807 г.). Для детерминированных (неслучайных) сигналов переход от временного описания сигнала к частотному, т.е. вычисление частотного спектра, осуществляется при помощи преобразования Фурье. Так как в данном случае ряд дискретный, то можно воспользоваться дискретным преобразованием Фурье<sup>4</sup> (ДПФ):

$$X(m) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k)e^{-i2\pi km / N} = \sum_{k=0}^{N-1} x(k)[\cos(2\pi km / N) + i \sin(2\pi km / N)],$$

где  $X(m)$  -  $m$ -й компонент ДПФ;  $x(k)$  -  $k$ -й компонент входной последовательности временного ряда;  $m$  - индекс ДПФ в частотной области;  $N$  - длина входной последовательности;  $k$  - индекс компонента входной последовательности во временной области;  $i$  - мнимая единица, равная  $\sqrt{-1}$ .

Результатом преобразования Фурье является совокупность комплексных чисел, имеющих общий вид  $a_n e^{i\phi_n}$ . Поэтому входная последовательность может быть представлена в виде суммы гармонических составляющих:

$$x(k) = \frac{a_0}{2} + \sum_{m=1}^{N-1} (a_m \cos 2\pi km / N + b_m \sin 2\pi km / N).$$

Обозначив модуль  $n$ -го комплексного числа через  $A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$ , а его аргумент -

$\phi_n = \arctg \frac{b_n}{a_n}$ , входную последовательность можно представить в виде суммы косинусоидальных функций:

$$x(k) = \frac{A_0}{2} + \sum_{m=1}^{N-1} A_m \cos(2\pi km / N - \phi_m),$$

где  $A_m$  характеризует амплитуду цикла, т.е. максимальное отклонение от среднего

значения;  $k / N$  - циклическую частоту в герцах, равную числу полных циклов, совершенных за единицу времени;  $\phi_m$  - начальную фазу колебаний, т.е. фазу колебаний в начальный момент времени.

Не все найденные гармонические составляющие имеют равную значимость. Часть из них может представлять собой результат воздействия случайных составляющих, называемый белым шумом. Для определения значимости каждой гармонической составляющей необходимо оценить спектр. Обычно случайные процессы представляются спектральной плотностью мощности процесса (СПМ).

СПМ является преобразованием Фурье не самого случайного процесса, а его автокорреляционной функции. Существует большое количество методов расчета СПМ, но поскольку в данном случае анализируются ограниченные временные ряды, а не непрерывная бесконечная функция, как предполагается в теории цифровой обработки сигналов, ряд методов дает несостоятельные оценки спектра. Для решения поставленной задачи наилучшим образом подходит метод максимальной энтропии<sup>5</sup>.

Для вычисления СПМ по этому методу предполагается использовать авторегрессионную модель порядка  $p$ , имеющую вид:

Идентификация параметров  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p, b_0$  АР-модели выполняется путем решения  $p + 1$  уравнений Юла-Уокера<sup>6</sup>, которые в матричном виде записывают как:

где  $R(i - j)$  ( $1 \leq i \leq p + 1, 1 \leq j \leq p + 1$ ) - автокорреляционные коэффициенты, рассчитываемые по формуле:

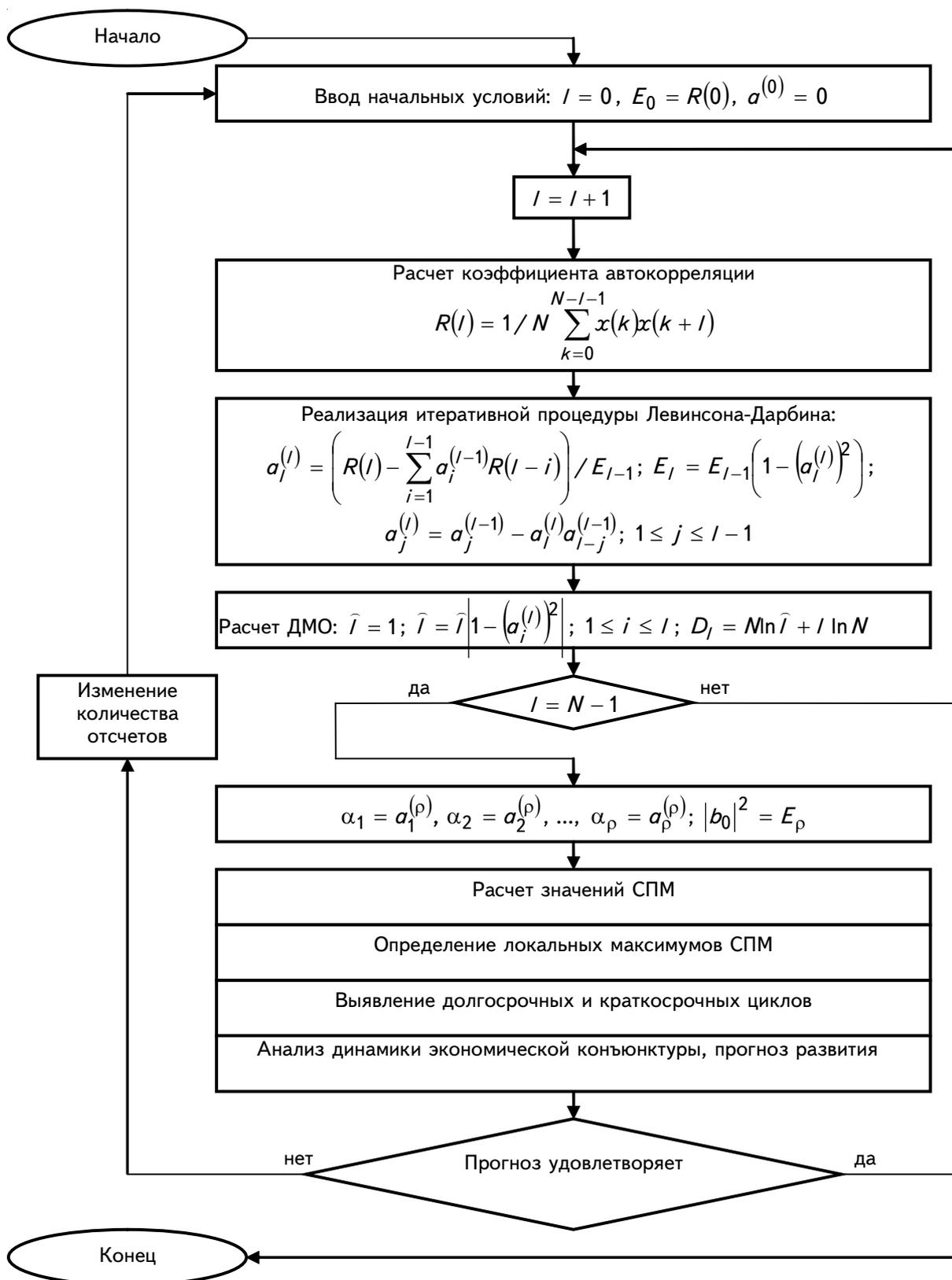


Рис. 1. Схема выделения циклов на основе спектрального анализа

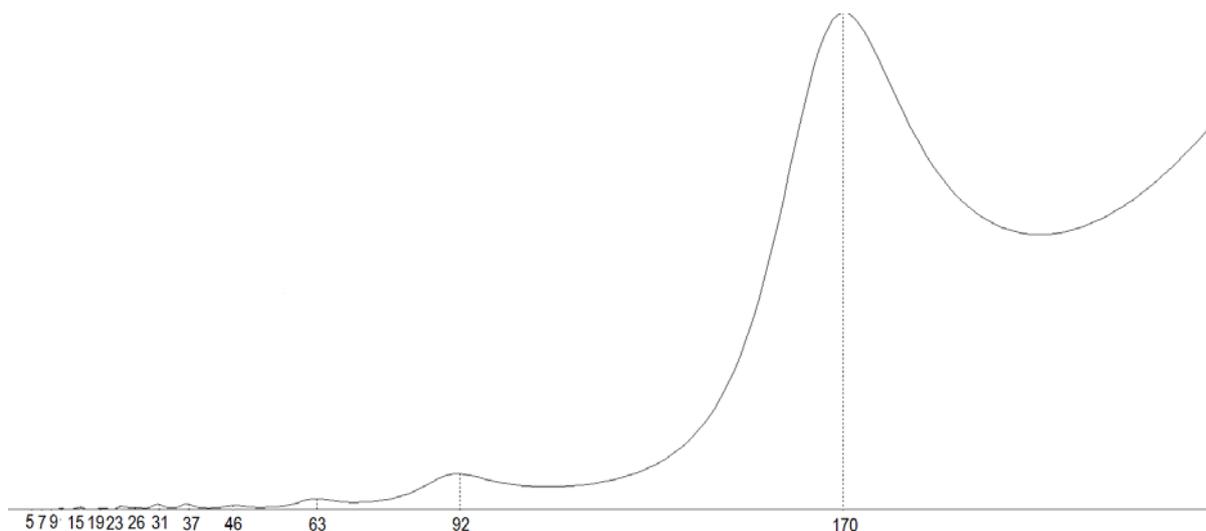


Рис. 2. Спектральная плотность мощности котировок акций “Лукойл” за период 09.01.2008-31.12.2008

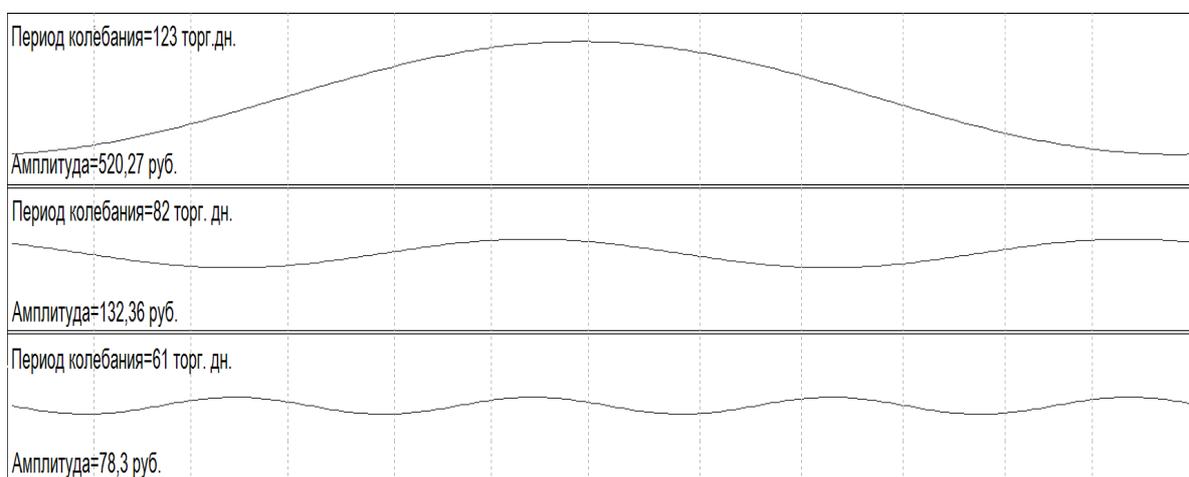


Рис. 3. Гармонические составляющие динамики акций “Лукойл” за период 09.01.2008 -31.12.2008

$$R(i-j) = 1/N \sum_{k=0}^{N-1-|i-j|} x(k)x(k+|i-j|).$$

Для решения системы Юла-Уокера применяется алгоритм Левинсона-Дарбина (1960 г.), представленный на рис. 1. Особенностью алгоритма является его итеративный характер.

Для определения порядка АР-модели используется статистически значимый критерий длины минимального описания<sup>7</sup> (ДМО):

$$ДМО[\rho] = N \ln \hat{\rho}_\rho + \rho \ln N,$$

где  $\rho$  - порядок АР-модели;  $\hat{\rho}_\rho$  - оценочное значение дисперсии белого шума, кото-

рая используется в качестве ошибки линейного предсказания.

К примеру, для динамики котировок акций “Лукойл” за 2008 г. (246 торговых дней) спектральная плотность мощности, вычисленная по методу максимальной энтропии, представлена на рис. 2.

Наиболее крупные циклические составляющие изображены на рис. 3. Так, основной цикл имеет наибольший период колебания (123 торговых дня или полгода) и наибольшую амплитуду<sup>8</sup> (520,27 руб.). Таким образом, на рынке акций наблюдается весенний рост, летнее замедление роста цен и разворот тенденции, осенний спад и зимнее “дно” цен, переходящее в стадию оживления<sup>9</sup>.

Вывод: в данной статье проведен анализ и выделены наиболее часто встречающиеся в научной литературе циклы экономической конъюнктуры. Для общего случая определения циклов экономической конъюнктуры предложен подход, основанный на преобразовании Фурье и спектральной плотности мощности. На примере котировок акций "Лукойл" выделены долгосрочные и краткосрочные циклические составляющие. Разработан алгоритм выделения циклов на основе метода Левинсона-Дарбина, позволяющий провести расчет значений оптимальной спектральной плотности мощности, определить динамику экономической конъюнктуры и прогноз развития.

---

<sup>1</sup> Экономическая теория / Под ред. И.П. Николаевой. 2-е изд., перераб. и доп. М., 2008.

<sup>2</sup> Кондратьев Н.Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. М., 2002.

<sup>3</sup> Кравчук В.К. Новый адаптивный метод следования за тенденцией и рыночными циклами // Валютный спекулянт. 2000. № 12. С. 48-53.

<sup>4</sup> Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов: Пер. с англ. 2-е изд. М., 2007.

<sup>5</sup> Кравчук В.К. Спектральный анализ колебаний валютного курса EUR/USD по методу максимальной энтропии // Валютный спекулянт. 2001. № 1. С. 14-17.

<sup>6</sup> Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных процессов: Пер. с англ. М., 1989.

<sup>7</sup> Марпл С.Л. (мл.) Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. М., 1990.

<sup>8</sup> Ситникова А.Ю. Разработка модели и алгоритма асинхронного гармонического анализа котировок акций // Проблемы управления и информационные технологии (ПУИТ'08): Материалы конф. Казань, 2008.

<sup>9</sup> Богатырев В.Д., Ситникова А.Ю. Разработка торгового индикатора для рынка ценных бумаг на основе асинхронного гармонического анализа // Вестн. Междунар. ин-та рынка. 2007. № 2 (3). С. 30-35.

*Поступила в редакцию 02.07.2009 г.*