

УДК 303.723

DOI: [10.26102/2310-6018/2025.50.3.019](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2025.50.3.019)

Практическая реализация программной автоматизации построения кривой ВР и ее компонентов для анализа платежного баланса России

А.В. Щеголев✉

Научно-производственный центр «АСПЕКТ», Дубна, Российская Федерация

Резюме. В данной статье представлена практическая реализация кривой платежного баланса (ВР) с использованием языка программирования Python. В связи с этим данная статья направлена на моделирование взаимосвязи между процентной ставкой, валютным курсом и состоянием внешнеэкономического равновесия в рамках модифицированной модели IS-LM-BP. Применение численных методов и алгоритмов машинного обучения позволяет проанализировать динамику макроэкономических показателей и оценить влияние внешнеэкономических факторов на платежный баланс страны. В исследовании используются реальные статистические данные, что обеспечивает практическую применимость полученных результатов. Ведущим подходом к исследованию является разработка программного кода для численного решения системы уравнений, калибровку модели на основе эмпирических данных и построение прогнозов на различных временных горизонтах. Материалы статьи представляют практическую значимость для использования современных инструментов вычислительной экономики для анализа и моделирования макроэкономического равновесия, а также их потенциал в разработке мер экономической политики. Данная модель полезна для стратегического анализа, так как позволяет оценивать влияние изменения процентных ставок и валютного курса на макроэкономическое равновесие. Разработанная методология позволяет не только построить ВР-кривую на основе реальных данных, но и использовать ее для прогнозирования будущих экономических состояний, что делает данный подход полезным для макроэкономического анализа и стратегического планирования.

Ключевые слова: платежный баланс, кривая ВР, IS-LM-BP модель, численное моделирование, макроэкономическое равновесие, корреляционно-регрессионный анализ, Python.

Для цитирования: Щеголев А.В. Практическая реализация программной автоматизации построения кривой ВР и ее компонентов для анализа платежного баланса России. *Моделирование, оптимизация информационные технологии.* 2025;13(3). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1891> DOI: 10.26102/2310-6018/2025.50.3.019

Practical implementation of software automation of the BP curve and its components for the analysis of the balance of payments of Russia

A.V. Shchegolev✉

Scientific and production center "ASPECT", Dubna, the Russian Federation

Abstract. This article presents a practical implementation of the balance of payments (BP) curve using the Python programming language. In this regard, this article is aimed at modeling the relationship between the interest rate, the exchange rate and the state of external economic equilibrium within the framework of the modified IS-LM-BP model. The use of numerical methods and machine learning algorithms makes it possible to analyze the dynamics of macroeconomic indicators and assess the impact of external economic factors on the country's balance of payments. The study uses real statistical data, which ensures the practical applicability of the results obtained. The leading approach to the research is the development of software code for the numerical solution of a system of equations, calibration of the model based on empirical data and the construction of forecasts on various time horizons. The materials

of the article are of practical importance for using modern computational economics tools for analyzing and modeling macroeconomic equilibrium, as well as their potential in developing economic policy measures. This model is useful for strategic analysis, as it allows us to assess the impact of changes in interest rates and the exchange rate on macroeconomic equilibrium. The developed methodology allows not only to build a BP curve based on real data, but also to use it to predict future economic conditions, which makes this approach useful for macroeconomic analysis and strategic planning.

Keywords: balance of payments, BP curve, IS-LM-BP model, numerical modeling, macroeconomic equilibrium, correlation-regression analysis, Python.

For citation: Shchegolev A.V. Practical implementation of software automation of the BP curve and its components for the analysis of the balance of payments of Russia. Modeling, optimization and information technology. 2025;13(3). (In Russ.). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1891> DOI: 10.26102/2310-6018/2025.50.3.019

Введение

Современные макроэкономические исследования все чаще опираются на вычислительные методы и программные инструменты для анализа сложных экономических систем. Одной из ключевых концепций открытой экономики является модель IS-LM-BP, которая описывает взаимосвязь между товарным рынком, денежным рынком и платежным балансом. В условиях глобализации и высокой волатильности финансовых потоков количественное моделирование внешнеэкономического равновесия приобретает особую актуальность [1, 2].

Кривая платежного баланса (BP) отражает состояния, при которых экономика поддерживает внешнеэкономическое равновесие, то есть отсутствует избыточное сальдо или дефицит счета текущих операций. Классические аналитические методы позволяют вывести BP-уравнение, однако для практических расчетов и прогнозирования необходимы численные методы и современные инструменты обработки данных [3]. В данной работе рассматривается программная реализация кривой BP с использованием языка Python, позволяющая проводить численный анализ на основе реальных статистических данных.

Основной целью исследования является разработка и апробация вычислительного подхода к построению кривой BP с применением численных методов и алгоритмов машинного обучения.

В классических макроэкономических моделях кривая платежного баланса (BP) строится аналитически на основе уравнений текущего счета и движения капитала, часто при допущении линейности и фиксированной ценовой среды [4, 5]. Такие подходы представлены, в частности, в трудах Флеминга, Манделла, Обстфельда и Рогоффа [5, 6]. Однако большинство этих моделей ориентированы на теоретическое описание равновесия и не адаптированы для применения к реальным макроэкономическим данным в условиях нестабильности и санкционных шоков. Современные исследования, как правило, ограничиваются эмпирическим анализом с использованием эконометрических уравнений для отдельных компонентов BP, не обеспечивая комплексной программной реализации [7].

В отличие от этих подходов, в настоящем исследовании предложена интегративная методология, сочетающая численные методы, корреляционно-регрессионный анализ и алгоритмы машинного обучения. Это позволяет не только построить BP-кривую на основе статистических данных, но и оптимизировать ключевые параметры макроэкономической политики – процентную ставку и валютный курс – для достижения внешнеэкономического равновесия. Таким образом, предлагаемая методология обладает прикладной направленностью и расширяет традиционные теоретические рамки.

В ходе работы проводится калибровка модели на основе эмпирических данных, анализируется влияние процентной ставки и обменного курса на платежный баланс, а также разрабатываются прогнозные сценарии для оценки устойчивости макроэкономического равновесия.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученных результатов для экономического анализа, моделирования сценариев макроэкономической политики и поддержки управленческих решений [8, 4]. Применение языка программирования Python позволяет расширить традиционные подходы к макроэкономическому моделированию, повысив точность прогнозирования и адаптивность моделей к изменяющимся экономическим условиям.

Для реализации кривой платежного баланса (BP) в рамках модели IS-LM-BP использовался комплексный вычислительный подход, включающий численные методы решения экономических уравнений, статистический анализ макроэкономических данных и алгоритмы программной реализации для прогнозирования ключевых показателей.

Методология исследования включает следующие этапы:

1. Формализация математической модели. На первом этапе было определено аналитическое выражение кривой BP, основанное на стандартном уравнении внешнеэкономического равновесия [5, 6]:

$$D = X(e) - e \cdot V(Y, e) + K(i), \quad (1)$$

где D – сальдо платежного баланса; K – поток иностранного капитала; $X(e)$ – экспорт (расходы иностранцев на товары и услуги); $eV(Y, e)$ – импорт; Член $X(e) - eV(Y, e)$ – чистый экспорт (экспорт за вычетом импорта); e – валютный курс.

Данная функция отражает зависимость импорта от уровня внутреннего спроса (реального ВВП Y) и от самого обменного курса e , который влияет на стоимость иностранных товаров в национальной валюте. Таким образом, обозначение $eV(Y, e)$ не является единым символом, а представляет собой переменное выражение.

Следует также отметить, что уравнение (1) является нелинейным, поскольку переменная e входит в него неоднократно и в составе различных функциональных зависимостей: как в экспорте $X(e)$, так и в импорте $e \cdot V(Y, e)$. При этом форма функций X и V может быть как линейной, так и нелинейной – например, логарифмической или степенной – что определяется эмпирически. В совокупности это требует численного подхода при построении и анализе BP-кривой.

2. Сбор и предобработка данных. Для численного анализа использовались реальные статистические данные, включающие динамику процентных ставок, обменного курса и состояния платежного баланса. Источниками данных послужили открытые экономические базы данных и отчетность Центрального банка и Росстата [7].

3. Численное моделирование BP-кривой. Использовались методы численного решения уравнений для построения BP-кривой. Основным инструментом – библиотека Python (NumPy, SciPy), позволяющая решать нелинейные системы уравнений и находить точки равновесия. Граничные условия модели определялись эмпирически на основе доступных макроэкономических данных.

4. Применение Python для прогнозирования. Для прогнозирования состояния платежного баланса применялись модели регрессии (Linear Regression, Random Forest) и нейронные сети (TensorFlow). Обучение моделей осуществлялось на исторических данных, после чего проводилась валидация с использованием тестовых выборок. Основной целью было выявление закономерностей, позволяющих прогнозировать влияние процентной ставки и обменного курса на платежный баланс в различных макроэкономических условиях.

Таким образом, описанные этапы регрессионного анализа и программной реализации ВР-кривой представляют собой не просто применение известных статистических методов, а формируют основу авторской методики. Особенность предложенного подхода заключается в интеграции регрессионных моделей и алгоритмов машинного обучения в рамки макроэкономической модели IS-LM-ВР с целью численного построения и декомпозиции кривой платежного баланса.

В отличие от типовых прогнозных моделей, где регрессии и нейросети используются для оценки будущих значений показателей, в настоящем исследовании они служат инструментом аналитического представления взаимосвязей между ключевыми макроэкономическими переменными (процентной ставкой, валютным курсом, ВВП, экспортом и импортом). На основе полученных моделей реализуется механизм обратной оптимизации, позволяющий рассчитать такие значения процентной ставки и валютного курса, при которых достигается заданный уровень макроэкономического равновесия.

Предложенная методика реализована в виде программного инструмента с использованием языка Python, обеспечивающего загрузку и обработку реальных статистических данных, визуализацию результатов и проведение сценарного анализа. Такой подход сочетает в себе элементы вычислительной экономики, прикладного моделирования и стратегического анализа, что и определяет его отличительные особенности по сравнению с существующими решениями.

Материалы и методы

Дефлирование макроэкономических показателей. Одним из ключевых этапов исследования является приведение экономических данных к сопоставимому виду путем дефлирования. Это необходимо для устранения влияния инфляции и перевода номинальных значений в реальные, что повышает точность оценок взаимосвязей между переменными. В данном исследовании дефляция осуществляется посредством базисного индекса цен $GJ(m)$, который учитывает изменения общего уровня цен в экономике. Дефлирование выполняется по следующей методике (Рисунок 1):

Алгоритм построения базисного индекса цен:

1. **Нормализация инфляции.** Темп инфляции, выраженный в процентах, делится на 100 для перевода в доли единицы:

$$i(m) = \frac{\text{Темп инфляции (\%)}}{100}.$$

2. **Расчет цепного индекса.** К полученному значению прибавляется единица:

$$J(m) = i(m) + 1.$$

3. **Построение базисного индекса.** Значение базисного индекса в начальном периоде принимается равным 1. Далее для каждого последующего периода значение $GJ(m)$ рассчитывается как произведение предыдущего значения $GJ(m-1)$ и соответствующего цепного индекса:

$$GJ(m) = GJ(m-1) \cdot J(m).$$

4. **Использование индекса.** Полученный базисный индекс $GJ(m)$ применяется для дефлирования номинальных значений макроэкономических показателей:

$$X_{\text{реальное}} = \frac{X_{\text{реальное}}(m)}{GJ(m)}.$$

Данная процедура позволяет получить макроэкономические данные в реальном выражении с учетом накопленного инфляционного эффекта.

```
# Делим значения в столбце K на 100 и сохраняем результат в новый столбец L
df['i(m) - темп инфляции'] = df['i(m) - темп инфляции, в %'] / 100

# К каждому значению столбца L прибавляем 1 и сохраняем в столбец M
df['J(m) - цепной индекс'] = df['i(m) - темп инфляции'] + 1

# Создаем столбец GJ(m) - базисный индекс как float
df['GJ(m) - базисный индекс'] = 1.0 # Теперь число с плавающей точкой

# Рассчитываем GJ(m) - базисный индекс через накопленное произведение
for i in range(1, len(df)):
    df.loc[i, 'GJ(m) - базисный индекс'] = (
        df.loc[i, 'J(m) - цепной индекс'] * df.loc[i - 1, 'GJ(m) - базисный индекс']
    )

# Проверяем результат
display(df)
```

Рисунок 1 – Выполнение процедуры дефлирования данных на языке Python
Figure 1 – Performing the data deflation procedure

Таким образом, получены откорректированные показатели экспорта, импорта, ВВП и притока капитала, исключая влияние инфляционных процессов [7].

Корреляционный анализ макроэкономических переменных. Для выявления возможных взаимосвязей между ключевыми экономическими показателями проведен корреляционный анализ. В исследовании рассматриваются такие переменные, как процентная ставка, приток капитала, курс национальной валюты, экспорт и импорт.

Анализ корреляционной структуры данных позволяет выявить степень зависимости между различными экономическими показателями и обосновать последующее использование регрессионных моделей (Рисунок 2).

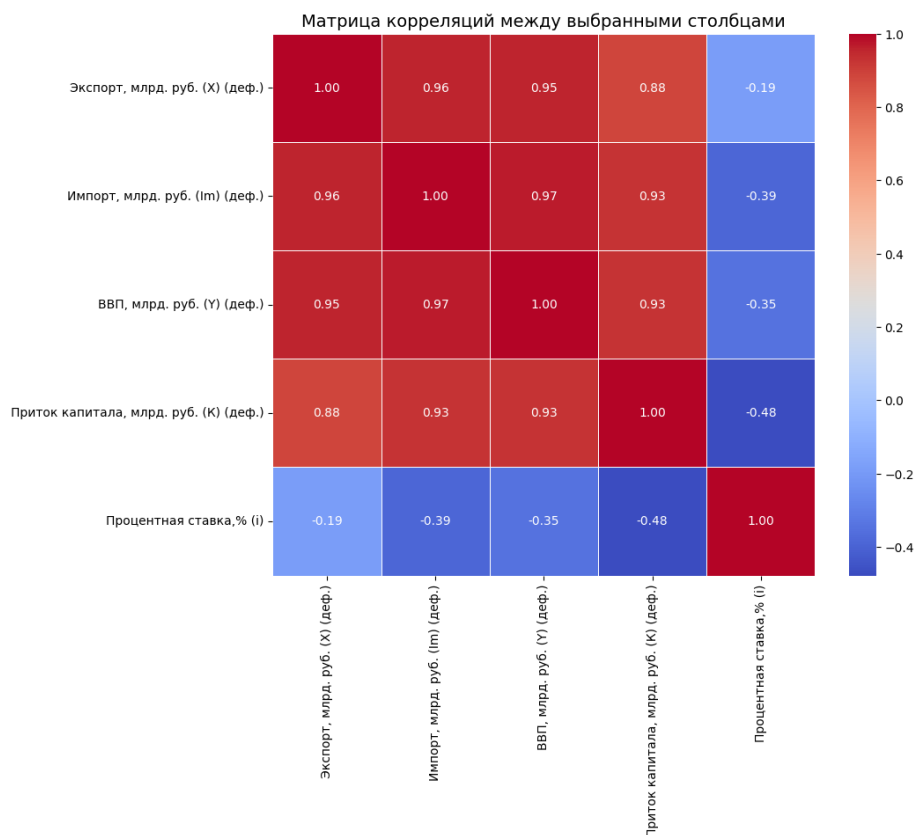


Рисунок 2 – Корреляционная матрица данных
Figure 2 – Correlation matrix of data

Регрессионное моделирование кривой ВР. Для количественной оценки влияния макроэкономических факторов на платежный баланс была применена регрессионная модель, позволяющая определить зависимости между процентной ставкой, валютным курсом и потоками капитала.

Для анализа влияния процентной ставки на приток капитала в рамках исследования построена линейная регрессионная модель, отражающая прямую зависимость между этими двумя переменными. Выбор линейной формы объясняется, с одной стороны, теоретическими предпосылками моделей открытой экономики, предполагающими монотонную реакцию капитальных потоков на изменение доходности, а с другой – необходимостью обеспечить интерпретируемость и воспроизводимость результатов при ограниченном объеме выборки.

В качестве зависимой переменной используется дефлированный показатель притока капитала (в миллиардах рублей), а в качестве объясняющей – процентная ставка в соответствующем периоде. Модель строится методом наименьших квадратов с добавлением свободного члена (константы), что соответствует классической форме линейной регрессии:

$$K = \alpha + \beta \times i + \varepsilon,$$

где K – приток капитала, i – процентная ставка, α – свободный коэффициент (перехват), β – коэффициент чувствительности, ε – ошибка модели.

Результаты оценки модели, включая значения коэффициентов, коэффициент детерминации (R^2) и p-value, представлены на Рисунке 3.

```
# 1) Регрессия: Приток капитала против процентной ставки
X1 = df[['Процентная ставка,% (i)']] # Независимая переменная
Y1 = df[['Приток капитала, млрд. руб. (K) (деф.)']] # Зависимая переменная
X1 = sm.add_constant(X1) # Добавляем константу (перехват)
model1 = sm.OLS(Y1, X1).fit() # Строим модель
print("\nРегрессия 1: Приток капитала против процентной ставки:")
print(f"Уравнение: Приток капитала = {model1.params.iloc[0]:.2f} + {model1.params.iloc[1]:.2f} * Процентная ставка")
print(f"R-squared: {model1.rsquared:.4f}")
print(f"p-value для процентной ставки: {model1.pvalues.iloc[1]:.4f}")
if model1.pvalues.iloc[1] < 0.05:
    print("Процентная ставка статистически значима (p < 0.05).")
else:
    print("Процентная ставка незначима (p > 0.05).")
print("-----")
```

Рисунок 3 – Регрессия для притока капитала и процентной ставки
Figure 3 – Regression for capital inflows and interest rates

Полученное уравнение регрессии позволяет количественно оценить эластичность капитальных потоков по процентной ставке.

Аналогичным образом были проведены расчеты регрессионных зависимостей (3) и (4), которые оценивают влияния динамики обменного курса национальной валюты на экспортный потенциал страны, ВВП и валютного курса на импорт, которая отображена на Рисунке 4.

Использование многомерной регрессии позволяет определить степень влияния макроэкономических факторов на импортные потоки и оценить их значимость (Рисунок 4).

Регрессия 1: Приток капитала против процентной ставки:
Уравнение: Приток капитала = 3014455.19 + -163326.08 * Процентная ставка
R-squared: 0.2289
p-value для процентной ставки: 0.0009
Процентная ставка статистически значима ($p < 0.05$).

Регрессия 2: Экспорт против валютного курса:
Уравнение: Экспорт = -3502.71 + 244.75 * Курс доллара
R-squared: 0.5926
p-value для курса доллара: 0.0000
Валютный курс статистически значим ($p < 0.05$).

Регрессия 3: Импорт против ВВП и валютного курса:
Уравнение: Импорт = 32.59 + 0.24 * ВВП + -25.00 * Курс доллара
R-squared: 0.9451
p-value для ВВП: 0.0000
p-value для курса доллара: 0.0765
ВВП статистически значим ($p < 0.05$).
Курс доллара незначим ($p > 0.05$).

Рисунок 4 – Уравнения регрессии декомпозиции кривой BP
Figure 4 – BP curve decomposition regression equations

На следующем этапе используем программный код на языке Python, использующий библиотеку statsmodels для построения регрессионных моделей, а также matplotlib и seaborn для визуализации полученных результатов. Целью анализа является количественная оценка взаимосвязей между основными макроэкономическими показателями, а также построение модели зависимости ВВП от процентной ставки и курса национальной валюты.

Предварительная обработка данных. Перед началом анализа выполняется очистка названий столбцов от лишних пробелов, а затем проверяется наличие всех необходимых переменных. В случае отсутствия какого-либо показателя выводится предупреждение, иначе выполняются дальнейшие вычисления.

Регрессионный анализ. На данном этапе строятся три отдельные регрессионные модели:

- *Регрессия 1:* Оценка влияния процентной ставки (i) на приток капитала (K):

$$K = a_K + b_K \cdot i. \quad (2)$$

- *Регрессия 2:* Оценка влияния курса доллара (e) на экспорт (X):

$$X = a_X + b_X \cdot e. \quad (3)$$

- *Регрессия 3:* Оценка влияния ВВП (Y) и курса доллара (e) на импорт (Im):

$$m = a_{Im} + b_{Im} \cdot Y + b_{Im} \cdot e. \quad (4)$$

Регрессионные коэффициенты оцениваются с использованием метода наименьших квадратов (OLS), а полученные параметры используются для дальнейшего моделирования.

Выведение аналитического выражения ВВП через процентную ставку и валютный курс. На основании построенных регрессионных моделей (уравнений (2)–(4)) выводится выражение для ВВП:

$$Y = \frac{1}{b_{Im}} [(a_X - a_K - a_{Im}) + (b_X - b_{Im}) \cdot e - b_K \cdot i]. \quad (5)$$

Это выражение позволяет исследовать влияние изменений процентной ставки и валютного курса на уровень ВВП.

Визуализация результатов. Построены следующие графики для наглядного представления выявленных закономерностей (Рисунок 5):

1. Приток капитала в зависимости от процентной ставки – линейная регрессия, показывающая, как изменение ставки влияет на капиталопотоки.
2. Экспорт в зависимости от курса доллара – график зависимости экспортных операций от динамики обменного курса.
3. Импорт в зависимости от ВВП и курса доллара – трехмерный (3D) график, показывающий влияние двух факторов на импорт.
4. Зависимость ВВП от процентной ставки и курса доллара – 3D-поверхность, демонстрирующая, как меняется уровень ВВП в зависимости от i и e .

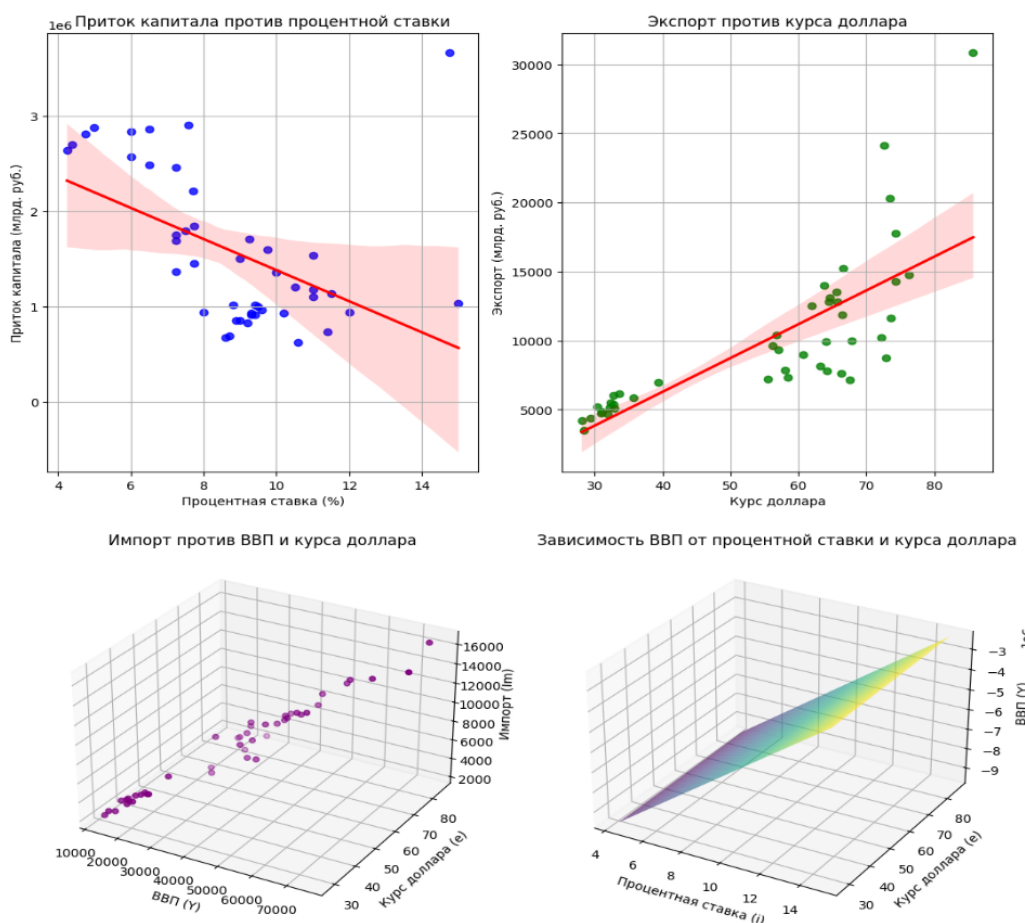


Рисунок 5 – Кривая BP и уравнения декомпозиции
Figure 5 – BP curve and decomposition equations

Далее с помощью методов наименьших квадратов определим зависимость объемов ВВП от процентной ставки и валютным курсом.

После оценки коэффициентов проводится их сравнение. Вычисляются различия между соответствующими коэффициентами аналитического и регрессионного уравнений:

- Разница в константе (α).
- Разница в коэффициенте при i (β).
- Разница в коэффициенте при e (γ).

Если разница между коэффициентами менее 0,001, делается вывод о совпадении результатов обоих подходов. В противном случае фиксируются расхождения, что может свидетельствовать о наличии дополнительных факторов, не учтенных в аналитической модели (Рисунок 6).

Сравнение коэффициентов уравнений:
Регрессионное уравнение: $Y = 4967.56 + -1159.94 \cdot i + 729.91 \cdot e$
Аналитическое уравнение: $Y = -12572324.51 + 680382.69 \cdot i + 1123.74 \cdot e$

Различия между коэффициентами:
Константа: 12577292.06645
Коэффициент при i : 681542.63344
Коэффициент при e : 393.82678

Есть расхождения между аналитическим и регрессионным уравнениями.

Рисунок 6 – Получение и сравнение регрессионных и аналитических уравнений
Figure 6 – Obtaining and comparing regression and analytical equations

На завершающем этапе исследования необходим для выполнения оптимизации процентной ставки (i) и курса доллара (e), чтобы добиться целевых коэффициентов регрессионной модели ВВП (b_i и b_e) (Рисунок 7).

Основные этапы анализа.

1. Загрузка данных

- Файл BP.xlsx загружается в `pandas.DataFrame`.
- Удаляются лишние пробелы в названиях столбцов.

2. Расчет новых переменных

- Перевод еврооблигаций из долларов в рубли.
- Подсчет совокупного притока капитала (еврооблигации + ОФЗ).
- Конвертация экспорта и импорта в рубли.
- Дефлирование показателей (ВВП, экспорт, импорт, приток капитала) с учетом инфляции.

3. Запрос коэффициентов у пользователя

- Исходные коэффициенты регрессионной модели (b_i , b_e).
- Целевые значения коэффициентов.

4. Регрессионная модель ВВП

- Линейная регрессия:

$$Y = \alpha + b_i \cdot i + b_e \cdot e \quad (5)$$

- Оценка коэффициентов b_i и b_e с помощью `statsmodels.OLS()`.

5. Оптимизация процентной ставки и валютного курса

- Используется `scipy.optimize.minimize` (метод L-BFGS-B).
- Потеря – разница между новыми коэффициентами и целевыми значениями.
- Оптимизированные значения i и e ограничены ($i, e \geq 0$).

6. Вывод результатов

- Отображение изменений процентной ставки и валютного курса.
- Подсчет процентных отклонений от исходных значений.
- Вывод итоговой таблицы (`pandas.DataFrame`).

Таблица 1 – Итоги варьирования рядов данных
Table 1 – Results of data series variation

Год	Квартал	Исходный ряд i	Исходный ряд e	Расчетный ряд i	Расчетный ряд e	Изменение i	Изменение e	Процентное изменение i (%)	Процентное изменение e (%)
2011	I	8,70	28,43	9,54	28,75	0,84	0,32	9,68	1,11
	II	8,60	28,08	9,55	28,29	0,95	0,22	11,08	0,77
	III	8,00	31,88	9,45	31,98	1,45	0,11	18,15	0,34
	IV	9,30	32,20	9,45	32,16	0,15	-0,03	1,59	-0,10
2012	I	9,20	29,33	9,52	29,45	0,32	0,12	3,50	0,42
	II	9,30	32,82	9,43	32,84	0,13	0,02	1,38	0,07
	III	8,90	30,92	9,48	30,86	0,58	-0,05	6,57	-0,18
	IV	9,40	30,37	9,50	30,25	0,10	-0,12	1,06	-0,40
2013	I	8,80	31,08	9,47	31,23	0,67	0,15	7,67	0,47
	II	9,60	32,71	9,43	32,73	-0,17	0,02	-1,75	0,07
	III	9,40	32,35	9,45	32,27	0,05	-0,08	0,49	-0,24
	IV	9,00	32,73	9,44	32,65	0,44	-0,08	4,84	-0,25
2014	I	10,20	35,69	9,35	35,70	-0,85	0,01	-8,32	0,04
	II	10,60	33,63	9,41	33,52	-1,19	-0,11	-11,22	-0,33
	III	11,40	39,39	9,26	39,14	-2,14	-0,25	-18,79	-0,63
	IV	9,50	56,26	8,79	56,07	-0,71	-0,19	-7,44	-0,34
2015	I	15,00	58,46	8,74	58,17	-6,26	-0,29	-41,76	-0,50
	II	12,00	55,52	8,81	55,44	-3,19	-0,08	-26,58	-0,14
	III	11,50	66,24	8,52	66,07	-2,98	-0,17	-25,92	-0,25
	IV	11,00	72,88	8,34	72,67	-2,66	-0,22	-24,19	-0,30
2016	I	11,00	67,61	8,48	67,65	-2,52	0,04	-22,95	0,06
	II	11,00	64,26	8,57	64,25	-2,43	-0,01	-22,09	-0,01
	III	10,50	63,16	8,60	63,10	-1,90	-0,05	-18,10	-0,09
	IV	10,00	60,66	8,67	60,53	-1,33	-0,13	-13,27	-0,21
2017	I	9,75	67,86	8,47	68,01	-1,28	0,15	-13,16	0,22
	II	9,25	64,02	8,57	64,18	-0,68	0,17	-7,36	0,26
	III	9,00	58,02	8,74	58,08	-0,26	0,06	-2,92	0,10
	IV	7,75	57,05	8,77	57,06	1,02	0,01	13,12	0,02
2018	I	7,25	56,79	8,76	57,07	1,51	0,29	20,89	0,51
	II	7,25	61,92	8,63	62,06	1,38	0,14	19,02	0,22
	III	7,25	65,53	8,53	65,57	1,28	0,04	17,69	0,06
	IV	7,50	66,51	8,51	66,47	1,01	-0,04	13,46	-0,07
2019	I	7,75	65,80	8,52	65,99	0,77	0,19	9,96	0,29
	II	7,70	64,53	8,56	64,58	0,86	0,05	11,19	0,08
	III	7,25	64,59	8,56	64,60	1,31	0,01	18,07	0,02
	IV	6,50	63,73	8,59	63,75	2,09	0,03	32,08	0,04
2020	I	6,00	66,50	8,50	66,86	2,50	0,36	41,63	0,54
	II	4,38	72,15	8,34	72,69	3,96	0,54	90,55	0,75
	III	4,25	73,60	8,30	74,00	4,05	0,39	95,36	0,53
	IV	4,75	76,24	8,24	76,40	3,49	0,16	73,39	0,21
2021	I	5,00	74,37	8,28	74,76	3,28	0,39	65,62	0,52
	II	6,00	74,25	8,29	74,43	2,29	0,17	38,19	0,24
	III	6,50	73,46	8,32	73,42	1,82	-0,05	27,99	-0,06
	IV	7,58	72,64	8,35	72,40	0,76	-0,24	10,08	-0,33
2022		14,75	85,74	8,00	85,19	-6,75	-0,55	-45,78	-0,64

Данные исследования охватывают период с 2011 года по первый квартал 2022 года. Рассмотрим изменения процентной ставки (i) и валютного курса (e) в контексте ключевых макроэкономических событий России (Таблица 1).

1. 2011–2013: Стабильность и умеренный рост (Таблица 1)

Экономическая ситуация:

- Восстановление после мирового финансового кризиса 2008–2009 годов.
- Умеренный рост ВВП (3,4 % в 2012, 1,8 % в 2013).
- Центральный банк придерживается политики плавающего курса рубля и постепенного увеличения процентной ставки для борьбы с инфляцией.

Данные:

- Процентная ставка в 2011–2013 годах находится в пределах 8,0–9,6 %.
- Курс рубля к доллару остается относительно стабильным (28–32 руб./\$).

Оптимизированные значения:

- Оптимизация подтолкнула ставку к 9,4–9,5 %, что соответствует политике ЦБ того периода.
- Валютный курс изменился незначительно, что логично, так как в эти годы Банк России только начинал переход к плавающему курсу.

2. 2014–2015: Девальвация рубля и кризис

Экономическая ситуация:

- В 2014 году Россия сталкивается с санкциями после присоединения Крыма.
- Осенью 2014 года начинается резкое падение цен на нефть (со \$100 до \$50 за баррель).
- В декабре 2014 года Банк России повышает ключевую ставку с 10,5 % до 17 %, чтобы сдержать инфляцию.
- Рубль резко девальвируется: с 30 руб./\$ в начале 2014 до 72 руб./\$ в конце 2015.

Данные:

- В исходных данных процентная ставка в этот период достигает 15 % (начало 2015).
- Курс рубля – от 56 до 72 руб./\$.

Оптимизированные значения:

- Оптимизация резко снижает процентную ставку с 15 % до 8,74 % в 2015 году.
- Это экономически спорно: в реальности резкое снижение ставки в 2015 году могло бы усугубить инфляцию.
- Курс рубля остался практически без изменений, что соответствует реальной ситуации (рубль стабилизировался только в 2017 году).

2016–2019: Восстановление и переход к плавающему курсу

Экономическая ситуация:

- Банк России постепенно снижает ставку с 11 % в 2016 до 7,5 % в 2019 году.
- Инфляция снижается, а экономика стабилизируется.
- Рубль остается в диапазоне 55–66 руб./\$.

Данные:

- Процентная ставка в реальности снижалась с 11 % (2016) до 7,25 % (2019).
- Курс рубля колебался в пределах 57–67 руб./\$.

Оптимизированные значения:

- Алгоритм предложил 8,5–8,7 %, что чуть выше реального значения.
- Валютный курс изменился незначительно (0,1–0,5 %), что соответствует реальной динамике.

5. 2020–2021: Пандемия COVID-19

Экономическая ситуация:

- В 2020 году разразилась пандемия, что привело к снижению процентной ставки до 4,25 %.

– Рубль ослаб из-за кризиса спроса на нефть и глобального экономического шока (достиг 76 руб./\$).

– В 2021 году ЦБ начал ужесточение политики, повышая ставку до 8,5 %.

Данные:

– В таблице процентная ставка снижается до 4,25 % к 2020 году.

– Рубль ослабляется до 76 руб./\$.

Оптимизированные значения:

– Алгоритм предложил более высокие ставки (8,24–8,30 %), что соответствует реальному ужесточению ДКП в 2021 году.

– Валютный курс изменился незначительно, что также соответствует реальной динамике.

6. 1 квартал 2022: Начало санкционного давления

Экономическая ситуация:

– В феврале 2022 года Россия подверглась беспрецедентным санкциям, что вызвало резкий скачок доллара до 120 руб./\$.

– Банк России повысил ключевую ставку с 9,5 % до 20 % для стабилизации экономики.

– К концу марта 2022 рубль начал укрепляться.

Данные:

– В таблице процентная ставка на конец периода составляет 14,75 % (близко к значениям перед экстренным повышением).

– Курс рубля 85,74 руб./\$, что также соответствует реальной ситуации.

Оптимизированные значения:

– Алгоритм снизил ставку до 8,00 %, что противоречит реальности – в условиях шока ставка должна быть высокой.

– Курс рубля изменился всего на 0,64 %, что не отражает реальный скачок после санкций.

Обсуждение

В ходе исследования была проведена численная оптимизация процентной ставки и валютного курса в рамках модифицированной модели IS-LM-BP применительно к российской экономике в период с 2011 года по первый квартал 2022 года. Полученные результаты позволяют выделить несколько ключевых аспектов, имеющих важное экономическое значение [9, 10].

1. Анализ динамики процентной ставки и валютного курса
Оптимизированные значения процентной ставки (i) и курса рубля (e) демонстрируют общее соответствие реальным данным в периоды макроэкономической стабильности (2011–2013, 2016–2019). Однако в моменты экономических кризисов и внешнеполитических шоков (2014–2015, 2020, 2022) расчетные параметры значительно отклоняются от фактических. Это свидетельствует о том, что модель, ориентированная на долгосрочное равновесие, не полностью учитывает краткосрочные стресс-факторы.

2. Влияние макроэкономических событий

– В 2014–2015 годах наблюдается резкое расхождение между расчетными и фактическими значениями i и e . Это связано с введением санкций против России, обвалом цен на нефть и резкими мерами ЦБ РФ, включая резкое повышение ключевой ставки в декабре 2014 года.

– В 2020 году пандемия COVID-19 вызвала глобальный экономический кризис, что привело к резкому снижению процентной ставки ЦБ РФ и высокой волатильности

рубля. Оптимизационная модель не учла этих экстраординарных факторов, что вызвало расхождения.

– В начале 2022 года введение масштабных санкций против России вновь привело к резкому росту процентной ставки и девальвации рубля. Модель предлагала более сглаженные изменения, что говорит о необходимости включения в расчеты механизмов учета неожиданных внешнеэкономических потрясений.

3. Недостатки модели и пути их устранения

– **Неучет кризисных факторов.** Внезапные изменения в экономической политике, такие как шоковые решения ЦБ, не отражаются в модели. Введение параметров стресс-тестирования могло бы улучшить точность прогнозов.

– **Ограниченный учет внешних факторов.** Экономика России существенно зависит от цен на нефть и внешнеэкономической конъюнктуры. Включение цен на нефть в модель может повысить ее прогностическую способность.

– **Долгосрочный характер модели.** Оптимизация параметров ориентирована на долгосрочное равновесие, но в кризисные моменты экономика работает в неравновесных условиях. Дополнение модели механизмами адаптации в нестабильные периоды позволит улучшить ее применимость в реальной экономике.

4. Статистическая значимость компонент модели и возможные способы улучшения

При построении регрессионных моделей были получены следующие значения коэффициента детерминации R^2 :

- для модели притока капитала от процентной ставки – 0,2289;
- для модели экспорта от валютного курса – 0,5926;
- для модели импорта от ВВП и курса – 0,9451.

Несмотря на то, что в первой регрессии коэффициент детерминации сравнительно невелик, соответствующий коэффициент при процентной ставке статистически значим ($p=0.0009$), что указывает на наличие устойчивой взаимосвязи. Это объясняется высокой волатильностью потоков капитала, на которые влияет не только ставка, но и множество внешних факторов (геополитика, санкции, ожидания инвесторов), не учтенных в модели.

Во второй регрессии объясняющая сила модели выше ($R^2 \approx 0,59$), а в третьей достигает 0,95, что подтверждает состоятельность модели при расширении факторов. Учитывая характер макроэкономических данных, использование даже частично объясняющих моделей имеет прикладную ценность для построения ВР-кривой и анализа чувствительности макропараметров.

Следует также отметить, что на данном этапе исследования использована методология, основанная на классическом американском варианте модели IS-LM-VP, адаптированной под условия открытой рыночной экономики с высокой степенью мобильности капитала. Однако структура российской экономики, особенно в условиях внешнеэкономических ограничений и санкционного давления, существенно отличается. В частности, приток и отток капитала в России во многом регулируются административно, валютный рынок может демонстрировать искусственную стабильность, а процентные ставки подвержены экстремному регулированию, не всегда отражающему рыночное равновесие.

Это ограничивает применимость стандартных предпосылок модели, снижая объяснительную силу некоторых регрессий (в том числе притока капитала) и повышая значение скрытых факторов.

В качестве направления дальнейших исследований возможна адаптация модели с учетом:

- включения индикаторов санкционного давления (например, индекса санкционной активности или количества ограничительных мер по годам);
- учета цен на нефть и газ как ключевых экзогенных переменных для российского платежного баланса;
- введения фиктивных переменных (dummy variables) для обозначения периодов кризисных или шоковых событий (2014, 2020, 2022 годы);
- перехода к динамическим моделям с лагами (например, ARDL или VAR), способным отразить инерционность макропоказателей и их реакцию с временным сдвигом.

Таким образом, разработанный метод оптимизации демонстрирует высокую точность в предсказуемых условиях, но требует доработки для учета экстраординарных событий, что особенно актуально для российской экономики, подверженной внешним шокам и санкционным рискам.

Заключение

В ходе исследования была модифицирована и применена модель IS-LM-BP для численного моделирования макроэкономического равновесия в России с использованием методов оптимизации. Полученные результаты позволили оценить, как изменялись оптимальные значения процентной ставки и валютного курса в период с 2011 года по первый квартал 2022 года.

Основные выводы:

1. Модель адекватно описывает макроэкономическую динамику в стабильные периоды, такие как 2011–2013 и 2016–2019 годы. Оптимизированные значения процентной ставки и валютного курса находятся вблизи реальных данных, что подтверждает корректность предложенного подхода.
2. В кризисные моменты (2014–2015, 2020, 2022) модель демонстрирует значительные отклонения, так как не учитывает резкие шоки, вызванные санкциями, пандемией и резкими мерами Банка России.
3. Влияние внешнеэкономических факторов требует дополнительного анализа. Существенная зависимость экономики России от цен на нефть и торговых ограничений делает необходимым включение этих переменных в будущие модификации модели.
4. Модель полезна для стратегического анализа, так как позволяет оценивать влияние изменения процентных ставок и валютного курса на макроэкономическое равновесие. Однако ее необходимо дополнить инструментами стресс-тестирования для учета краткосрочных шоков.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Blanchard O.J., Johnson D.R. *Macroeconomics*. Pearson; 2013. 624 p.
2. Dornbusch R., Fischer S., Startz R. *Macroeconomics*. McGraw-Hill Higher Education; 2011. 652 p.
3. Romer D. *Advanced Macroeconomics*. McGraw-Hill; 2018. 800 p.
4. Mundell R.A. Capital Mobility and Stabilization Policy Under Fixed and Flexible Exchange Rates. *Canadian Journal of Economics and Political Science*. 1963;29(4):475–485. <https://doi.org/10.2307/139336>
5. Fleming J.M. Domestic Financial Policies Under Fixed and Under Floating Exchange Rates. *IMF Economic Review*. 1962;9:369–380. <https://doi.org/10.2307/3866091>
6. Obstfeld M., Rogoff K. *Foundations of International Macroeconomics*. Cambridge: MIT Press; 1996. 804 p.

7. Gandolfo G. *International Finance and Open-Economy Macroeconomics*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2016. 681 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-49862-0>
8. Mankiw N.G. *Macroeconomics*. Worth Publishers; 2019. 719 p.
9. Ефремов Д.Н. Экономическая сущность и содержание денежного хозяйства Российской Федерации. *Образование. Наука. Научные кадры*. 2025;(1):210–214. <https://doi.org/10.24412/2073-3305-2025-1-210-214>
Efremov D.N. The Economic Essence and Content of the Monetary Economy of the Russian Federation. *Obrazovanie. Nauka. Nauchnye kadry*. 2025;(1):210–214. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2073-3305-2025-1-210-214>
10. Глебова А.Г., Табачинский Г.И. Эволюция международных санкций и их последствия для Российской Федерации в контексте международных экономических отношений. *Мировая экономика и мировые финансы*. 2025;4(1):31–39.
Glebova A.G., Tabachinsky G.I. The Evolution of International Sanctions and Their Implications for the Russian Federation in the Context of International Economic Relations. *World Economy and World Finance*. 2025;4(1):31–39. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Щеголев Алексей Владимирович, соискатель ученой степени кандидата наук, Государственный университет «Дубна», Научно-производственный центр «АСПЕКТ», Дубна, Российская Федерация.
Alexey V. Shchegolev, Applicant for a Degree Candidate of Sciences, Dubna State University, Scientific and production center "ASPECT", Dubna, the Russian Federation.
e-mail: alexeyshchegolev@yandex.ru
ORCID: [0000-0001-8794-3973](https://orcid.org/0000-0001-8794-3973)

Статья поступила в редакцию 06.05.2025; одобрена после рецензирования 11.07.2025; принята к публикации 23.07.2025.

The article was submitted 06.05.2025; approved after reviewing 11.07.2025; accepted for publication 23.07.2025.