

12. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА И МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Юдашкин В. О., студент группы 172303

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Мозоль А. А. – канд. экон. наук, доцент каф. ЭИ

Аннотация. В статье рассматривается процесс построения эконометрической модели, отражающей взаимосвязь экономического прогресса и деятельности машиностроительной отрасли в Республике Беларусь, а также приводится анализ результатов моделирования и оценка пригодности модели для прогнозирования. Также в статье приведён прогноз валового внутреннего продукта Республики Беларусь на будущие периоды.

Ключевые слова. Машиностроение, валовой внутренний продукт, эконометрическая модель, регрессионный анализ, временные ряды, ошибка аппроксимации, прогнозирование.

Машиностроение – одна из передовых отраслей промышленности Республики Беларусь. Оно составляет 20% от общего промышленного производства в стране, а его продукция востребована не только в Беларуси, она поставляется в более чем 140 стран мира. Большим спросом во всём мире располагают карьерные самосвалы от Белорусского автомобильного завода (БелАЗ). Парки пассажирского транспорта городов Беларуси полностью состоят из автобусов и троллейбусов отечественного производства от флагмана белорусского машиностроения «Минский автомобильный завод», а также холдинга «Белкоммунмаш» (коммерческое название – ВКМ Holding).

Экономику Республики Беларусь в целом некорректно описывать деятельностью одной отрасли. Помимо машиностроения развивается сфера услуг и сельское хозяйство. Однако, проведя эконометрическое моделирование, докажем, что экономический прогресс Республики Беларусь может заметно зависеть от деятельности машиностроительной отрасли, как одной из самых крупных отраслей отечественной промышленности.

Чтобы описать взаимосвязь экономического прогресса в Республике Беларусь и функционирования в её рамках машиностроительной отрасли, была выдвинута гипотеза о влиянии на ВВП следующих показателей: объём производства, занятость в отрасли, средний возраст населения, занятого в отрасли, доля населения, занятого в отрасли, имеющее высшее образование, объём инвестиций в отрасль, экспорт машиностроительной продукции, количество действующих машиностроительных предприятий (организаций) в стране. Экономика Республики Беларусь характеризуется валовым внутренним продуктом (ВВП). Так как все денежные показатели, кроме экспорта, представлены в белорусских рублях, возникает необходимость учёта уровня инфляции и курса национальной валюты к доллару США.

На основании вышеперечисленных показателей можно составить уравнение множественной линейной регрессии:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + b_6X_6 + b_7X_7 + b_8X_8 + b_9X_9 + e \quad (1)$$

где Y – ВВП Республики Беларусь, рассчитанный производственным методом, т.е. сумма валовой добавленной стоимости по видам экономической деятельности и чистых (за вычетом субсидий) налогов

на продукты (в млрд. бел. руб.), x_1 – объём производства в машиностроительной отрасли (в млрд. бел. руб.), x_2 – объём инвестиций в машиностроение (в млн. бел. руб.), x_3 – численность занятого в отрасли населения (тыс. чел.), x_4 – средний возраст занятого в отрасли населения (лет), x_5 – уровень инфляции (%), x_6 – доля занятого в отрасли населения с высшим образованием (%), x_7 – экспорт машиностроительной продукции (млн. долл. США), x_8 – количество машиностроительных предприятий (организаций) в Республике Беларусь (шт.), x_9 – курс белорусского рубля к доллару США (в бел. руб.), b_0, b_1, \dots, b_9 – параметры модели, e – остатки модели.

Для построения эконометрической модели и анализа результатов моделирования были отобраны квартальные данные с 2010 по 2022 год, таким образом объём выборки составил 52 наблюдения. Основным источником данных является официальный сайт и публикации Национального статистического комитета Республики Беларусь (Белстат). В настоящем исследовании для построения моделей, анализа и прогнозирования был использован язык программирования Python и прикладной пакет программ EViews.

Перед оценкой параметров и расчётом описательных статистик модели в ней были исследованы аномальные значения (отклонения от стандартного протекания процесса), а также были исключены мультиколлинеарные переменные для недопущения тесной корреляции между факторными признаками. Аномальные значения были обнаружены методом межквартильного размаха и заменены медианными значениями. Зависимости факторных признаков от целевого представлены в таблице 1. На рисунке 1 изображены корреляционные матрицы перед и после устранения из модели мультиколлинеарности.

Таблица 1 – Коэффициенты корреляции между факторными и целевым признаком.

Фактор	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9
Значение	0.64	0.26	-0.22	-0.5	-0.41	-0.22	0.44	-0.15	0.16

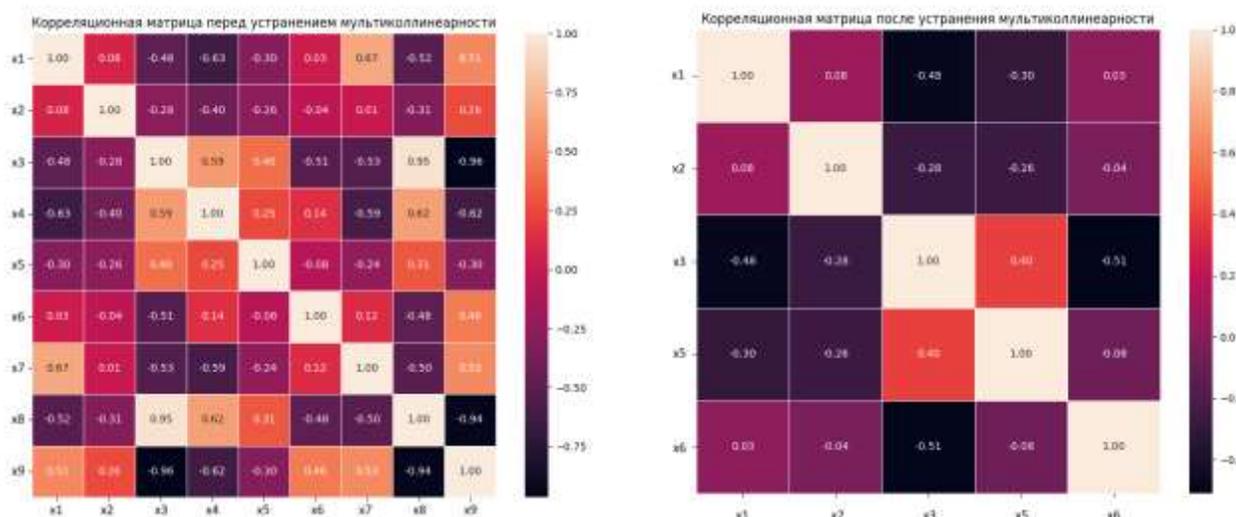


Рисунок 1 – Корреляционные матрицы до и после устранения из модели мультиколлинеарности.

Итоговое уравнение регрессии получило следующий вид:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_5x_5 + b_6x_6 + e \quad (2)$$

Проведём оценку параметров модели методом наименьших квадратов (МНК), его суть состоит в сведении к минимуму суммы квадратов остатков модели. Применяя МНК, получилось, что по критерию Стьюдента, переменная x_6 статистически незначима (р-значение, равное 0.428, больше, уровня значимости, равного 0.05), поэтому, исключив x_6 из модели, получаем итоговое уравнение регрессии:

$$\hat{Y} = 2.4764 + 0.2155x_1 + 0.0026x_2 + 0.0051x_3 - 0.0624x_5 \quad (3)$$

В таблице 2 представлены описательные статистики коэффициентов и модели в целом.

Таблица 2 – Результаты оценки параметров модели методом наименьших квадратов.

	Коэффициент	Стандартная ошибка	t-статистика	p-значение	Коэффициент детерминации	F-статистика, p-значение
const	2.4764	0.382	6.484	<0.001	0.586	16.61, 1.50e-08
x1	0.2155	0.033	6.626	<0.001		
x2	0.0026	0.001	2.349	0.023		
x3	0.0051	0.002	3.293	0.002		
x5	-0.0624	0.023	-2.733	0.009		

Проанализировав результаты применения МНК, можно сделать следующие выводы:

1. Коэффициенты при всех переменных статистически значимы при уровне значимости, равном 0.05. Об этом говорят не превышающие этот уровень p-значения критерия Стьюдента;

2. Коэффициент детерминации модели (R^2), равный 0.586, говорит о том, что целевой признак модели (ВВП) зависит от вариации факторных признаков на 58.6%, соответственно, на 41.4% - от вариации неучтённых в модели факторов;

3. Значение F-критерия равно 16.61, что говорит о статистической значимости модели по критерию Фишера, так как его p-значение, равное 1.50e-08, не превышает уровень значимости, равный 0.05.

Обязательным условием для эконометрической модели является выполнение всех предпосылок МНК: отсутствие мультиколлинеарности, автокорреляции и гетероскедастичности в остатках, которые к тому же должны иметь нормальное распределение. Для поиска гетероскедастичности выполняется тест Уайта, суть которого заключается в составлении вспомогательной модели, в которой попарно перемножаются факторные переменные, и произведение коэффициента детерминации и объёма выборки сравнивается с критическим значением критерия Пирсона при m степеней свободы, где m – количество экзогенных переменных вспомогательной модели, и уровне значимости, равном в нашей задаче 0.05. Наличие или отсутствие автокорреляции в модели показывает критерий Дарбина-Уотсона, а распределение остатков описывают критерий Жака-Бера, а также вспомогательные значения (асимметрия, эксцесс).

В таблице 3 представлены вышеперечисленные критерии и их p-значения.

Таблица 3 – Расчетные показатели для анализа остатков модели

p-значение теста Уайта	Критерий Дарбина-Уотсона	Критерий Жака-Бера	p-значение теста Жака-Бера	Асимметрия	Эксцесс
0.870	1.946	0.553	0.759	-0.250	3.075

Исходя из рассчитанных с помощью языка программирования Python критериев, можно сделать вывод, что все предпосылки МНК выполняются. p-значение теста Уайта превышает уровень значимости, равный 0.05. Это значит, что нулевая гипотеза об отсутствии гетероскедастичности остатков принимается. Значение критерия Дарбина-Уотсона, приближенно равное 2, говорит о принятии нулевой гипотезы об отсутствии автокорреляции остатков. p-значение теста Жака-Бера, также превышает уровень статистической значимости, следовательно нет оснований отвергнуть нулевую гипотезу о нормальности распределения остатков модели (рисунок 2).

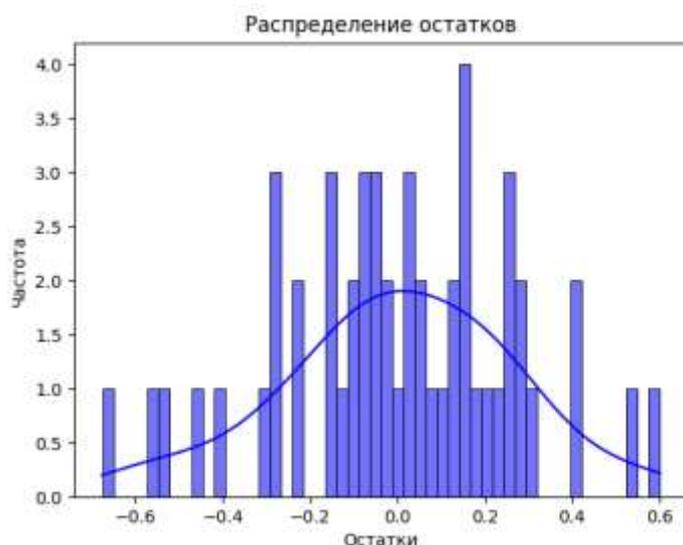


Рисунок 2 – Распределение остатков модели.

Таким образом, результаты эконометрического моделирования показали, что её переменные статистически значимы. Модель в целом также статистически значима по критерию Фишера. Средняя ошибка аппроксимации модели получилась равная 5.19%. Коэффициент множественной детерминации равен 0.586. Для анализа реальных экономических данных, такое значение коэффициента можно считать достаточным для того, чтобы сделать вывод о существовании заметной взаимосвязи экономического прогресса и машиностроительной отрасли в Республике Беларусь, учитывая дополнительно явную ошибку спецификации. Она связана с тем, что для простоты исследования была использована модель линейной регрессии, хотя реальные экономические показатели зачастую зависят друг от друга нелинейно. Поэтому у нас нет оснований отвергнуть выдвинутую ранее гипотезу о влиянии на динамику ВВП показателей машиностроительной отрасли. Построенная модель пригодна к прогнозированию, однако оно выполняется с недостаточно большой точностью. Для достижения наивысшей точности прогнозирования ВВП Республики Беларусь на будущие периоды применим другой подход к анализу данных.

Вариацию ВВП и других макроэкономических показателей целесообразнее анализировать, как временные ряды. Выполним такой анализ для зависимой переменной (ВВП). Значения временного ряда зависят от трёх главных компонент: тренд (Т), сезонность (S), случайная компонента (E). На рисунке 3 представлен исследуемый временной ряд и линия тренда.

Тест Чоу показал отсутствие структурного сдвига, который был заподозрен в 4-м квартале 2016 года. Его р-значение (0.6454), превышающее уровень значимости (0.05), показывает, что нулевая гипотеза об отсутствии структурного сдвига в заданной точке принимается.

С помощью прикладного пакета программ EViews, были рассчитаны уравнение тренда и сезонные компоненты, таким образом вышло следующее уравнение исследуемого временного ряда:

$$\hat{Y} = 3.8466 + 0.0047t - 0.3967z_1 + 0.2939z_2 + 0.5994z_3 \quad (4)$$

Где t – фактор времени, $(3.8466 + 0.0047t)$ – уравнение тренда, z_1, z_2, z_3 – дихотомические переменные при сезонных компонентах. Например, в 1-м квартале года $z_1 = 1, z_2 = z_3 = 0$. В 4-м квартале года все дихотомические переменные равны 0.

Коэффициент детерминации модели равен 0.831, а её средняя ошибка аппроксимации равна 3.19%. Это говорит о том, что мы можем прогнозировать ВВП на ближайшее будущее с высокой точностью. Результаты прогнозирования представлены в таблице 4.

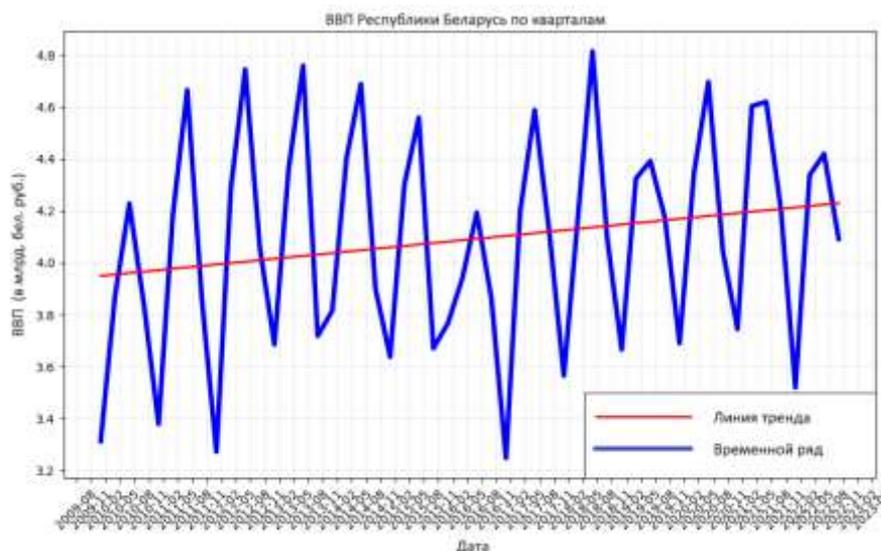


Рисунок 3 – Временной ряд, демонстрирующий вариацию ВВП Республики Беларусь по кварталам, и линия тренда.

Таблица 4 – Прогнозирование ВВП на 2023-2025 гг.

Год и квартал года	Значение фактора времени (t)	Значение трендовой компоненты (T)	Значение сезонной компоненты (S)	Спрогнозированное значение временного ряда (\hat{Y}) (млрд. руб.)
2023Q1	53	4.0889	-0.3967	3.6922
2023Q2	54	4.0936	0.2939	4.3875
2023Q3	55	4.0982	0.5994	4.6977
2023Q4	56	4.1029	-0.4966	3.6063
2024Q1	57	4.1076	-0.3967	3.7109
2024Q2	58	4.1122	0.2939	4.4061
2024Q3	59	4.1169	0.5994	4.7163
2024Q4	60	4.1216	-0.4966	3.6249
2025Q1	61	4.1262	-0.3967	3.7295
2025Q2	62	4.1309	0.2939	4.4248
2025Q3	63	4.1355	0.5994	4.7349
2025Q4	64	4.1402	-0.4966	3.6436

Таким образом, в исследовании было проведено эконометрическое моделирование взаимосвязи экономического прогресса и деятельности машиностроительной отрасли в Республике Беларусь, построено уравнение регрессии и оценены параметры методом наименьших квадратов. Проанализированы остатки модели. Рассчитаны главные описательные статистики эконометрической модели: коэффициент множественной детерминации, равный 0.586, и средняя ошибка аппроксимации (5.19%). Сделан вывод об ошибке спецификации ввиду применения модели линейной регрессии, а также о существовании заметной взаимосвязи экономического прогресса и машиностроительной отрасли в Республике Беларусь. Продемонстрирована целесообразность рассмотрения набора данных, как взаимосвязь временных рядов для достижения большей точности прогнозирования. Выполнено прогнозирование зависимой переменной на ближайший будущий период с наивысшей точностью.

На основе разработанной модели могут быть выведены следующие практические рекомендации для стабильного роста экономического прогресса Республики Беларусь:

1. Стимулирование функционирования машиностроительной отрасли Республики Беларусь со стороны государства;
2. Увеличение объёма инвестиций в отрасль путём привлечения отечественных и иностранных инвесторов в деятельность машиностроительных предприятий;
3. Увеличение объёма инноваций в машиностроение, включающих в себя автоматизированные системы, которые заменят физический труд, снизив при этом вероятности травмирования на производстве и риск профессиональных заболеваний.

Список использованных источников:

*60-я Юбилейная Научная Конференция Аспирантов, Магистрантов и Студентов БГУИР,
Минск 2024*

- 1. Валовый внутренний продукт и методы его расчёта [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-word/Metod_pologenija/VVP_27_02_2018.doc*
- 2. Медведева И. В. Статистический ежегодник – 2018 / И. В. Медведева – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь – 2018. – 490 с.*
- 3. Индекс физического объёма валового внутреннего продукта производственным методом в сопоставимых ценах в % к предыдущему году [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=212296>*
- 4. Медведева И. В. Промышленность Республики Беларусь. Статистический буклет / И. В. Медведева – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь – 2021. – 52 с.*
- 5. Динамика общего объёма промышленного производства [Электронный ресурс] – Режим доступа: [belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/ssrd-mvf_2/natsionalnaya-stranitsa-svodnyh-dannyh/indeks-promyshlennogo-proizvodstva/](https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/ssrd-mvf_2/natsionalnaya-stranitsa-svodnyh-dannyh/indeks-promyshlennogo-proizvodstva/)*
- 6. Инфляция в Беларуси [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://myfin.by/wiki/term/inflyaciya>*