

УДК 314.15:004.438

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕМОГРАФИЧЕСКОЙ ПИРАМИДЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ РАСШИРЕННОЙ АНАЛИТИКИ (ADVANCED ANALYTICS) В PYTHON



Н.И. Липницкая
Старший преподаватель
кафедры экономической
информатики БГУИР,
n.i.karpovich@gmail.com



А.Ю. Герасимович
Студент факультета
компьютерного
проектирования БГУИР
arsengerasm@gmail.com



Е.П. Ременчик
Студент инженерно-
экономического факультета
БГУИР
kataremencik@gmail.com

Н.И. Липницкая

Старший преподаватель кафедры экономической информатики УО «БГУИР». Область научных интересов: прикладные системы обработки данных, информационные технологии и программирование, методика преподавания.

А.Ю. Герасимович

Студент 2 курса факультета компьютерного проектирования по специальности «Информационные системы и технологии в бизнес-менеджменте». Область научных интересов связана с анализом данных, разработкой программного обеспечения, математическим моделированием и бизнес-аналитикой.

Е.П. Ременчик

Студент 3 курса инженерно-экономического факультета по специальности «Информационные системы и технологии в финансово-банковской деятельности». Область научных интересов связана с анализом данных, математическим моделированием и обработкой больших данных.

Аннотация. В статье рассматривается проблема демографического старения населения Республики Беларусь. В качестве эмпирической базы использованы данные «Демографического ежегодника» и бюллетеней Белстата за 2019–2024 гг. Учтены современные вызовы: пандемия COVID-19, миграционные процессы и падение суммарного коэффициента рождаемости. Выполнен прогноз до 2050 года по трём сценариям: пессимистический, базовый и оптимистический. Для построения сценарных прогнозов применены методы расширенной аналитики (Advanced Analytics), включающие когортно-компонентное моделирование демографической пирамиды при помощи библиотек языка программирования Python. Результаты моделирования выявили критический рост демографической нагрузки, что требует адаптации пенсионной и миграционной политики, а также новых мер стимулирования рождаемости.

Ключевые слова: демографическое прогнозирование, Python, расширенная аналитика, цифровая экономика, половозрастная пирамида, коэффициент демографической нагрузки, Республика Беларусь, анализ данных.

Введение. Демографическая пирамида является важным инструментом для визуализации и анализа возрастно-половой структуры населения. Прогнозирование демографической структуры позволяет государственным органам, социальным службам и исследователям планировать меры социальной поддержки, здравоохранения, образования и экономического развития.

Для Республики Беларусь, находящейся на этапе постиндустриального перехода и сталкивающейся с глобальными вызовами урбанизации и старения населения, вопросы демографии приобрели экзистенциальный характер. Актуальность исследования обусловлена необходимостью учета «идеального шторма» факторов, которые игнорируются инерционными прогнозами:

- пандемия COVID-19: искажение структуры смертности и временное снижение ожидаемой продолжительности жизни;
- миграционный отток: высокая селективная эмиграция молодых, экономически активных граждан, что наносит двойной удар: экономика теряет кадры, а демография – потенциальных родителей;
- кризис рождаемости: падение числа рождений в 2024 году до уровня менее 59 000 является историческим антирекордом.

Цель работы – разработать программный модуль на Python для моделирования и визуализации трансформации демографической пирамиды Республики Беларусь до 2050 года.

Объект исследования – население Республики Беларусь.

Предмет исследования – динамика половозрастной структуры под влиянием рождаемости, смертности и миграции.

В контексте цифровой экономики задача прогнозирования демографической структуры решается с применением методов расширенной аналитики (Advanced Analytics) при помощи библиотек языка программирования Python.

В мировой практике широко применяются методы когортного моделирования, таблицы выживания, модели Ли–Картера для прогнозирования смертности, а также статистические модели для прогнозирования рождаемости [1],[2].

Методология и данные. В основе разработанного программного решения лежит метод передвижки возрастов (Cohort-Component Method). Когортно-компонентная модель реализована в виде программного модуля на Python, что позволяет в рамках расширенной аналитики (Advanced Analytics) выполнять сценарное прогнозирование и визуализацию демографической пирамиды.

Это детерминированный подход, который моделирует изменение численности населения по каждой возрастной группе (когорте) с шагом в один год.

Математическая модель. Процесс старения населения описывается переходом лиц возраста x в году t в возраст $x+1$ в году $t+1$. При этом учитывается смертность и миграция. Основное уравнение динамики численности населения имеет вид:

$$P_{(x+1,t+1)}^s = P_{(x,t)}^s \cdot (1 - q_{(x,t)}^s) + M_{(x,t)}^s$$

где:

- P – численность населения;
- s – пол (male/female);
- q – вероятность смерти (коэффициент смертности из таблиц дожития);
- M – сальдо миграции (разница между иммигрантами и эмигрантами).

Особым этапом является расчет численности новорожденных (возраст 0). Она зависит от численности женщин репродуктивного возраста (15–49 лет) и повозрастных коэффициентов рождаемости (ASFR). Общее число рождений B в году $t+1$ рассчитывается как:

$$B_{(t+1)} = \sum_{x=15}^{49} (P_{x,t}^F \cdot ASFR_x)$$

где:

- B_{t+1} – число новорожденных в году $t+1$;
- $P_{x,t}^F$ – численность женщин возраста x в году t ;
- $ASFR_x$ – возрастно-специфичная рождаемость для возраста x .

Новорожденные распределяются по полу с учетом биологической константы (вторичное соотношение полов), которая для Беларуси составляет приблизительно 106 мальчиков на 100 девочек:

$$P_{0,t+1}^{male} = B_{t+1} \cdot \frac{106}{206},$$
$$P_{0,t+1}^{female} = B_{t+1} \cdot \frac{100}{206}$$

Для обеспечения точности прогноза были агрегированы данные из трех источников:

1. Официальные бюллетени Белстата «Численность населения на 1 января 2024 г. и среднегодовая численность населения за 2023 год» [3].
2. Данные о рождаемости и смертности за 2023 и 2024 годы, опубликованные в СМИ со ссылкой на Белстат и Минздрав [4].
3. «Демографический ежегодник Республики Беларусь 2019» использован для калибровки долгосрочных трендов смертности и брачности [5].

Реализация модели на Python. Программный модуль разработан с использованием библиотек Pandas для управления табличными данными, NumPy для математических операций и Matplotlib для визуализации.

Архитектура решения включает этапы, описанные ниже.

1. Инициализация данных (`get_belarus_actual_2024`): загрузка верифицированных данных о половозрастной структуре на 1 января 2024 года. Ввиду отсутствия в открытом доступе полных таблиц по однолетним возрастам за 2024 год в машиночитаемом виде, использовалась интерполяция данных на основе опорных точек (5-летних возрастных групп), опубликованных Белстатом, с последующей калибровкой под общую численность 9 155 978 человек.

2. Модуль прогнозирования (`run_forecast`): ядро программы, реализующее цикл по годам прогноза (с 2024 по 2050). В каждом шаге цикла:

- применяются коэффициенты дожития, рассчитанные на основе таблиц смертности (Human Mortality Database и данные Белстата), модель учитывает динамическое изменение смертности (постепенный рост ожидаемой продолжительности жизни);
- рассчитывается число родившихся на основе сценарного значения суммарного коэффициента рождаемости (TFR);
- производится «сдвиг» возрастов (aging process);
- в модель вводится сальдо миграции, распределенное по возрастной структуре (с акцентом на трудоспособные возраста, что характерно для экономической миграции).

3. Визуализация (`plot_pyramid`): построение классических демографических пирамид (Bar chart), где по оси Y отложен возраст, а по оси X – численность мужчин (слева) и женщин (справа). Это позволяет наглядно оценить эрозию основания пирамиды и расширение её вершины.

Анализ исходной демографической ситуации (2024 год). На 1 января 2024 года население Беларуси составило 9 155 978 человек. Это на 44 639 человек меньше, чем годом ранее (9 200 617 на начало 2023 года) [3]. Тенденция сокращения продолжилась и в 2024 году,

в результате чего к началу 2025 года население оценивается в 9 109 280 человек. Таким образом, наблюдается устойчивый тренд депопуляции со скоростью примерно 0,5% в год.

На рисунке 1 представлена половозрастная структура населения Беларуси по состоянию на 2024 год.

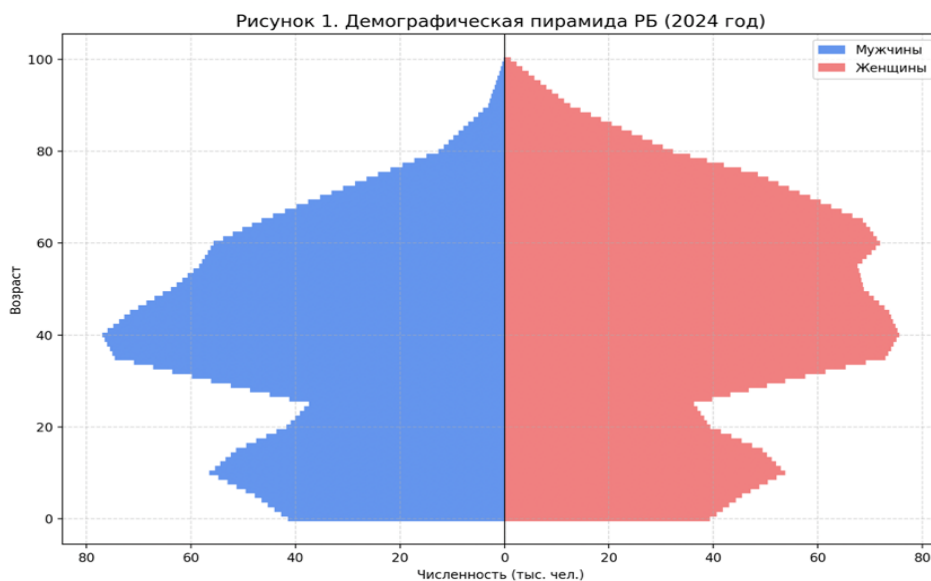


Рисунок 1. Демографическая пирамида РБ на 2024 год

Анализ пирамиды 2024 года выявляет глубокие диспропорции, являющиеся следствием исторических потрясений.

1. Сужение основания (0–9 лет): самая нижняя часть пирамиды демонстрирует резкое сужение. Это результат падения рождаемости, начавшегося после 2016 года. В 2024 году родилось всего 58 938 детей, что является историческим минимумом за послевоенный период. Для сравнения, еще в 2019 году родилось 87 602 ребенка. Падение числа рождений почти на 33% за пять лет создало глубокую выемку в основании пирамиды.

2. Малочисленная когорта (20–29 лет): в активный репродуктивный и трудовой возраст вступило поколение, рожденное в конце 1990-х и начале 2000-х годов. Это период глубокого демографического спада после распада СССР. Малочисленность этого поколения (так называемая «демографическая яма») объективно ограничивает количество потенциальных рождений, даже если меры стимулирования будут эффективны.

3. Многочисленное поколение (35–45 лет): «навес» в средней части пирамиды образован поколением бэби-бума 1980-х годов. Это наиболее экономически активная часть населения, которая сегодня несет основную налоговую нагрузку. Однако через 15–20 лет эта массивная когорта начнет выходить на пенсию, что создаст колоссальное давление на фонд социальной защиты.

4. Диспропорция полов в старших возрастах: начиная с возраста 65 лет, численность женщин значительно превышает численность мужчин. Ожидаемая продолжительность жизни при рождении в 2024 году составила 74,7 года. Однако разрыв между полами остается критическим: мужчины живут в среднем 69,3 года, женщины – 79,8 года. Эта разница более чем в 10 лет приводит к феминизации старости и специфической структуре домохозяйств пенсионеров (преобладание одиноких пожилых женщин).

Сценарии прогнозирования до 2050 года. Для моделирования будущей динамики были разработаны три сценария, отражающие различную степень адаптации демографической системы к текущим вызовам. Параметры сценариев отражены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры сценариев прогнозирования

Сценарий	TFR (к 2050 г.)	Сальдо миграции (ежегодно, нетто)
1. Низкий (Пессимистический)	Снижение до 1.05	Отрицательное: -15000
2. Базовый (Инерционный)	Восстановление до 1.35	Отрицательное: -5000
3. Высокий (Оптимистический)	Рост до 1.7 к 2050 г.	Положительное: +10 000

Результаты моделирования показывают неутешительную динамику общей численности населения во всех сценариях, кроме гипотетически невозможных:

- **пессимистический сценарий:** население сокращается стремительно, к 2050 году численность может упасть до 7,2 – 7,45 млн человек (это потеря более 20% населения за четверть века);

- **базовый сценарий:** численность населения к 2050 году составит порядка 8,15 млн человек, что согласуется с рядом международных прогнозов, а ежегодная убыль будет составлять 30–40 тысяч человек.

- **оптимистический сценарий:** даже при росте рождаемости и положительной миграции инерция старения приведет к снижению численности до 8,6 – 8,75 млн человек, рост рождаемости скажется на численности рабочей силы только за горизонтом 2045 года.

Визуализация результатов для базового сценария (Рисунок 2) демонстрирует переход от формы «ели» (с выемками) к форме «урны» (узкое основание, широкий верх).

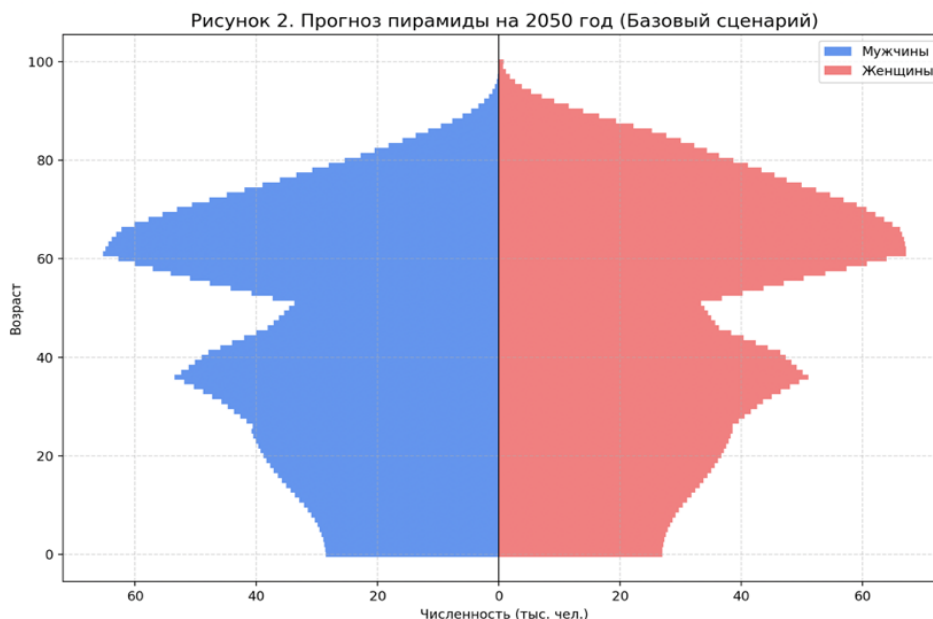


Рисунок 2. Прогноз половозрастной пирамиды на 2050 год (Базовый сценарий)

На основании анализа трансформации половозрастной пирамиды на 2050 год по базовому сценарию можно сделать следующие выводы.

1. Эффект двойного эха (основание пирамиды): малочисленное поколение рожденных в 2020–2024 годах (текущий провал) вступит в репродуктивный возраст в 2045–2050 годах, что приведет к «вторичному эху» – новой волне падения числа рождений, даже если коэффициент рождаемости на одну женщину будет стабилен.

2. Эрозия трудового ядра (середина пирамиды): когорта, которой сегодня 35–45 лет (самая многочисленная), к 2050 году перейдет в категорию 60–70+ лет. Их место в трудовой структуре (возраст 30–50 лет) займут малочисленные поколения рожденных в 1990-х и 2000-х. Это визуально отображается как резкое сужение «талии» пирамиды.

3. Инверсия вершины (65+ лет): верхняя часть пирамиды значительно расширится. Если сегодня доля лиц 65+ составляет около 15–16%, то к 2050 году в базовом сценарии она приблизится к 25–28%. Это означает, что каждый четвертый житель страны будет пенсионером.

Критическим последствием является рост коэффициента демографической нагрузки.

В данной работе расчет производился по международному стандарту: отношение иждивенцев (0–14 лет и пенсионеры) к трудоспособному населению. Динамика показателя представлена на рисунке 3.

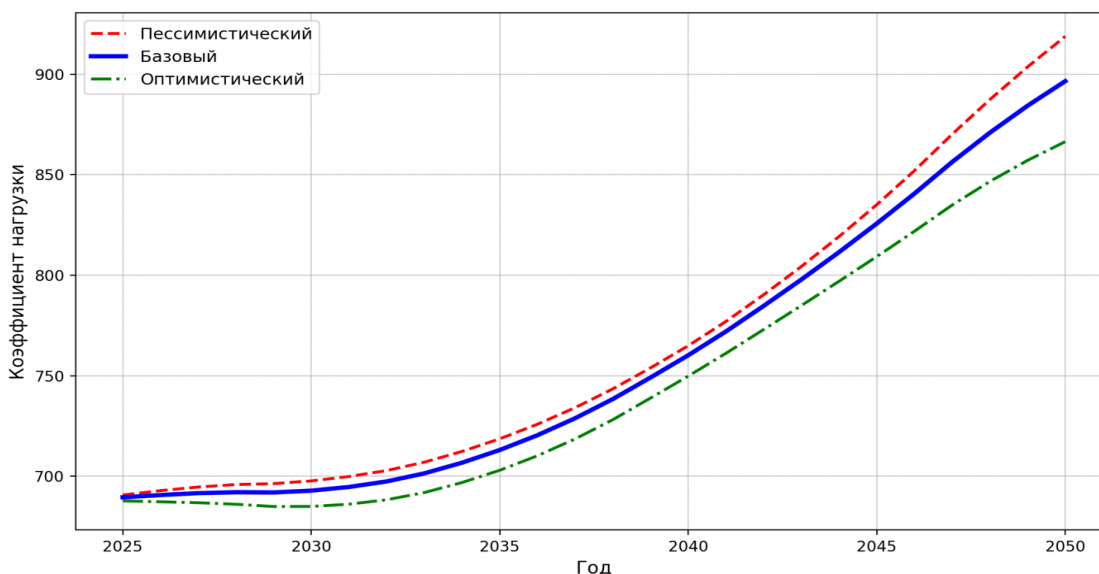


Рисунок 3. Прогноз демографической нагрузки

Как видно из графика (Рисунок 3), полученного в результате моделирования:

- в 2024 году коэффициент нагрузки составляет порядка 625–650 иждивенцев на 1000 трудоспособных;

- в базовом сценарии (синяя линия) нагрузка стремительно растет и к 2050 году достигает значения ~890, что означает существенное увеличение давления на работающее население;

- в пессимистическом сценарии (красная линия), предполагающем низкую рождаемость и отток молодежи, коэффициент превышает отметку 920, приближаясь к соотношению 1:1.

- только оптимистический сценарий (зеленая линия) позволяет сдержать рост нагрузки на уровне ~850–870, что все равно значительно выше текущих показателей.

Структурный анализ последствий прогноза. Сокращение населения в трудоспособном возрасте является наиболее критическим экономическим последствием. Согласно прогнозу, численность этой группы сократится более чем на 30–35% по сравнению с текущим уровнем.

Это означает физический дефицит рабочей силы. Экономика столкнется с ситуацией, когда невозможно закрыть вакансии не из-за отсутствия квалификации, а из-за отсутствия людей. Особенно уязвимы трудоемкие отрасли: сельское хозяйство, строительство, транспорт. Для IT-сектора, который полагается на приток молодых специалистов, сужение когорты 20–29 лет в 2030-х годах создаст серьезные риски для роста, требуя переориентации на удержание кадров и автоматизацию.

Белорусская пенсионная система, основанная на принципе солидарности поколений, при соотношении работающих и пенсионеров 1:1 станет финансово неустойчивой. Без реформ дефицит Фонда социальной защиты населения будет нарастать экспоненциально. Моделирование показывает, что простого повышения пенсионного возраста (который уже был повышен до 58/63 лет) будет недостаточно. Потребуется либо дальнейшее повышение пенсионного порога, либо снижение коэффициента замещения (размера пенсии относительно зарплаты), либо переход к смешанным накопительным системам.

Старение населения и рост доли лиц старше 75 лет приведет к изменению структуры спроса на медицинские услуги.

Вырастет потребность в лечении хронических заболеваний, гериатрии и долговременном уходе. «Феминизация» старости (преобладание женщин 80+) потребует развития системы социальной помощи одиноким пожилым людям, так как традиционная модель семейного ухода будет ослабевать из-за малодетности детей этих пенсионеров.

Стратегические рекомендации. На основе проведенного анализа предлагается комплекс мер для адаптации к демографическим изменениям.

Трансформация политики рождаемости: материальное стимулирование (семейный капитал) имеет ограниченный эффект. Необходим переход к созданию среды, дружественной семье: гибкие графики работы для родителей, развитие рынка арендного жилья, доступность качественных яслей.

Цель – не просто рождение первенцев, а стимулирование вторых и третьих рождений для повышения СКР хотя бы до 1,5–1,6.

Снижение мужской сверхсмертности: огромный резерв сохранения демографического потенциала кроется в снижении смертности мужчин трудоспособного возраста (40–60 лет). Меры по борьбе с сердечно-сосудистыми заболеваниями, алкоголизацией и травматизмом на производстве могут дать быстрый эффект, увеличив рабочую силу без ожидания взросления новых поколений.

Управляемая миграция: в условиях неизбежного сокращения внутреннего трудового ресурса необходимо разработать прозрачные механизмы привлечения квалифицированной рабочей силы из-за рубежа, а также программы репатриации и удержания молодежи (предотвращение «утечки мозгов»).

«Серебряная экономика»: восприятие старения как ресурса. Внедрение программ непрерывного образования и переквалификации для лиц 50+, стимулирование активного долголетия и создание рабочих мест, адаптированных для пожилых сотрудников.

Заключение. Проведенное исследование с использованием метода передвижки возрастов подтверждает, что Беларусь вступила в фазу глубокой демографической трансформации. Период «демографического дивиденда» завершен.

Прогноз до 2050 года показывает безальтернативность сценария сокращения и старения населения. В базовом сценарии численность жителей страны сократится до 8,1–8,2 млн человек, а медианный возраст существенно вырастет.

Однако демографическое будущее не является фатальным.

Реализация оптимистического сценария, предполагающего рост рождаемости и снижение смертности, способна смягчить темпы падения и стабилизировать возрастную структуру на новом уровне равновесия.

Ключевой вывод работы заключается в том, что адаптация социально-экономических институтов к реальности сужающегося и стареющего населения является не менее важной задачей, чем попытки переломить негативные тренды.

Результаты исследования могут быть использованы государственными органами и отраслевыми аналитиками для разработки долгосрочных стратегий в области человеческих ресурсов и социального планирования.

Список литературы

- [1] Рыбаковский, Л. Л. Демографическое прогнозирование : учебное пособие / Л. Л. Рыбаковский. – Москва : ИНФРА-М, 2017. – 212 с.
- [2] Preston, S. H. Demography: Measuring and Modeling Population Processes / S. H. Preston, P. Heuveline, M. Guillot. – Oxford : Blackwell Publishing, 2001. – 291 p.
- [3] Численность населения на 1 января 2024 г. и среднегодовая численность населения за 2023 год : статистический бюллетень / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2024. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by>. – Дата доступа: 30.11.2025.
- [4] World Population Prospects 2024 [Электронный ресурс] : Online Edition / United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. – New York, 2024. – Режим доступа: <https://population.un.org/wpp/>. – Дата доступа: 30.11.2025.
- [5] Демографический ежегодник Республики Беларусь, 2019: статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2019. – 435 с.
- [6] Human Mortality Database [Электронный ресурс] / University of California, Berkeley (USA), and Max Planck Institute for Demographic Research (Germany). – Режим доступа: <https://www.mortality.org>. – Дата доступа: 30.11.2025.

Авторский вклад

Липницкая Наталья Ивановна – постановка задачи исследования, научное руководство исследованием, валидация алгоритмов прикладной обработки данных в модели прогнозирования, общая редакция статьи и формирование стратегических рекомендаций.

Герасимович Арсений Юрьевич – разработка программной реализации прогностической модели на языке Python (библиотеки Pandas, NumPy), автоматизация расчетов коэффициентов нагрузки и генерация аналитических графиков.

Ременчик Екатерина Павловна – формализация математической модели передвижки возрастов, подготовка эмпирических данных для моделирования, участие в разработке программной реализации на языке Python.

FORECASTING THE DEMOGRAPHIC PYRAMID OF THE REPUBLIC OF BELARUS USING PYTHON-BASED ADVANCED ANALYTICS METHODS

N.I. Lipnitskaya

*Senior Lecturer of the Department
of Economic Informatics, BSUIR
n.i.karpovich@gmail.com*

A.Yu. Gerasimovich

*Student of the Faculty of
Computer Design, BSUIR
arsengerasm@gmail.com*

E.P. Remenchik

*Student of the Faculty of
Engineering and Economics,
BSUIR
kataremencik@gmail.com*

Abstract. The article examines the problem of demographic ageing in the Republic of Belarus. As an empirical basis, it uses data from the «Demographic Yearbook» and Belstat bulletins for 2019–2024. The analysis takes into account current challenges, including the COVID-19 pandemic, migration processes and the decline in the total fertility rate. A forecast up to 2050 is produced under three scenarios: pessimistic, baseline and optimistic. To

construct the scenario forecasts, methods of advanced analytics are applied, including cohort-component modelling of the demographic pyramid using Python libraries. The modelling results reveal a critical increase in the demographic dependency burden, which requires the adaptation of pension and migration policies as well as new measures to stimulate fertility.

Keywords: demographic forecasting, Python, advanced analytics, digital economy, age-sex pyramid, demographic dependency ratio, Republic of Belarus, data analysis