



О применении метода моделирования структурными уравнениями для оценки причинно-следственных связей между показателями социально-экономического развития регионов Российской Федерации

Целью исследования является выявление причинно-следственных взаимосвязей между национальными целями, установленными в Указе Президента, и социально-экономическим развитием регионов Российской Федерации. Анализ направлен на оценку влияния достижения национальных целей на ключевые показатели регионального развития, а также на определение их роли в формировании стратегий социально-экономического прогресса.

Материалы и методы. В качестве эмпирической базы использована система из 106 показателей, связанных с национальными целями, установленными Указом Президента Российской Федерации. Для отбора ключевых индикаторов применены методы факторного анализа и анализа главных компонент. Основным инструментом исследования выступал метод моделирования структурными уравнениями (SEM), который позволяет анализировать причинно-следственные связи между латентными переменными, такими как экономическое благополучие, качество жизни и социальная справедливость, демографическая стабильность и инновационное развитие.

Результаты. В ходе исследования выделены ключевые индикаторы, отражающие основные аспекты достижения национальных целей. Построена структурная модель, выявляющая статистически значимые взаимосвязи между национальными

целями и показателями социально-экономического развития регионов. Модель позволила подтвердить гипотезу о значительном влиянии достижения национальных целей на социально-экономическое развитие, а также определить ключевые латентные переменные, которые объясняют вариации в данных. Результаты также указывают на важность дополнительного учета временных изменений и региональных особенностей для более точных прогнозов и рекомендаций.

Заключение. Применение метода моделирования структурными уравнениями позволило выявить комплексные взаимосвязи между национальными целями и социально-экономическими показателями регионов, а также подтвердить их значительное влияние на развитие. Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации государственной политики, направленной на достижение стратегических ориентиров социально-экономического развития России. Также предложены направления для дальнейших исследований, такие как кластерный анализ и тестирование гипотез о временной динамике.

Ключевые слова: национальные цели, социально-экономическое развитие, регионы Российской Федерации, метод моделирования структурными уравнениями, факторный анализ, анализ главных компонент, стратегическое развитие.

Andrey S. Vtorygin

GBU "Analytical Center", Moscow, Russia

Application of the Structural Equation Modeling Method for Assessing Cause-and-Effect Relationships Between Indexes of Socio-Economic Development of the Russian Federation Regions

The purpose of the study is to identify cause-and-effect relationships between the national goals established in the Decree of the President and the socio-economic development of the Russian Federation regions. The analysis focuses on assessing the impact of achieving the national goals on key regional development indexes and determining their role in forming strategies for socio-economic progress.

Materials and methods. A system of 106 indexes related to the national goals established by the Decree of the President of the Russian Federation was used as an empirical base. Factor analysis and principal component analysis methods were used to select key indexes. The main research tool is Structural Equation Modeling (SEM), which allows analyzing cause-and-effect relationships

between latent variables, such as economic well-being, quality of life and social justice, demographic stability and innovative development.

Results. The study identifies key indexes reflecting the main aspects of achieving national goals. A structural model was constructed, revealing statistically significant relationships between national goals and socio-economic development indexes in the regions. The model confirms the hypothesis about the significant impact of achieving national goals on socio-economic development and identifies key latent variables, which explain variations in the data. The results also highlight the importance of accounting for temporal changes and regional characteristics for forecasts that are more accurate and recommendations.

Conclusion. The use of Structural Equation Modeling allowed identifying complex relationships between national goals and socio-economic indexes of the regions, confirming their significant impact on development. The results of the study can be used to optimize state policy aimed at achieving the strategic goals of socio-economic development in Russia. Additionally, directions for

further research are proposed, such as cluster analysis and testing hypotheses on temporal dynamics.

Keywords: national goals, socio-economic development, regions of the Russian Federation, structural equation modeling, factor analysis, principal component analysis, strategic development.

Введение

Социально-экономическое развитие регионов Российской Федерации является важнейшим направлением государственной политики, ориентированным на достижение национальных целей, обозначенных в Указе Президента Российской Федерации [1]. Достижение поставленных целей требует глубокого анализа причинно-следственных связей между показателями, характеризующими социальную, экономическую и демографическую составляющие регионального развития. Однако сложность таких системных взаимосвязей делает традиционные методы анализа недостаточными для получения полноценной картины.

Национальные цели, определяющие стратегические ориентиры социально-экономического развития Российской Федерации, находятся в тесной взаимосвязи с ключевыми индикаторами, направленными на их достижение. Изучение этих взаимосвязей, а также их влияния друг на друга представляет собой актуальную научную задачу, позволяющую выявить комплексное воздействие национальных целей на развитие страны. Предметом данного исследования является выявление и анализ взаимосвязей между национальными целями, а также их влияния на ключевые показатели социально-экономического развития регионов. Основная гипотеза исследования заключается в том, что достижения национальных целей оказывают значительное взаимное влияние друг на друга, создавая комплексные связи, которые обуславливают струк-

турные особенности социально-экономического развития регионов [2]. В рамках данного исследования предполагается, что выполнение запланированных мероприятий и прогресс в достижении каждой из целей оказывает влияние на остальные, и эти взаимосвязи можно выявить и проанализировать с помощью структурного моделирования. Этот анализ позволит лучше понять, как различные аспекты национальных целей взаимодействуют и влияют на общий социально-экономический контекст, включая динамику ключевых показателей развития регионов.

Метод структурного моделирования / метод структурных уравнений (Structural Equation Modeling, SEM) предоставляет возможности для изучения сложных взаимосвязей между латентными переменными, что позволяет учесть множественные направления их влияния и их статистическую значимость [3]. Применение SEM к оценке социально-экономического развития регионов России позволяет не только выявить ключевые факторы, влияющие на достижение национальных целей, но и оценить степень их взаимозависимости.

Настоящая статья направлена на применение метода структурного моделирования для анализа причинно-следственных связей между показателями социально-экономического развития регионов Российской Федерации. В рамках исследования использована система из 106 показателей, связанных с национальными целями. Для оптимизации модели проведен факторный анализ и анализ главных компонент, что позволило выделить ограниченное число ключевых

индикаторов. Основная цель работы – построение и интерпретация структурной модели, отражающей взаимосвязи между выделенными показателями и их вклад в достижение стратегических ориентиров государственной политики.

Источники информации

Основным источником информации для данного исследования является Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 года № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года».

В этом стратегическом документе определены семь ключевых национальных целей, направленных на устойчивое развитие страны:

1. Сохранение населения, укрепление здоровья и повышение благополучия людей, поддержка семьи;
2. Реализация потенциала каждого человека, развитие его талантов, воспитание патриотичной и социально-ответственной личности;
3. Комфортная и безопасная среда для жизни;
4. Экологическое благополучие;
5. Устойчивая и динамичная экономика;
6. Технологическое лидерство;
7. Цифровая трансформация государственного и муниципального управления, экономики и социальной сферы.

Перечисленные национальные цели служат стратегическими ориентирами государственной политики, определяющими развитие России на долгосрочную перспективу. Их достижение связано

с реализацией национальных проектов, включающих конкретные программы и мероприятия, направленные на решение социально-экономических задач.

Для анализа взаимосвязей между национальными целями и социально-экономическим развитием регионов Российской Федерации использованы данные официальной статистики. Источником данных является открытый сборник Федеральной службы государственной статистики «Социально-экономическое положение регионов России», который предоставляет широкий спектр показателей для всех субъектов Российской Федерации.

Для обеспечения целостности и непрерывности анализа был выбран ряд данных, охватывающий период с 2015 года. Это позволяет получить полную картину динамики социально-экономического развития по всем субъектам Российской Федерации, включая Республику Крым и город Севастополь.

Такой подход исключает возможные искажения, связанные с неполнотой данных за более ранние периоды, и обеспечивает единообразие временного ряда, что особенно важно для оценки региональных различий и анализа долгосрочных тенденций в контексте достижения национальных целей.

Данные сборника являются общедоступными, что обеспечивает прозрачность и воспроизводимость исследования и позволяет оценить динамику показателей по каждому региону, выявить региональные различия в достижении национальных целей.

Система показателей

Для анализа взаимосвязей между национальными целями и социально-экономическим развитием регионов

Российской Федерации были выделены пять ключевых блоков показателей, соответствующих 7 национальным целям. Эти блоки позволяют оценить основные аспекты развития и достижения каждой из целей в контексте региона.

1. Экономическое благополучие

Этот блок включает показатели, отражающие уровень экономического развития регионов, такие как валовой региональный продукт (ВРП), инвестиции в основной капитал, занятость и уровень доходов населения. Экономическое благополучие играет ключевую роль в обеспечении стабильности и устойчивости региональной экономики, а также в повышении качества жизни.

2. Качество жизни

В данном блоке представлены показатели, связанные с условиями жизни населения, включая доступность жилья, уровень медицинского обслуживания, образование, уровень жизни и безопасность. Качество жизни напрямую связано с такими национальными целями, как создание комфортной среды для жизни и обеспечение благополучия населения.

3. Социальная справедливость

Включает показатели, характеризующие равенство в доступе к основным социальным услугам, справедливость распределения доходов и богатства, а также уровень социальной защищенности. Важным аспектом является снижение социального неравенства, доступность образования, здравоохранения и других социальных благ.

4. Демографическая стабильность

Этот блок включает показатели, которые отражают тенденции в демографической ситуации: численность населения, миграция, уровень рождаемости и смертности, продолжительность жизни. Де-

мографическая стабильность является важной целью государственной политики, которая направлена на обеспечение устойчивого роста населения и улучшение его качества.

5. Инновационное развитие

В данном блоке рассматриваются показатели, связанные с развитием научных исследований, внедрением инновационных технологий, уровнем цифровизации и технологического лидерства. Инновации играют ключевую роль в модернизации экономики и повышении ее конкурентоспособности как на национальном, так и на международном уровнях.

Перечисленные выше блоки формируют всестороннее представление о текущем состоянии и динамике развития регионов России, а также о степени достижения национальных целей. Для каждой цели в рамках этих блоков выделены конкретные индикаторы, которые затем используются в последующих этапах анализа.

В рамках исследования из представленного массива данных выбраны 106 показателей, непосредственно связанных с национальными целями. Систематично система показателей представлена на рисунке 1.

Систематизация и предварительная обработка выбранных индикаторов стали основой для дальнейшего применения методов факторного анализа, анализа главных компонент и структурного моделирования.

Методология расчета

Исследование основано на анализе панельных данных, включающих показатели по 85 регионам Российской Федерации за период с 2015 по 2021 год. Набор данных формируют 106 показателей, отражающих различные аспекты социально-экономического развития. На этапе предварительной

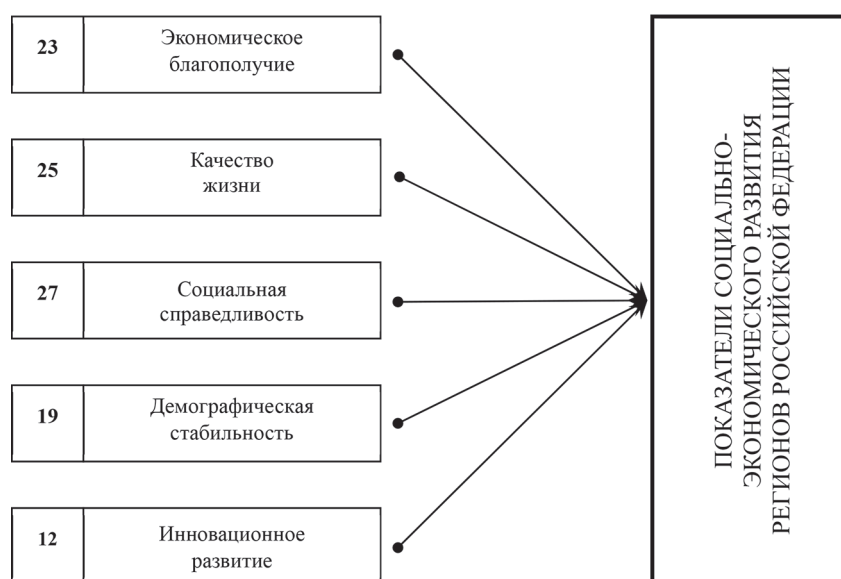


Рис. 1. Система статистических показателей

Fig. 1. The system of statistical indexes

обработки данных проведены процедуры, направленные на устранение неполноты данных и корректное использование временных рядов.

Одним из анализируемых показателей является валовой региональный продукт на душу населения (далее по тексту – ВРП на душу населения), данные по которому представлены за период с 2015 по 2020 год. Для включения данного индикатора в анализ за 2021 год был применен метод «сдвига ряда», заключающийся в использовании значения ВРП за 2020 год в качестве аппроксимации для 2021 года. Этот подход основан на предположении, что

изменения ВРП в рамках предыдущих и последующих годов имеют плавный характер, что минимизирует риск внесения искажений.

Анализ описательной статистики показал значительную асимметрию распределения ВРП на душу населения (рисунок 2), что может повлиять на качество математического моделирования. Для устранения данной проблемы выполнено логарифмирование значений ВРП. Логарифмирование позволяет сгладить выбросы, уменьшить масштаб показателя и привести распределение к более симметричному виду. Эти преобразования способ-

ствуют повышению качества анализа и улучшению интерпретируемости результатов, что особенно важно при построении структурных моделей.

В силу того обстоятельства, что в рамках исследования анализируются данные различные по масштабу и с различными единицами измерения, необходимо помнить о том, что подобные различия отрицательно сказываются на статистической значимости многомерных методов анализа. И для того, чтобы обеспечить сопоставимость переменных, а также минимизировать искажения при анализе необходимо привести данные к единой шкале. В данном случае целесообразно использовать метод стандартизации данных, который устраняет влияние различий в масштабе переменных.

Стандартизация заключается в приведении исходных переменных в соответствии со следующим выражением [4]:

$$Z_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S}, \quad (1)$$

Z_i – стандартизированное значение показателя,
 X_i – исходное значение показателя,
 $\bar{X}$ – среднее значение показателя,
 S – стандартное отклонение показателя.

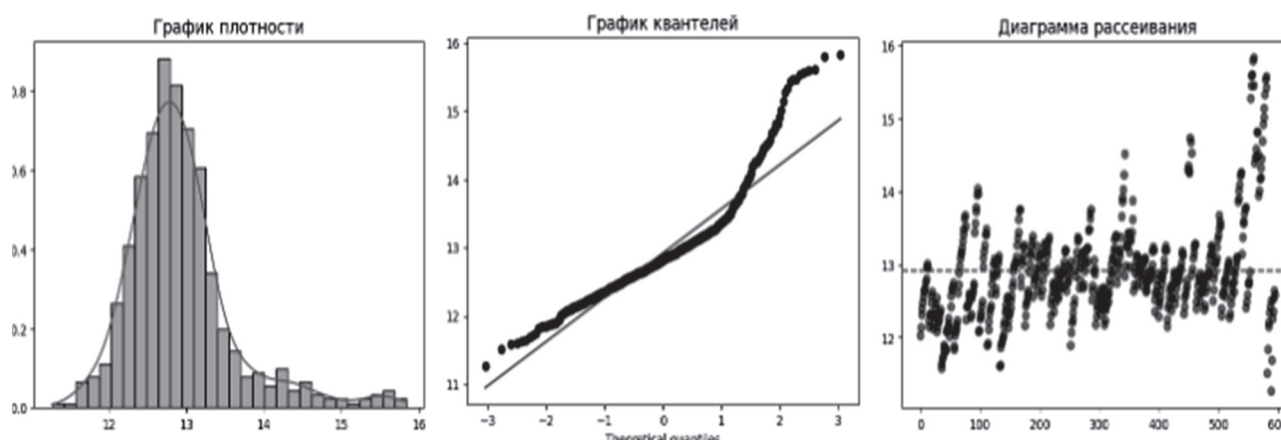


Рис. 2. Графическое представление распределения показателя ВРП на душу населения

Fig. 2. Graphical representation of GRP distribution per capita

В результате стандартизации осуществляется приведение исходного массива данных к набору значений с нулевым средним и стандартным отклонением, равным единице. Формируемая стандартизированная шкала позволяет повысить точность и интерпретируемость последующего анализа.

Для анализа причинно-следственных связей между показателями социально-экономического развития и национальными целями применяется модель структурных уравнений (SEM).

В целях оптимизации данных для обработки в рамках выбранной модели применяется факторный анализ на основе метода главных компонент (РСА), позволяющего уменьшить размерность данных при минимальной потере информации. Выбранный подход помогает сфокусироваться на ключевых компонентах, которые отражают основные аспекты социально-экономического развития, а также объясняют наибольший вкладом в общую дисперсию данных.

Модель SEM выбрана в качестве основного инструмента анализа, поскольку он позволяет одновременно оценивать причинно-следственные связи между скрытыми (латентными) переменными и наблюдаемыми показателями. Данный инструмент обеспечивает возможность проверки гипотез относительно связей между национальными целями и показателями развития, одновременно оценивая статистическую значимость этих связей. Сильные стороны SEM включают в себя его способность учитывать сложные взаимосвязи, принимать во внимание как прямые, так и косвенные эффекты и обрабатывать многомерные наборы данных.

Комплексное использование описанных методов формирует основу для более глубокого понимания механизмов, лежащих в основе

социально-экономического развития регионов России, а также позволяет повысить точность анализа.

В рамках исследования для использования инструментов предобработки данных, анализа данных и построения модели применяется язык программирования Python, который предоставляет полный набор необходимых библиотек и обладает высокой производительностью.

При предварительной обработке данных, формирования дескриптивной статистики, стандартизации, а также получения финального массива данных используются библиотеки Pandas и Numpy. Для визуализации применяются графические пакеты Matplotlib и Seaborn. Математическое моделирование (обучение с учителем) данных реализуется в Scikit-learn. Для построения модели структурных уравнений (SEM) дополнительно подключен пакет Semopy.

Применение языка программирования Python обеспечивает автоматизацию каждого этапа проведения вычислений в едином интерфейсе, что повышает прозрачность исследования и упрощает интерпретацию результатов.

Оптимизация системы показателей посредством факторного анализа и методом главных компонент

Для сокращения размерности данных и выявления ключевых индикаторов, отражающих основные аспекты социально-экономического развития регионов, применены методы факторного анализа и анализа главных компонент (РСА). Данные методы позволяют снизить избыточность информации, сократить число переменных при сохранении их максимальной информативности.

Использование факторного анализа обусловлено выявле-

нием скрытых факторов, которые объединяют показатели в группы, характеризующие схожие аспекты регионального развития. Количество факторов при построении модели оценивается посредством метода главных компонент с последующим вращением факторов для улучшения интерпретации. При этом для оценки пригодности данных к факторному анализу используется критерий Кайзера-Мейера-Олкина (КМО) и тест Бартлетта.

Метод главных компонент применяется для оптимизации системы показателей, что позволяет выделить ключевые компоненты, которые объясняют значительную часть общей дисперсии данных. Этот метод сводит многомерное пространство исходных переменных к меньшему числу линейных комбинаций, сохраняя при этом максимальную информативность.

Основой отбора компонент служит критерий собственных значений (λ), превышающих единицу, и анализ диаграммы осыпи (правило локтя). На графике 3 зависимости собственных значений от номера компоненты наблюдается отчетливый «излом» на четвертой компоненте, указывающий на оптимальное число значимых компонент. Эти четыре компоненты суммарно объясняют значительную долю дисперсии исходных переменных, что подтверждает их достаточность для описания структуры данных.

Отобранные главные компоненты интерпретируются на основе коэффициентов факторных нагрузок. Каждая компонента представляет собой линейную комбинацию исходных показателей, которая наиболее полно отражает ключевые аспекты социально-экономического развития регионов. Использование РСА обеспечивает уменьшение размерности данных без значительных потерь информации, что позволяет повысить эф-

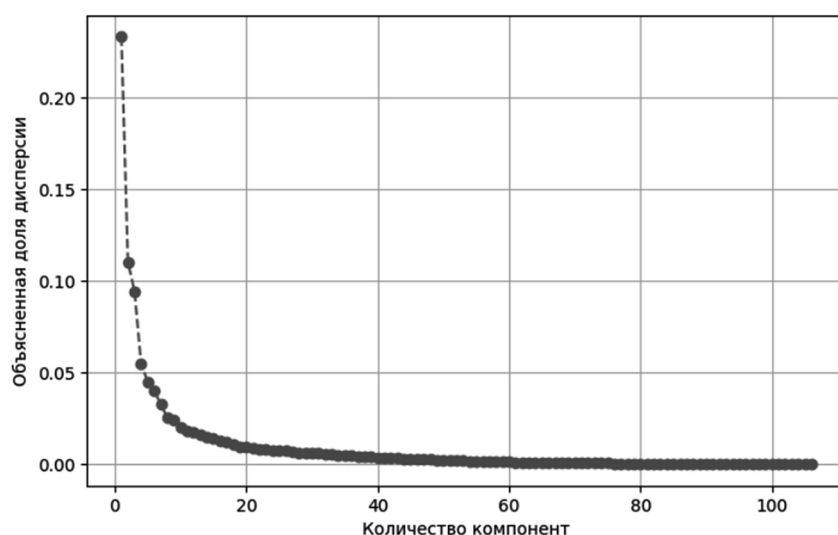


Рис. 3. Зависимость количества компонент от объясненной доли дисперсии

Fig. 3. Dependence of the number of components on the explained proportion of variance

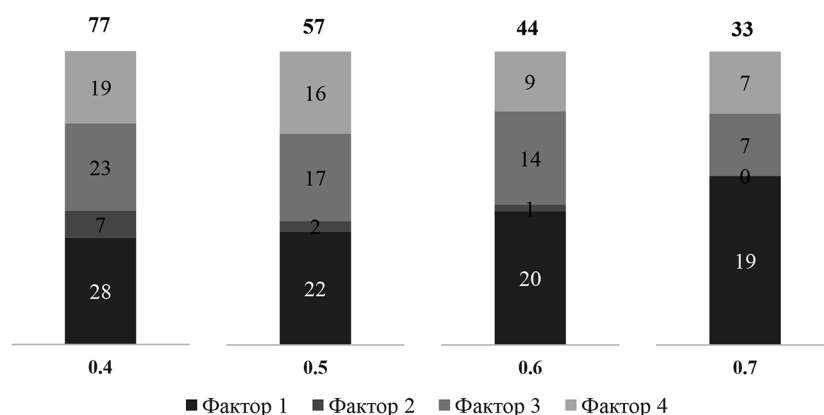


Рис. 4. Зависимость значимых показателей от порога факторной нагрузки

Fig. 4. Dependence of significant indexes on the factor-loading threshold

фективность последующего анализа.

На следующем этапе проводится факторный анализ, направленный на выявление латентных факторов, лежащих в основе отобранных главных компонент. Этот метод уточняет интерпретацию компонент, выделяя скрытые взаимосвязи между исходными показателями, сгруппированными на этапе анализа главных компонент. Факторный анализ выполняется с использованием метода варимакс-ротации, что позволяет упростить и улучшить интерпретацию факторов, а также обеспечить их большую независимость друг от друга.

Для уточнения выбора значимых показателей проводится последовательная оценка факторных нагрузок при различных пороговых значениях: 0,4; 0,5; 0,6 и 0,7. Указанные пороги оцениваются по модулю факторных нагрузок, что позволяет выявить значимые связи между переменными и их вклад в соответствующие факторы. Такой подход дает возможность определить, как изменение порогового значения влияет на количество отобранных переменных и их вклад в формирование факторов. Это также обеспечивает более глубокое понимание структуры данных и их внутренней согласованности.

На рисунке 4 представлена диаграмма, иллюстрирующая зависимость количества значимых показателей от выбранного порогового значения факторной нагрузки. При низких пороговых значениях (например, 0,4) количество отобранных переменных максимально, что отражает включение в анализ большинства исходных показателей, в том числе и те, которые оказывают слабое влияние на формирование факторов. По мере увеличения порога до 0,5 и 0,6 наблюдается постепенное снижение числа значимых переменных, что свидетельствует о более строгом отборе переменных с высоким уровнем влияния на латентные факторы.

При пороговом значении факторной нагрузки 0,7 количество отобранных показателей стабилизируется, так как на этом этапе в анализ включаются только те переменные, которые имеют наиболее значительное влияние на формирование факторов. Это означает, что в каждом факторе остаются только показатели с высокими значениями факторных нагрузок, что позволяет сконцентрироваться на ключевых переменных, объясняющих структуру данных. Выбор данного порогового значения основан на критерии Кайзера, который предполагает, что показатели с факторной нагрузкой более 0,7 по модулю обладают высокой информативностью и делают существенный вклад в интерпретацию факторов.

Такой подход не только минимизирует влияние слабозначимых переменных, которые могут вносить шум в анализ, но и улучшает статистическую обоснованность результатов. Это позволяет сформировать более интерпретируемую модель, а рамках которой каждый фактор отражает определённый аспект социально-экономического развития регионов, представленный наиболее значимыми показателями.

В результате построения факторной модели общее количество показателей сокращается со 106 до 33, что упрощает структуру данных, делая её более управляемой для последующего анализа. При этом остаются только наиболее значимые показатели, которые отражают основные закономерности в исходных данных.

В рамках следующего этапа исследования проводится анализ логических группировок оставшихся показателей. Из каждой группы выделяются наиболее значимые переменные с учётом их содержательной значимости и уровня факторных нагрузок. Такой подход направлен на формирование оптимального набора индикаторов, обеспечивающего максимальную интерпретируемость и статистическую обоснованность модели.

При проведении факторного анализа с пороговым значением 0,7 были выделены три фактора, которые логически интерпретируются следующим образом:

Фактор 1 – экономическое благополучие. Включает показатели, отражающие финансово-экономическую устойчивость регионов, их бюджетные возможности и масштабы хозяйственной деятельности.

Фактор 2 – качество жизни и социальная справедливость. Объединяет показатели, характеризующие уровень жизни населения и доступность товаров и услуг.

Фактор 3 – демографическая стабильность и инновационное развитие. Содержит показатели, описывающие демографические процессы и уровень инновационного развития.

Для дальнейшего анализа из перечисленных факторов выделены только те показатели, которые имеют наибольшую содержательную значимость и отражают ключевые аспекты социально-экономического развития регионов. Такой логический подход к отбору объясняется необходимостью сохранить наиболее важные переменные, которые наиболее полно раскрывают суть каждого фактора и при этом избежать избыточности данных.

В результате из 33 показателей выделены 15 наиболее значимых, которые распределяются по трём факторам и представлены в таблице 1. Этот набор обеспечивает содержательную и статистическую обоснованность для последующего анализа и построения структурной модели.

Таблица 1 / Table 1

Ключевые показатели социально-экономического развития
Key indexes of the socio-economic development

Фактор	Наименование показателя	Единица измерения	ID
Фактор 1 «Экономическое благополучие»	Доходы консолидированных бюджетов субъектов Российской Федерации	миллионов рублей	19.1
	Расходы консолидированных бюджетов субъектов Российской Федерации	миллионов рублей	19.2
	Средства (вклады) юридических и физических лиц в рублях, привлеченные кредитными организациями (Физических лиц)	исходя из места привлечения средств; на начало года; миллионов рублей	19.9.2
	Внешняя торговля со странами дальнего зарубежья (Экспорт)	в фактически действовавших ценах; миллионов долларов США	21.1.1
	Внешняя торговля со странами СНГ (Экспорт)	в фактически действовавших ценах; миллионов долларов США	21.1.2
	Стоимость основных фондов	на конец года; по полной учетной стоимости; миллионов рублей	9.1
	Численность населения	оценка на конец года; тысяч человек	1.1
«Фактор 2 Качество жизни и социальная справедливость»	Валовой региональный продукт на душу населения	рублей	8.2
	Стоимость фиксированного набора (в процентах)	на конец года; в процентах к среднероссийской стоимости)	20.3.2
	Оборот общественного питания на душу населения	в фактически действовавших ценах; рублей	15.8
	Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников организаций	рублей	3.4
Фактор 3 «Демографическая стабильность и инновационное развитие»	Уровень безработицы в трудоспособном возрасте	по данным выборочных обследований рабочей силы; в процентах	2.10.2
	Общие коэффициенты смертности	число умерших на 1000 человек населения	1.10
	Затраты на инновационную деятельность организаций (в процентах от общего объема отгруженных товаров, выполненных работ, услуг)	в процентах	18.13.2
	Уровень инновационной активности организаций	в процентах	18.12.1

Результатом факторного анализа является получение перечня ключевых переменных, наиболее полно отражающих три основных аспекта социально-экономического развития регионов: экономическое благополучие, качество жизни и социальную справедливость, а также демографическую стабильность и инновационное развитие. На основании логического и статистического анализа сформирован оптимальный набор из 15 показателей, который обеспечивает баланс между информативностью и простотой анализа.

Сформированный пул показателей используется для построения структурной модели (SEM), которая даёт возможность углубить понимание причинно-следственных связей и оценить взаимозависимость факторов в контексте социально-экономической динамики.

Модель SEM

После формирования итогового перечня показателей (результат факторного анализа) следующим шагом является построение модели структурных уравнений (SEM), целью которой является выявление и оценка скрытых взаимосвязей между ключевыми блоками показателей (факторами). Преимущество такого метода заключается в том, что модель способна учитывать как наблюдаемые, так и скрытые переменные, а также исследовать структуру взаимосвязей между ними.

Латентные переменные представляют собой скрытые факторы, которые не могут быть непосредственно измерены или не поддаются наблюдению, но их существование и значения выводятся через измеряемые (наблюдаемые) показатели. Модель SEM помогает установить взаимосвязи между такими латентными конструкциями и объяснить сложные системы данных.

В рамках исследования выделены три латентные конструкции, объединяющие:

1. В блок «Экономическое благополучие» входят 7 показателей;

2. Фактор «Качество жизни и социальная справедливость» включает 4 показателя;

3. 4 показателя внутри группы «Демографическая стабильность и инновационное развитие».

Данные латентные конструкции формируют основу структурной модели и служат для изучения причинно-следственных связей между национальными целями и социально-экономическим развитием регионов Российской Федерации. Также на их основе сформированы следующие гипотезы, заложенные в модель, которые проверяются результатами анализа:

Гипотеза 1. Экономика оказывает непосредственное влияние на качество жизни, социальную справедливость, демографическую стабильность и инновационное развитие.

Гипотеза 2. Качество жизни и социальная справедливость имеют взаимосвязь с демографической активностью и инновационным развитием.

Метод моделирования структурными уравнениями (SEM) позволяет анализировать и количественно оценивать сложные причинно-следственные связи между переменными, как наблюдаемыми, так и латентными. Он предоставляет возможности для определения направлений и силы взаимосвязей между переменным и проверки гипотез о влиянии одних переменных на другие.

Эти связи описываются коэффициентами, которые показывают степень и направление влияния переменных друг на друга. К примеру, если экономическое благополучие положительно влияет на качество жизни, это можно интерпретировать как доказательство того, что улучшение экономических условий способствует росту

уровня жизни и социальной справедливости в регионе.

Процесс построения модели структурных уравнений (SEM) включает несколько ключевых этапов:

1. Спецификация модели и определение переменных: на основе теоретических предположений и гипотез формируется модель, в которой латентные переменные представлены как скрытые факторы, а наблюдаемые переменные выступают их индикаторами.

2. Оценка параметров: для каждой взаимосвязи между переменными рассчитываются параметры, такие как коэффициенты регрессии, которые отражают силу и направление связей.

3. Оценка модели: после расчета параметров проверяется, насколько модель соответствует данным. Для этого применяются показатели соответствия, такие как RMSEA (Среднеквадратичная ошибка аппроксимации), CFI (Индекс сравнительного соответствия), AGFI (Индекс качества подгонки) и другие. перечисленные метрики оценивают, насколько хорошо модель описывает эмпирические данные.

4. Оптимизация и интерпретация: Параметры модели оптимизируются для минимизации ошибок, а на основе полученных результатов делаются выводы о латентных взаимосвязях и их значимости.

Реализация модели SEM демонстрирует хорошие результаты. Оптимизация завершена успешно посредством метода SLSQP, что подтверждает стабильность модели. Все ключевые параметры статистически значимы с p -значениями, близкими к нулю, что также говорит о надежных результатах.

Chi-square тест показывает хорошее соответствие модели данным (p -value = 0.0), а значения CFI (0.814) и RMSEA (0.2299) свидетельствуют о приемлемой подгонке модели, несмотря на небольшие от-

клонения. Показатели AIC и BIC находятся на допустимом уровне, что также подтверждает сбалансированность модели.

GFI и AGFI (0.809 и 0.770) показывают адекватное соответствие модели данным. В целом, модель хорошо аппроксимирует данные и имеет достаточно высокую степень значимости.

Построение модели структурных уравнений позволяет сделать следующие выводы:

1. Экономическое благополучие (фактор 1) оказывает положительное влияние на качество жизни и социальную справедливость (фактор 2) с коэффициентом 0,457, что свидетельствует о том, что улучшение экономических показателей региона способствует повышению уровня жизни и социальной справедливости. Этот результат подтверждает, что экономическое развитие является важным драйвером улучшений в социальной сфере.

2. Экономическое благополучие имеет значительное влияние на демографию и инновации (фактор 3), с коэффициентом -0,161. Данный результат указывает на то, что в отдельных случаях экономическое развитие региона может оказывать подавляющее воздействие на инновации и демографические изменения.

3. Связь между качеством жизни и социальной справедливостью, демографическим развитием (фактор 3) регионов России отрицательная (-0,411). Это указывает на возможное снижение инновационной активности и демографического потенциала региона в условиях недостаточного уровня социальной справедливости и качества жизни.

Таким образом, выдвинутая гипотеза о наличии взаимосвязей между национальными целями, утверждёнными Президентом России и показателями социально-экономи-

ческого развития регионов, подтверждается результатами, полученными при применении модели структурного моделирования SEM.

На рисунке 5 представлена визуальная схема модели структурного моделирования, на которой изображены латентные переменные, их взаимосвязи и коэффициенты регрессии, и степень влияния различных факторов на социально-экономическое развитие регионов.

Модель структурных уравнений позволяет выявить и проанализировать латентные связи между основными группами показателей социально-экономического развития регионов России, выявленных на основе факторного анализа. Полученные коэффициенты взаимосвязей могут стать основой для более глубокого анализа влияния отдельных показателей на общие экономические и социальные процессы. Результаты исследования создают возможности для дальнейшего изучения и формулирования рекомендаций, направленных на совершен-

ствование политик и стратегий, способствующих развитию российских регионов.

Углубление анализа: стратегии и методы для совершенствования модели

В целях совершенствования модели и проведения более углубленного исследования целесообразно рассмотреть несколько дополнительных подходов, которые помогут не только повысить точность результатов, но и расширить их практическую применимость в различных аспектах социально-экономического развития.

1. Применение предварительного кластерного анализа

Одним из возможных инструментов для совершенствования модели является использование кластерного анализа, который позволяет осуществлять типологическую группировку регионов по показателям социально-экономического развития.

Дифференциация регионов по кластерам позволяет сформировать однородные группы,



Рис. 5. Модель SEM

Fig. 5. SEM model

после чего к каждой из которых будет применена модель структурных уравнений. Внутри каждого кластера можно выявить специфические взаимосвязи между латентными переменными и наблюдаемыми показателями, которые могут оставаться незаметными при совокупном анализе регионов. Это открывает новые возможности для разработки более точных рекомендаций и эффективных мер государственной политики, ориентированных на особенности отдельных регионов или их групп, а также повышает практическую значимость исследования.

2. Проверка гипотез о взаимосвязях во времени

Данный подход предполагает сравнение полученных гипотез о взаимосвязи латентных переменных и их коэффициентов регрессии по временным периодам. В основе подхода лежит построение множества моделей структурных уравнений для каждого временного периода и анализ полученных результатов в динамике.

Проверка гипотез обеспечит более глубокое понимание развития и взаимодействия различных социально-экономических факторов во времени, что крайне важно для долгосрочного планирования и прогнозирования. Результаты анализа временной динамики помогут разработать адаптивные стратегии развития, которые будут учитывать хронологические изменения и позволят оперативно реагировать на трансформацию внешней среды.

3. Включение новых латентных переменных

В ходе дальнейших исследований целесообразно рассмотреть расширение модели путем включения новых латентных переменных, таких как технологическое развитие, уровень образования или экологическая ситуация в регионе. Подобные факторы могут оказывать влияние на уже существующие латентные пере-

менные, такие как экономическое благополучие и качество жизни. Учет новых латентных переменных позволит глубже понять сложные взаимосвязи между социально-экономическими показателями. Комплексный подход с учетом новых латентных переменных будет способствовать разработке более эффективных стратегий по улучшению условий в регионе, базируясь на более полном понимании причинно-следственных связей.

Применение методов кластеризации, анализа временной динамики, учета новых латентных переменных значительно улучшит качество модели SEM. Такие дополнения могут помочь выявить более точные и специфические взаимосвязи между экономическими, социальными и демографическими факторами, что крайне важно для разработки эффективных и целенаправленных стратегий развития регионов. Предлагаемый подход не только повысит научную значимость исследования, но и обеспечит его практическую применимость, предоставив более детальное и всестороннее понимание процессов, происходящих в регионах.

Заключение

Нетривиальность и многогранность процессов, происходящих в контексте жизнедеятельности регионов Российской Федерации, обуславливают необходимость применения сложных и комплексных инструментов статистического анализа их социально-экономического развития. В силу чего в рамках исследования в отношении показателей развития регионов использованы факторный анализ, метод главных компонент и применен метод структурного моделирования (SEM), сформулирована и проверена гипотеза о влиянии различных факторов на развитие регионов, включая экономические, демографические и социальные

аспекты. Модель структурных уравнений позволила выявить ключевые латентные переменные и их взаимосвязи, а также сформировать более глубокое понимание механизмов, влияющих на развитие регионов.

Дифференцированный подход к исследованию позволил выявить скрытые закономерности и построить причинно-следственные связи между различными индикаторами, а применение структурных уравнений дало возможность исследовать не только прямые, но и латентные (скрытые) связи между переменными, что существенно расширило горизонты анализа и обеспечило более полное представление о процессах развития.

На основе проведенного исследования предложены дальнейшие шаги по улучшению модели, включая использование кластерного анализа для выявления групп регионов со схожими характеристиками, а также проверку гипотез о временной динамике взаимосвязей между переменными. Кроме того, сформулировано предложение о дополнительном учете новых латентных переменных, таких как технологическое развитие и экологическая ситуация, что потенциально может углубить изучение взаимодействий различных факторов.

Таким образом, работа может внести определенный вклад в развитие методологии оценки социально-экономического развития регионов, предложив новые подходы и инструменты для более комплексного и точного анализа. Результаты исследования имеют не только теоретическое, но и практическое значение, поскольку могут быть использованы для разработки более эффективных стратегий экономического и социального развития регионов, а также для формирования рекомендаций для политиков и экономистов, работающих в области регионального планирования.

Литература

1. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года».
2. Ветрова Е. Проблемы и перспективы регионального развития. Процветание регионов через взаимосвязь всех элементов социально-экономического развития. Росконгресс [Электрон. ресурс] // Экспертное заключение подготовлено по итогам сессии ПМЭФ-2024, 2014. Режим доступа: <https://roscongress.org/materials/problemny-i-perspektivy-regionalnogo-razvitiya/>
3. Ankan A., Wortel I., Bollen K. A., Textor J. Combining Graphical and Algebraic Approaches for Parameter Identification in Latent Variable Structural Equation Models [Электрон. ресурс] // Cornell University. 2023. Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2302.13220>
4. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2022: Стат. сб. / Росстат.

М., 2022. 1122 с. [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204>

5. Анализ данных: учебник для вузов / Под ред. В.С. Мхитаряна. М.: Издательство Юрайт, 2024. 448 с.

6. Флах П. Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных: учебник 2-е изд. М.: ДМК Пресс, 2023. 401 с. [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://znanium.ru/catalog/product/2085038>

7. Митрошин А.А., Шитова Ю.Ю., Шитов Ю.А. Методы оценки качества жизни населения и социально-экономической дифференциации территорий: монография. М.: ИНФРА-М, 2024. 96 с. [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://znanium.ru/catalog/product/2138759>

8. Scikit-learn: Machine learning in Python [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://scikit-learn.org/stable/index.html>

References

1. Decree of the President of the Russian Federation of 07.05.2024 No. 309 «On the national development goals of the Russian Federation for the period up to 2030 and for the future up to 2036». (In Russ.)
2. Vetrova E. Problems and prospects of regional development. Prosperity of regions through the interconnection of all elements of socio-economic development. = Problemy i perspektivy regional'nogo razvitiya. Protsvetaniye regionov cherez vzaimosvyaz' vseh elementov sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya. Roscongress [Internet]. Expert opinion prepared following the results of the SPIEF-2024 session; 2014. Available from: <https://roscongress.org/materials/problemny-i-perspektivy-regionalnogo-razvitiya>. (In Russ.)
3. Ankan A., Wortel I., Bollen K. A., Textor J. Combining Graphical and Algebraic Approaches for Parameter Identification in Latent Variable Structural Equation Models [Internet]. Cornell University. 2023. Available from: <https://arxiv.org/abs/2302.13220>. (In Russ.)
4. Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2022: Stat. collection. Rosstat. Moscow; 2022.

1122 p. [Internet]. Available from: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204>

5. Data analysis: textbook for universities = Analiz dannykh: uchebnik dlya vuzov. Ed. V.S. Mkhitaryan. Moscow: Yurait Publishing House; 2024. 448 p. (In Russ.)

6. Flach P. Machine learning. The science and art of building algorithms that extract knowledge from data = Mashinnoye obucheniye. Nauka i iskusstvo postroyeniya algoritmov, kotoryye izvlekayut znaniya iz dannykh: textbook 2nd ed. Moscow: DMK Press; 2023. 401 p. [Internet]. Available from: <https://znanium.ru/catalog/product/2085038> (In Russ.)

7. Mitroshin A.A., Shitova Yu.Yu., Shitov Yu.A. Methods for assessing the quality of life of the population and socio-economic differentiation of territories = Metody otsenki kachestva zhizni naseleniya i sotsial'no-ekonomicheskoy differentsiatsii territoriy: monograph. Moscow: INFRA-M; 2024. 96 p. [Internet]. Available from: <https://znanium.ru/catalog/product/2138759> (In Russ.)

8. Scikit-learn: Machine learning in Python [Internet]. Available from: <https://scikit-learn.org/stable/index.html>

Сведения об авторе

Андрей Сергеевич Вторыгин

Начальник отдела

ГБУ «Аналитический центр», Москва Россия

Эл. почта: vtoryginy@gmail.com

Information about the author

Andrey S. Vtorygin

Head of Department

GBU "Analytical Center", Moscow, Russia

E-mail: vtoryginy@gmail.com