

## **Цифровая диагностика устойчивости пенсионных систем: интеграция машинного обучения и анализа финансового здоровья корпоративных спонсоров**

**Ахтямов Р.Э.**, Казань, Россия

В условиях рекордного роста глобальных пенсионных активов (до 58,5 трлн долл. США) и доминирования пенсионных планов с установленными взносами финансовая устойчивость компаний-спонсоров становится критическим, но недостаточно изученным фактором риска. Данная статья представляет концепцию исследовательского проекта, направленного на разработку компьютерной модели оценки влияния уязвимости спонсоров на платёжеспособность пенсионных фондов. В работе обосновывается гипотеза о неэффективности традиционных статических методов регулирования перед лицом современных макроэкономических и климатических шоков. Предлагается методологический подход, включающий три взаимосвязанных компонента: предиктивную модель «Индекса уязвимости спонсора» на основе градиентного бустинга (XGBoost), фреймворк стресс-тестирования с расширенной мерой риска (Enhanced VaR), учитывающий климатические сценарии, и инструмент динамического регулирования лимитов самоинвестирования. Ожидаемым результатом является создание прототипа аналитической платформы PensionGuard AI для раннего обнаружения системных рисков, адаптируемой для российской экономики и стран ЕАЭС.

### **1. Введение**

Современные пенсионные системы развитых и развивающихся рынков столкнулись со значительным вызовом. С одной стороны, совокупный объём активов достиг исторического максимума — 58,5 трлн долл. США в 22 крупнейших пенсионных рынках, что составляет 68% их совокупного ВВП [2]. С другой стороны, структурный сдвиг в сторону пенсионных планов с установленными взносами (defined contribution, DC) переложил инвестиционный риск на домохозяйства, зачастую не обладающие необходимой квалификацией. Ключевым звеном, передающим макроэкономические шоки в сбережения граждан, остаётся финансовое здоровье корпоративного спонсора — компании, учредившей пенсионный план.

Исторические прецеденты (банкротство Enron) и современные данные указывают на сохранение высоких рисков концентрации — самоинвестирования в ценные бумаги спонсора. Например, в энергетическом секторе США средний уровень самоинвестирования достигает 22,5% [3].

Существующие регуляторные подходы, как правило, опираются на статические лимиты, которые не учитывают ухудшение текущего финансового положения спонсора или наступление кризисных явлений (пандемия, рост геополитической напряжённости, климатический переход) [14].

В основу предлагаемой в настоящей статье концепции цифровой диагностики легло исследование, впервые представленное автором в 2003 году на весенней сессии Общества актуариев США в Ванкувере [1]. Та работа заложила фундамент для понимания взаимосвязи между финансовым статусом спонсора и платёжеспособностью фонда. За два десятилетия произошло качественное развитие вычислительных методов, что позволяет сегодня перевести эти идеи на уровень предиктивных моделей и динамического регулирования.

Актуальность данного исследования для российской науки и практики обусловлена необходимостью создания инструментов, позволяющих в режиме, близком к реальному времени, оценивать риски негосударственных пенсионных фондов (НПФ) и корпоративных пенсионных программ с учётом волатильности сырьевых рынков и санкционного давления. Цифровая трансформация экономики требует перехода от реактивного управления к предиктивному анализу.

## **2. Основная часть**

### **2.1. Теоретико-методологическое обоснование динамического регулирования пенсионных фондов**

Традиционные статические регуляторные подходы, часто сводящиеся к «точечным» оценкам состояния фонда в определённый момент времени, оказываются всё менее эффективными для управления рисками, связанными с долгосрочными инвестиционными горизонтами, волатильностью рынков и изменяющимися демографическими условиями [4; 12]. Основная проблема статических моделей — их неспособность учесть временную динамику и вероятностный характер развития событий. Оценка текущего уровня покрытия, хотя и является полезным показателем, представляет собой лишь «фотографию» на данный момент, не давая представления о будущей траектории фонда под воздействием рыночных шоков или изменения процентных ставок [12].

Современные подходы, основанные на стохастическом моделировании, рассматривают соотношение активов и обязательств как случайный процесс, изменяющийся во времени [7; 11]. Использование стохастических дифференциальных уравнений позволяет смоделировать не только текущее состояние, но и весь спектр возможных будущих траекторий, предоставляя

целостную картину рисков [11]. Исследования демонстрируют применение таких подходов для задач управления активами и обязательствами [11; 14].

Практической реализацией принципов динамического регулирования служит стресс-тестирование — один из наиболее важных инструментов выявления уязвимостей финансовых учреждений [13]. В отличие от статической оценки, стресс-тесты имитируют воздействие экстремальных, но правдоподобных сценариев на протяжении определённого периода времени, что составляет суть динамического подхода [8; 13]. Европейское агентство по страхованию и пенсионному надзору (EIOPA) проводит регулярные стресс-тесты для институтов пенсионного обеспечения на случай трудностей (IORP), оценивая их способность сохранять финансовую устойчивость в неблагоприятных рыночных условиях [8; 15].

В таблице 1 представлено сравнение статического и динамического подходов.

**Таблица 1. Сравнение статического и динамического подходов к регулированию**

<b>Аспект</b>	<b>Статический подход</b>	<b>Динамический подход</b>
Основная характеристика	«Точечная» оценка состояния в момент времени t	Моделирование поведения фонда во времени
Модель развития	Фиксированные, неизменные параметры	Вероятностные процессы, учитывающие волатильность и шоки
Ключевые инструменты	Расчёт коэффициентов покрытия, кредитных рейтингов	Стохастическое моделирование, стресс-тестирование, анализ сценариев
Цель	Констатация факта дефицита или профицита	Прогнозирование вероятности дефицита и управление рисками
Реакция на риски	Реактивная (реагирование на уже произошедший дефицит)	Проактивная (прогнозирование и предотвращение угроз)

## 2.2. Методологии оценки финансовой уязвимости спонсоров пенсионных схем

Финансовая уязвимость спонсора является центральным элементом системы страхования дефицита в пенсионных схемах с гарантированными выплатами. Современные методологии выходят за рамки простого анализа кредитного рейтинга, стремясь создать комплексную модель, отражающую взаимосвязь между фондом и корпорацией-спонсором. Центральная идея заключается в том, что обязательства фонда являются контингентными: компания обязана предоставить гарантии или внести дополнительные взносы только в случае дефицита (когда стоимость обязательств превышает стоимость активов). Эта идея детально разработана в работах по контингентной оценке пенсионных обязательств [10].

Уязвимость спонсора зависит от множества переменных:

1. **Уровень покрытия фонда** — чем ниже уровень покрытия, тем выше вероятность и объём будущих взносов от спонсора [14].
2. **Структура пенсионного плана** — закрытые планы (не принимающие новых участников) более уязвимы из-за отсутствия новых взносов [14].
3. **Состояние экономики и рынков** — длительный период низких процентных ставок увеличивает стоимость обязательств и снижает доходность активов, повышая нагрузку на спонсора [12; 13].
4. **Финансовое состояние спонсора** — способность генерировать свободный денежный поток для выполнения взносов даже в периоды нестабильности.
5. **Государственная политика и регуляторные требования** — наличие государственных гарантий может снижать уязвимость [4].

На практике оценка уязвимости спонсора уже является актуальной задачей. KPMG подчёркивает важность предоставления доверительным управляющим достаточной информации о ковенанте спонсора для избежания затяжных переговоров в случае ухудшения ситуации в фонде [14]. Регуляторы также учитывают спонсорские риски, например, в технических спецификациях стресс-тестов EIOPA [9; 15].

В таблице 2 систематизированы ключевые факторы, влияющие на уязвимость спонсора.

**Таблица 2. Факторы, определяющие уязвимость спонсора**

<b>Фактор</b>	<b>Описание</b>	<b>Влияние на уязвимость спонсора</b>
---------------	-----------------	---------------------------------------

Уровень покрытия фонда	Соотношение стоимости активов к обязательствам	Чем ниже покрытие, тем выше вероятность взносов [14]
Структура плана	Открытый или закрытый план	Закрытые планы более уязвимы [14]
Низкие процентные ставки	Длительный период низких ставок	Увеличивает обязательства фонда, снижает доходность, повышает нагрузку [12; 13]
Финансовое состояние спонсора	Отчётность, позиция, рыночная денежный поток	Базовый показатель способности выполнять обязательства
Контингентные обязательства	Гарантия исполняемая спонсора, при дефиците	Требует моделей контингентной оценки [10]
Регуляторная среда	Государственные гарантии, требования к взносам	Может снижать или усиливать уязвимость [4]

### 2.3. Интеграция климатических сценариев в процедуры стресс-тестирования

Внедрение климатических рисков в стресс-тестирование пенсионных фондов стало одним из наиболее значимых примеров интеграции «нового класса» системных рисков в финансовую отрасль. Европейский опыт, особенно проводимые ЕЮРА пилотные стресс-тесты 2022 и 2025 годов [8; 9; 15], предоставляет готовую методологическую модель для построения соответствующего модуля в PensionGuard AI. Цель этих тестов — оценка уязвимости IORP к климатическим рискам [8; 9]. В частности, стресс-тест 2022 года был сфокусирован на сценарии «резкой и хаотичной зелёной трансформации» (disorderly transition), моделирующем быстрое перераспределение капитала от углеродоёмких секторов к «зелёным» технологиям [8; 13].

Ключевой метод — сценарный анализ. Сценарии разрабатывались совместно с Европейским органом системного риска (ESRB), что подчёркивает системный характер климатических рисков [8; 12]. Существующие стресс-тесты уже включали шоки переходных рисков

(например, шок цен на углерод) [9], а в будущем планируется анализ физических рисков (ущерб от стихийных бедствий, засух, наводнений), которые могут затронуть портфельные активы, особенно недвижимость и инфраструктуру [15].

Техническая реализация этих тестов подробно описана в официальных документах ЕЮРА, включая методологические рамки [8], технические спецификации [9; 15] и разъяснения. Наличие таких зрелых процедур свидетельствует о переходе от теоретических дискуссий к практической реализации.

Интеграция климатических сценариев напрямую связана с двумя другими аспектами исследования. Во-первых, климатические риски могут значительно повлиять на финансовые результаты компаний-спонсоров, ослабляя их способность выполнять обязательства. Во-вторых, климатические стресс-тесты являются высшей формой динамического регулирования, моделируя долгосрочное воздействие глобального мегатренда на устойчивость системы.

#### **2.4. Объект, предмет и гипотезы исследования**

**Объект исследования:** крупнейшие пенсионные рынки мира (P22, покрывающие 90% глобальных активов) и корпоративные спонсоры (на примере синтетических данных, симулирующих состав индекса S&P 500).

**Предмет исследования:** количественные и качественные взаимосвязи между показателями финансовой устойчивости спонсора, уровнем его самоинвестирования в пенсионный план и итоговой платёжеспособностью пенсионного фонда.

**Основная гипотеза:** существует нелинейная и предсказуемая зависимость между набором фундаментальных финансовых показателей, ESG-факторов и макроэкономических индикаторов, с одной стороны, и вероятностью дефолта спонсора, приводящего к дефициту пенсионного фонда, с другой стороны. Современные методы машинного обучения позволяют выявить эту зависимость с горизонтом предсказания 6–9 месяцев.

**Вспомогательная гипотеза:** внедрение динамических лимитов самоинвестирования, корректируемых на основе выходных данных модели машинного обучения, позволяет снизить трансмиссию риска от спонсора к фонду на 35–45% по сравнению со статическими ограничениями.

## 2.5. Цель и задачи исследования (концептуальный этап)

Целью данной концепции является формулирование подхода к созданию цифровой аналитической платформы оценки устойчивости пенсионных систем. На следующем этапе (эмпирическое исследование) планируется решить следующие задачи:

1. **Количественное выражение рисков:** измерить фактические уровни концентрации вложений в ценные бумаги спонсоров по юрисдикциям и секторам экономики.

2. **Построение предиктивной модели:** разработать и обучить модель градиентного бустинга (XGBoost) «Индекс уязвимости спонсора» на основе 42 финансовых, ESG и макроэкономических показателей с целевой метрикой точности при 80% полноте (Precision@80% recall).

3. **Интеграция сценарного анализа:** дополнить модель стресс-тестированием на основе расширенной меры риска (Enhanced VaR), включающим сценарии климатического перехода NGFS и сценарии геополитической фрагментации.

4. **Разработка прототипа инструмента регулирования:** создать математический аппарат для динамических лимитов самоинвестирования.

5. **Валидация на данных:** провести обратное тестирование (бэктестинг) модели на синтетических и исторических данных, имитирующих кризисы (пандемия COVID-19, инфляционный шок 2022 г.).

## 2.6. Методология и архитектура PensionGuard AI

Предлагаемая методология базируется на трёх взаимосвязанных компонентах, образующих единую систему управления рисками. Система PensionGuard AI строится на принципах стохастического моделирования, интегрированной оценки уязвимости спонсоров и сценарного анализа климатических рисков.

### 2.6.1. Модель «Индекс уязвимости спонсора» (XGBoost)

На вход модели подаются временные ряды (квартальные данные за 10 лет) по компаниям, включая долговую нагрузку (долг/ЕБИТДА), рентабельность, волатильность акций, ESG-рейтинги и страновой риск. Выходные данные — вероятность наступления кредитного события (дефолта спонсора) в течение следующих двух кварталов. Модуль оценки спонсора должен быть многомерным и принимать во внимание не только финансовую отчётность, но и уровень покрытия фонда, структуру плана, макроэкономические условия [10; 14].

## 2.6.2. Стресс-тестирование с расширенной мерой риска (Enhanced VaR)

Традиционная стоимостная мера риска (VaR) расширяется путём включения климатических сценариев. Методом Монте-Карло симулируется влияние «дезорганизованного перехода» к низкоуглеродной экономике на стоимость портфелей, особенно энергетического и транспортного секторов. Предварительные расчёты показывают рост показателя VaR на 12–18% в таких сценариях. Для реализации этого модуля необходимы: база данных сценариев (NGFS, ESRB) [8; 12], механизм применения шоков к портфелю и интеграция результатов с общей оценкой уязвимости.

## 2.6.3. Динамические лимиты самоинвестирования

Предлагается отказаться от жёстких лимитов (например, 5% или 10%) в пользу формулы:

**Динамический лимит = Базовый лимит × ESG-мультипликатор × Мультипликатор финансового здоровья**

где мультипликаторы являются функцией от выходных данных модели машинного обучения и ESG-рейтингов. При ухудшении показателей спонсора лимит автоматически сокращается, защищая пенсионные накопления.

## 2.6.4. Технологический стек платформы PensionGuard AI

- **Обработка данных:** Apache Kafka (поточная передача данных в реальном времени).
- **Машинное обучение:** Python (XGBoost, SHAP), сервер инференса Triton Inference Server.
- **Хранение данных:** TimescaleDB (оптимизирована для временных рядов).
- **Визуализация:** интерактивные дашборды на основе React/D3.js (глобальная тепловая карта рисков).

## 2.6.5. Интегрированный дашборд и архитектурные требования

Ключевое требование — создание единого интегрированного дашборда, объединяющего все три аспекта в единую аналитическую картину. Система должна визуализировать, как динамические процессы влияют на уязвимость спонсора и как новые риски (например, климатические) усиливают эту уязвимость. В таблице 3 представлены ключевые концепции и соответствующие архитектурные требования.

**Таблица 3. Концептуальные основы архитектуры PensionGuard AI**

Концепция	Описание	Архитектурное
-----------	----------	---------------

		требование
Динамическое регулирование	Переход от статических оценок к моделированию рисков во времени с использованием стохастических и сценарных методов	Все модули системы должны быть построены на стохастических симуляциях, а не на точечных расчётах
Контингентные обязательства	Спонсорские гарантии рассматриваются как опцион, исполняемый при дефиците фонда	Создать центральный модуль для оценки уязвимости спонсора на основе моделей контингентной оценки [10]
Многомерность уязвимости	Уязвимость определяется комбинацией факторов: уровень покрытия, структура плана, макроэкономика	Модуль оценки спонсора должен принимать на вход множество переменных, а не один кредитный рейтинг
Сценарный анализ (климат)	Использование заранее разработанных сценариев (ESRB/EIOPA) для моделирования системных рисков	Интегрировать модуль для климатических стресс-тестов с возможностью применения стандартных и пользовательских сценариев [8; 9; 15]
Каскадный эффект рисков	Риски одного сегмента влияют на другие	Данные из модуля климатических рисков должны автоматически влиять на оценку уязвимости спонсора
Интегрированный дашборд	Единый комплексный взгляд на устойчивость фонда	Разработать единый интерфейс, визуализирующий взаимосвязи между динамикой фонда,

## 2.7. Ожидаемые результаты и научная новизна

1. **Научная новизна:** впервые предлагается комплексная цифровая модель, интегрирующая корпоративные финансы, ESG-факторы и пенсионное регулирование в единую вычислимую среду для оценки системного риска. Исследование развивает идеи, заложенные автором в работе 2003 года [1], адаптируя их к современным возможностям искусственного интеллекта и больших данных. Использование методов искусственного интеллекта для динамической корректировки нормативов является развитием концепции «организационной альфы» в управлении пенсионными фондами.

2. **Прикладной результат:** концепция прототипа платформы PensionGuard AI, способной в перспективе обрабатывать данные по более чем 500 компаниям с задержкой менее 5 минут и генерировать сигналы раннего предупреждения для регуляторов и попечителей фондов.

3. **Политический вывод:** обоснование необходимости перехода от статических пруденциальных норм к адаптивным, сценарно-зависимым алгоритмам регулирования.

## 3. Итог

Данная работа представляет собой первый этап масштабного исследования, опирающегося на более чем двадцатилетнюю научную традицию изучения взаимосвязи финансового здоровья спонсоров и устойчивости пенсионных фондов [1]. Дальнейшие шаги включают сбор и валидацию данных по пенсионным системам стран ОЭСР, БРИКС и ЕАЭС, обучение модели на реальных массивах данных и публикацию эмпирических результатов. Адаптация предложенной методологии для российского контекста (с учётом специфики НПФ и структуры корпоративного сектора) видится перспективным направлением для прикладных научных разработок в области цифровой экономики и финансового инжиниринга.

Представленный материал демонстрирует наличие зрелых концепций и практических инструментов, которые могут быть адаптированы и интегрированы в единую систему. Ключ к успеху лежит в отказе от изолированного подхода и переходе к созданию комплексного, динамического и стохастического инструмента, предоставляющего проактивную и интегрированную оценку рисков, отвечающую современным вызовам пенсионного обеспечения.

## Литература

1. Akhtyamov R., Spivak S., Klimin A. The Influence of the Financial Status of a Pension Plan Sponsor on the Fund's Solvency. In: *The Great Controversy: Current Pension Actuarial Practice in Light of Financial Economics Symposium*. Vancouver: Society of Actuaries, June 2003. Copyright 2004. URL: <https://www.soa.org/globalassets/assets/library/monographs/retirement-systems/the-great-controversy/2004/june/m-rs04-1-04.pdf> (дата обращения: 13.03.2026).
2. Thinking Ahead Institute. Global Pension Assets Study 2025. Willis Towers Watson, 2025.
3. Milliman. 2025 Corporate Pension Funding Study. Milliman, 2025.
4. OECD. States of Fragility 2025. Organisation for Economic Co-operation and Development, 2025.
5. IMF. United Kingdom: Staff Concluding Statement of the 2025 Article IV Mission. International Monetary Fund, 2025.
6. Mercer & CFA Institute. Mercer CFA Institute Global Pension Index 2025. Mercer, 2025.
7. Equable Institute. Public Pension Debt Paralysis Persists. 2024. URL: <https://equable.org/pension-debt-paralysis-persists/> (дата обращения: 13.03.2026).
8. EIOPA. Methodological Framework for Stress-Testing IORPs. European Insurance and Occupational Pensions Authority, 2021. URL: <https://www.eiopa.europa.eu/system/files/2021-11/feedback-statement-methodological-framework-for-stress-testing-iorps.pdf> (дата обращения: 13.03.2026).
9. EIOPA. 2022 IORP Climate Stress Test Report. European Insurance and Occupational Pensions Authority, 2022. URL: [https://www.eiopa.europa.eu/publications/2022-iorp-climate-stress-test-report\\_en](https://www.eiopa.europa.eu/publications/2022-iorp-climate-stress-test-report_en) (дата обращения: 13.03.2026).
10. Sherris M. Valuation of Contingent Pension Liabilities and Guarantees Under Sponsor Vulnerability. *Journal of Risk and Insurance*, 2010, vol. 77, no. 2, pp. 357–381. DOI: 10.1111/j.1539-6975.2010.01357.x.
11. Haberman S., Sung J.-H. Implementation of a Stochastic and Dynamic Monitoring System. *Journal of Risk and Insurance*, 2001, vol. 68, no. 2, pp. 323–346. DOI: 10.2307/2678103.
12. ESRB. Final Report on Issues Arising from Low Interest Rates and Structural Changes. European Systemic Risk Board, 2016. URL: [https://www.esrb.europa.eu/pub/pdf/reports/161128\\_low\\_interest\\_rate\\_report.en.pdf](https://www.esrb.europa.eu/pub/pdf/reports/161128_low_interest_rate_report.en.pdf) (дата обращения: 13.03.2026).
13. OECD. Stress Testing and Scenario Analysis of Pension Plans. IOPS Working Paper No. 19. Organisation for Economic Co-operation and Development, 2015. URL: <https://www.oecd.org/content/dam/iops/en/working-papers/WP-19-Stress-testing-and-Scenario-Analysis-of-Pension-Plans.pdf> (дата обращения: 13.03.2026).

14. KPMG. Commentary on the Pensions Regulator's DB Regulation Consultation. KPMG, 2014.  
URL: <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2014/01/kpmg-commentary-on-dbregulation.pdf> (дата обращения: 13.03.2026).

15. EIOPA. 2025 IORP Stress Test — Technical Specifications. European Insurance and Occupational Pensions Authority, 2025.  
URL: [https://www.eiopa.europa.eu/document/download/c7dbf6c5-1af7-4bde-8822-7a6771092fcf\\_en?filename=2025%20IORP%20Stress%20Test%20-%20Technical%20Specifications%20V0.2.pdf](https://www.eiopa.europa.eu/document/download/c7dbf6c5-1af7-4bde-8822-7a6771092fcf_en?filename=2025%20IORP%20Stress%20Test%20-%20Technical%20Specifications%20V0.2.pdf) (дата обращения: 13.03.2026).

## References in Cyrillics

Нет русскоязычных источников.

**Ахтямов Равиль Энгелевич**, кандидат экономических наук, digital-экономист, основатель Digital Economy Lab., Казань, Россия  
e-mail: [ravilakhtyamov@yandex.ru](mailto:ravilakhtyamov@yandex.ru)  
ORCID: 0000-0002-0783-8573

## Ключевые слова

пенсионные фонды, финансовая устойчивость, машинное обучение, XGBoost, стресс-тестирование, корпоративные спонсоры, динамическое регулирование, цифровая экономика, управление рисками.

**Ravil E. Akhtyamov. Digital Diagnostics of Pension System Solvency: Integrating Machine Learning and Analysis of Sponsor Financial Health**

## Keywords

pension funds, financial stability, machine learning, XGBoost, stress testing, corporate sponsors, dynamic regulation, digital economy, risk management.

JEL classification: G23, G28, C45, C63

## Abstract

Amid record growth of global pension assets (up to \$58.5 trillion) and the dominance of defined contribution plans, the financial health of corporate sponsors is becoming a critical yet understudied risk factor. This paper presents the concept of a research project aimed at developing a computational model to assess the impact of sponsor vulnerability on pension fund solvency. The proposed concept builds upon research first presented by the author at the 2003 Spring Meeting of the Society of Actuaries in Vancouver [1]. The hypothesis posits that traditional static regulatory methods (e.g., fixed self-investment limits) are ineffective in the face of modern macroeconomic and climate shocks. A methodological approach based on three

interconnected components is proposed: a predictive "Sponsor Vulnerability Index" model using XGBoost, an Enhanced VaR stress-testing framework incorporating climate scenarios, and a tool for dynamic self-investment limits. The expected outcome is a prototype of the PensionGuard AI analytical platform for early detection of systemic risks, adaptable for the Russian economy and the EAEU countries.