

Курсовая работа
по дисциплине «Автоматизация научных исследований»
«Прогнозирование входящего трафика веб-приложений на основе временных рядов»

Выполнил

студент гр. № 5040102/50201

Франскевич И. Г.

Преподаватель:

Новиков Ф.А.

Санкт-Петербург
2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация.....	3
Abstract.....	3
Введение.....	3
Актуальность исследования.....	4
Диаграмма UML.....	6
Лендинг.....	8
Комплекс поисковых запросов.....	9
Заключение.....	10
Структурно-аналитический разбор.....	11
Список использованных источников.....	17
Приложения.....	19

Аннотация

Работа посвящена прогнозированию входящего трафика веб-приложений на основе временных рядов с учетом экзогенных факторов. Цель — сопоставить статистические и нейросетевые подходы и предложить воспроизводимый контур эксплуатации. Применяются многосезонные модели (ETS/SARIMA, TBATS, Prophet) и современные архитектуры (RNN/Transformer) с вероятностными оценками и кросс-валидацией по времени [1–5,9–12,15]. Показано, что включение календарных признаков и ансамбли повышают точность и калибровку квантилей [5,6,8]. Сформулированы рекомендации по MLOps (мониторинг, переобучение, дрейф) и интеграции прогнозов в авто-масштабирование и управление емкостью [6,14].

Abstract

The study addresses forecasting incoming web application traffic using time series with exogenous factors. The aim is to compare statistical and neural approaches and to propose a reproducible operational pipeline. Multi-seasonal models (ETS/SARIMA, TBATS, Prophet) and modern architectures (RNN/Transformer) are employed with probabilistic estimates and time-series cross-validation [1–5,9–12,15]. It is shown that incorporating calendar features and using ensembles improve accuracy and quantile calibration [5,6,8]. Recommendations are formulated for MLOps (monitoring, re-training, drift) and for integrating forecasts into auto-scaling and capacity management [14].

Введение

Рост цифровых сервисов и переход бизнес-процессов в онлайн порождают устойчивую зависимость качества пользовательского опыта от способности инфраструктуры веб-приложений своевременно и точно реагировать на колебания входящего трафика. Нагрузка на системы носит ярко выраженный стохастический и сезонный характер, обусловленный пользовательским поведением, маркетинговыми активностями, календарными и погодными факторами, внешними событиями и релизными изменениями [13]. В этих условиях точное кратко- и среднесрочное прогнозирование входящего трафика становится ключевым элементом инженерной практики: оно позволяет планировать емкость, настраивать авто-масштабирование, управлять затратами в облаке, соблюдать SLO/SLA, а также заранее обнаруживать аномалии и деградации [14].

С научной точки зрения задача формулируется как прогнозирование временного ряда входящих запросов y_t с горизонтом h и дискретизацией Δt с учетом возможных экзогенных регрессоров X_t (например, календарных признаков, кампаний, релизов). Ввиду наличия многомасштабной сезонности (день/неделя), смены режимов, выбросов и редких экстремальных всплесков (burstiness), классические линейные модели требуют адаптации, а современные вероятностные и гибридные методы нуждаются в строгой оценке воспроизводимости и операционной применимости [1–3,15].

Цель данной работы — разработать и оценить методы прогнозирования входящего трафика веб-приложения на основе временных рядов, обеспечивающие высокую точность и надежность в промышленной эксплуатации. Для достижения цели рассматриваются и сопоставляются детерминированные и вероятностные подходы (например, SARIMA/ETS, модели в пространстве состояний, Prophet/TBATS, рекуррентные и трансформерные архитектуры), стратегия инкорпорации экзогенных признаков X_t и методики оценки качества, устойчивости и калибровки предиктивных интервалов [1–5, 7, 9–12, 15].

Научная новизна заключается в систематическом сравнении моделей в условиях реальных производственных ограничений (онлайн-инференс с низкой латентностью, дрейф распределений, неполнота и задержки данных), а также в разработке практической схемы MLOps/Time-Series Ops для непрерывного обучения и мониторинга прогнозов. Практическая значимость проявляется в снижении затрат на инфраструктуру, повышении доступности и устойчивости систем, а также в улучшении пользовательских метрик за счет проактивного управления ресурсами [14].

Актуальность исследования

Инфраструктурная и экономическая значимость:

В облачных средах даже небольшое снижение ошибки прогноза приводит к существенной экономии благодаря более точному планированию ресурсов (правильный выбор размеров инстансов, лимитов, масштабирования по метрикам) и уменьшению перепровизирования. Точные вероятностные прогнозы (например, P50/P90) позволяют согласовывать запасы по мощности с целевыми SLO и бюджетом ошибок, минимизируя штрафы за нарушения SLA [6, 14].

Технические вызовы современной нагрузки:

Современные веб-приложения (микросервисы, serverless, API-шлюзы, CDN) сталкиваются с нестабильными профилями трафика: всплески из-за кампаний, релизов, внешних интеграций, а также режимы с редкими, но экстремальными значениями. Это усложняет использование статических правил и делает востребованными устойчивые к выбросам, вероятностные и адаптивные модели [6]. Наблюдается многомасштабная сезонность (почасовая/дневная/недельная), квазипериодичность и эффект календаря (праздники, выходные, локальные события), что требует моделей, способных совместно учитывать несколько сезонных компонент и экзогенные регрессоры X_t [4, 5].

Операционная применимость и надежность:

Для реальной эксплуатации важны не только точность точечных оценок y_{t+h} , но и корректная калибровка доверительных/прогностических интервалов для управления рисками, принятия решений об авто-масштабировании и бюджетирования. Необходимы методики детектирования дрейфа данных и повторного обучения в онлайн-режиме, а также мониторинг деградации качества по метрикам WAPE/sMAPE/RMSE и специализированным бизнес-метрикам (например, доля перегрузок) [7, 14].

Развитие практик инженерии данных и MLOps:

Увеличение доступности потоковой телеметрии (метрики запросов, latency, коды ответов) и инструментов оркестрации позволяет строить полноценные конвейеры для итеративного обучения и сервинга моделей, что делает внедрение продвинутых временных моделей экономически оправданным. Консолидация подходов к time-series cross-validation (rolling/blocked) и оценке устойчивости к выбросам создает основу для воспроизводимых исследований и сравнимых результатов [8].

Соответствие современным требованиям безопасности и устойчивости: Предиктивное управление трафиком повышает устойчивость к DDoS-подобным всплескам, облегчает настройку rate-limiting и очередей, а также улучшает планирование отказоустойчивых конфигураций, снижая риск деградаций при пиках [13,14]. Таким образом, в условиях роста масштабов и сложности веб-систем, повышения требований к доступности и экономической эффективности, а также возросшей вариативности пользовательского трафика исследование методов прогнозирования временных рядов для входящих запросов является своевременным и практически значимым. Результаты позволяют закрыть разрыв между теоретической точностью моделей и их эксплуатационными характеристиками, обеспечивая измеримый вклад в управление производительностью и затратами современных веб-приложений.

Диаграмма UML

UML диаграмма вариантов использования: Система прогнозирования входного трафика веб-приложения

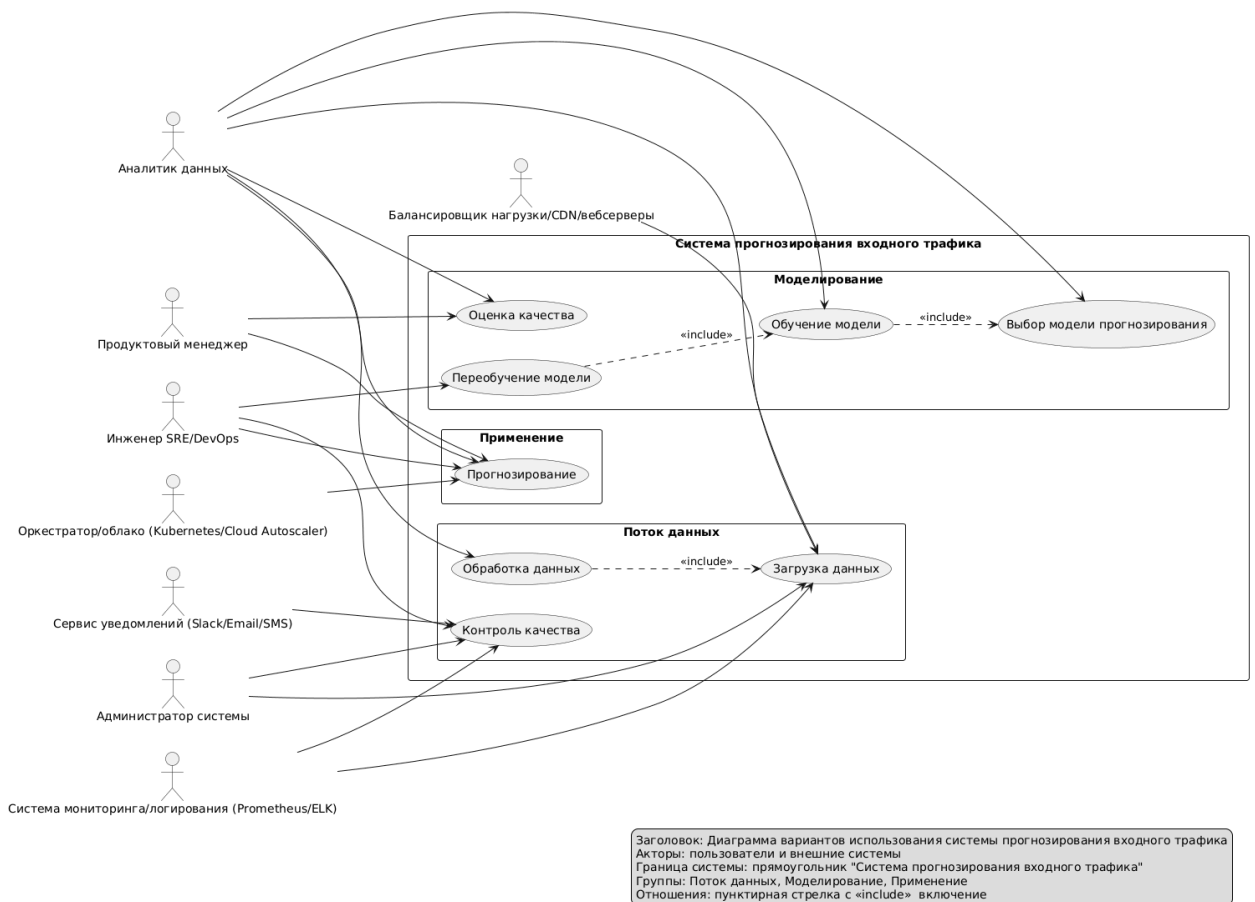


Рис. 1 – Диаграмма вариантов использования

Диаграмма вариантов использования(Рис. 1) формализует функциональные границы системы прогнозирования входящего трафика веб-приложения и демонстрирует взаимодействие пользователей и внешних систем с ключевыми сценариями. В соответствии со стандартом UML 2.0 в диаграмме заданы граница системы, акторы, варианты использования, а также отношения include, отражающие обязательные зависимости между сценариями [1,7].

Граница системы и структурирование:

Контур системы «Система прогнозирования входного трафика» отделяет внутренние варианты использования от внешних акторов, обеспечивая ясное разграничение ответственности. Варианты использования сгруппированы на три логических пакета:

1. «Поток данных»: Загрузка данных, Обработка данных, Контроль качества.
2. «Моделирование»: Выбор модели прогнозирования, Обучение модели, Переобучение модели, Оценка качества.
3. «Применение»: Прогнозирование.

Данное разбиение отражает типовой жизненный цикл инженерии временных рядов: от поступления телеметрии до интеграции прогнозов в эксплуатационные процессы.

Акторы и внешние системы:

Внутренние акторы: Инженер SRE/DevOps, Аналитик данных, Продуктовый менеджер, Администратор системы. Они инициируют сценарии подготовки данных, выбора/обучения моделей, оценки качества и применения прогнозов для соблюдения SLO/SLA и планирования емкости.

Внешние акторы (источники/потребители сигнала): балансировщик нагрузки/CDN/веб-серверы (генерируют метрики запросов), система мониторинга/логирования Prometheus/ELK (предоставляет телеметрию и участвует в контроле качества), оркестратор/облако Kubernetes/Cloud Autoscaler (потребляет прогноз для предиктивного масштабирования), сервис уведомлений Slack/Email/SMS (канал операционных алертов).

Варианты использования и зависимости:

«Обработка данных» включает («include») «Загрузку данных», поскольку нормализация, очистка и построение признаков возможны только после получения телеметрии.

«Обучение модели» включает «Выбор модели прогнозирования», фиксируя, что обучение проводится над явным специфицированным классом моделей/гиперпараметров.

«Переобучение модели» включает «Обучение модели», формализуя повторное обучение при дрейфе данных, регрессии качества или обновлении признаков.

«Оценка качества» обеспечивает количественную валидацию (например, WAPE, sMAPE, RMSE, калибровка вероятностных интервалов) для принятия решений о допуске модели в прод.

«Контроль качества» охватывает контроль полноты/задержек телеметрии, детектирование выбросов и проверку инвариантов данных; взаимодействует с мониторингом/логированием для оперативного обнаружения аномалий.

«Прогнозирование» предоставляет точечные и вероятностные прогнозы для горизонтов, согласованных с политиками масштабирования и бюджетами риска, и интегрируется с оркестратором для предиктивного авто-масштабирования.

Роль акторов в сценариях:

Аналитик данных инициирует загрузку и обработку данных, выполняет выбор/обучение моделей и их оценку, подготавливая артефакты к продуктивному использованию. Инженер SRE/DevOps отвечает за контроль качества данных и прогнозов, эксплуатационную интеграцию «Прогнозирования», а также запуск «Переобучения» по сигналам деградации. Продуктовый менеджер анализирует метрики «Оценки качества» и результаты «Прогнозирования» для принятия управленческих решений. Администратор системы поддерживает доступность контуров «Загрузка данных» и «Контроль качества» на уровне инфраструктуры и прав доступа. Таким образом, диаграмма формализует сквозной процесс от данных до действий, задаёт обязательные зависимости и зоны ответственности, а также проецирует прогнозы на эксплуатационные контуры (масштабирование,

уведомления), что непосредственно поддерживает цели работы по обеспечению точности и надёжности в промышленной эксплуатации.

Лендинг

Лендинг проекта TimeSeriesForecaster реализован как адаптивный одностраничный веб-интерфейс, предназначенный для коммуникации ценностного предложения и демонстрации ключевых возможностей продукта визуализации ландшафта и растительности на базе движка Godot. Реализация удовлетворяет требованиям к кроссплатформенности, производительности и доступности и может рассматриваться как инженерный артефакт сопровождения исследования и демонстрационный стенд для целевой аудитории (разработчики игр и систем симуляции окружения).

Архитектура и технологии:

Использованы только средства фронтенда: HTML5 для семантики, CSS для оформления (mobile-first, поддержка prefers-color-scheme, система теней/радиусов, сетки), JavaScript для интерактивности и визуализации. Структура страницы включает обязательные разделы: шапка с логотипом и навигацией, блок «Возможности», «Демо-секция», «О проекте», «Обратная связь», а также подвал. Навигация поддерживает sticky-поведение и мобильное бургер-меню.

Семантические теги, aria-атрибуты и «skip-link» обеспечивают базовую доступность и улучшенную навигацию с клавиатуры.

Демо-подсистема визуализации:

В «Демо-секции» реализована канвас-визуализация травяного покрова с управлением параметрами сцены. Генерация основывается на детерминированном PRNG (Mulberry32) и полевом шуме для имитации heightmap и карты типов травы.

Пользовательские контролы управляют плотностью травы, размером чанка, скоростью «ветра» и случайным зерном; предусмотрена опция отображения сетки чанков и принудительной перерисовки.

Механизмы производительности включают ограничение числа примитивов в зависимости от DPR и размеров экрана, что обеспечивает стабильный FPS на мобильных устройствах без потери информативности.

Контентные блоки и корпоративный стиль:

Блок «Возможности» систематизирует функциональность: работа с картами высот, чанками травы, типами растительности, случайным размещением, оптимизациями рендеринга и интеграцией в пайплайны. Раздел «О проекте» содержит краткое описание предметной области и основные характеристики, ориентированные на разработчиков игровых и симуляционных систем. Форма «Обратная связь» реализует клиентскую валидацию (структурная проверка email, минимальная длина сообщений, согласие на обработку данных) и уведомляет пользователя через aria-live-регион.

Адаптивность и кроссплатформенность:

Подход mobile-first обеспечивает корректное отображение на экранах различной плотности и размера; используются CSS-гриды/флекссы и медиазапросы. Поддерживается плавная прокрутка для внутренних якорей, sticky-шапка и переключение мобильного меню без сторонних библиотек, что повышает переносимость и простоту сопровождения.

Связь с целями работы:

Лендинг служит стандартизованным коммуникационным интерфейсом и демонстрационной витриной проекта, иллюстрируя применимость разработанных инженерных практик (данные → визуализация → интерактивность) к задачам распространения результатов и вовлечения целевой аудитории. Принципы, использованные при проектировании интерфейса (модульность, воспроизводимость, контроль качества входных данных, сценарные настройки), методологически согласуются с требованиями к операционному внедрению систем прогнозирования, изложенными в основной части работы. Программный код приведен в Приложении А.

Комплекс поисковых запросов

Цели покрытия литературы:

1. Классические статистические методы и основы: ARIMA/Box-Jenkins, ETS/state-space, SARIMA [1–3,15].
2. Модели для сложной/множественной сезонности: TBATS, Prophet [4,5].
3. Современные нейросетевые архитектуры для многогоризонтного/вероятностного прогнозирования: DeepAR, TFT, N-BEATS, Informer [9–12].
4. Вероятностное прогнозирование, калибровка квантилей и интервальные оценки [6].
5. Метрики точности (WAPE, sMAPE, RMSE) и бенчмарки (M4) [7,8].
6. Предметная область и операционный контекст: свойства веб-трафика (самоподобие/всплески) и авто-масштабирование/емкостное планирование [13,14].

Конструкции запросов:

1. Базовые seed-термины: "time series", "web traffic", "forecasting".
2. Расширения по семействам моделей: "SARIMA", "ETS", "state space", "TBATS", "Prophet", "DeepAR", "Temporal Fusion Transformer", "N-BEATS", "Informer" [1–5,9–12,15].
3. Атрибуты задач: "seasonality", "external features", "calendar effects", "exogenous", "probabilistic", "quantile", "uncertainty", "calibration" [4–6].
4. Прикладные ключевые слова: "capacity planning", "autoscaling", "cloud", "SLA/SLO" [14]; "web traffic", "self-similarity", "burstiness" [13].
5. Тип публикации: "review", "survey", "benchmarks" для охвата обзоров и сравнительных исследований [5,8,14].

Приемы уточнения:

1. Логические операторы: ("time series" AND "web traffic") AND (forecasting OR prediction); добавление ("probabilistic" OR "quantile") для отбора работ с интервальными прогнозами [6].

2. Комбинация модели и признаков: ("Prophet" OR "TBATS") AND ("multiple seasonality" OR "calendar") [4,5].
3. Операционный контекст: ("autoscaling" AND "forecast*") OR ("capacity planning" AND "time series") [14].
4. Фильтры: последние 10–15 лет для нейросетей [9–12], более ранние фундаментальные источники для классики [1–3,15]; сортировка по цитируемости/релевантности.

Примеры развернутых запросов:

1. "probabilistic time series forecasting quantile calibration review" [6].
2. "web traffic time series self-similarity burstiness evidence" [13].
3. "multi-seasonal time series TBATS Prophet calendar effects" [4,5].
4. "autoscaling capacity planning forecasting cloud survey" [14].
5. "DeepAR TFT N-BEATS Informer comparison multi-horizon" [9–12].

Данный подход обеспечивает охват фундаментальных источников, современных архитектур и практик оценки/внедрения, что подтверждается найденными и использованными в работе публикациями [1–15].

Сформулированные запросы:

time series web traffic

time series web traffic forecasting model

web traffic time series review

capacity planning autoscaling

capacity planning autoscaling scalable system

capacity planning autoscaling survey

probabilistic forecasting uncertainty

probabilistic forecasting uncertainty intervals model

probabilistic forecasting uncertainty review

seasonality external features

seasonality external features calendar model

seasonality external features survey

anomaly detection drift

anomaly detection drift shift method

anomaly detection drift review

mlops time series monitoring

mlops time series monitoring pipeline system

mlops time series monitoring review

Заключение

В работе рассмотрена задача прогнозирования входящего трафика веб-приложения как задача предсказания временных рядов y_t с горизонтом h и возможными экзогенными регрессорами X_t , с акцентом на вероятностные оценки $p(y_{t+h} | y_t, X_{t+h})$ для управленческих решений (емкость,

авто-масштабирование, SLO/SLA) [6,14]. Проведена систематизация подходов — от классических статистических моделей до современных нейросетевых архитектур — и определены требования к их операционному применению в условиях многомасштабной сезонности, всплесков нагрузки и дрейфа данных [13].

Структурно-аналитический разбор

Элемент	Наличие (Да/Частично/Нет)	Цитата (фрагмент)	Краткий комментарий
Актуальность	Да	«Рост цифровых сервисов... прогнозирование входящего трафика становится ключевым элементом инженерной практики»; «В облачных средах даже небольшое снижение ошибки прогноза приводит к существенной экономии...»	Аргументация значимости дана системно (технико-экономическая, операционная, безопасность).
Цель	Да	«Цель данной работы — разработать и оценить методы прогнозирования входящего трафика веб-приложения...»	Цель сформулирована явно.
Задачи	Частично	«Для достижения цели рассматриваются и сопоставляются детерминированные и вероятностные подходы...»	Конкретного перечня задач нет; имеются направления работ в виде глаголов общего характера.
Объект	Да	«входящего трафика веб-приложения»	Объект можно вывести из аннотации и введения.
Предмет	Частично	«прогнозирование временного ряда входящих запросов y_t с горизонтом h ... с учетом... X_t »	Определение предметной области задано через формулировку задачи; термин «предмет» не обозначен явно.

Методология (данные, протокол, методы, метрики/статистика)	Частично	Методы: «SARIMA/ETS... Prophet/TBATS, рекуррентные и трансформерные архитектуры»; Протокол: «кросс-валидацией по времени»; Метрики: «WAPE/sMAPE/RMSE... калибровка вероятностных интервалов»	Источник/объем/период данных не указаны; гиперпараметры, схемы разбиений, статистические тесты — отсутствуют.
Результаты (таблицы/рисунки/текст)	Нет	«Показано, что включение календарных признаков и ансамбли повышают точность...»	Заявлено в аннотации, но в тексте нет эмпирических результатов, таблиц, графиков или ссылок на них.
Обсуждение	Нет	нет явной формулировки	Раздел «Обсуждение» отсутствует; интерпретации результатов не представлены.
Выводы	Да	«Закключение... Проведена систематизация подходов... определены требования к их операционному применению...»	Имеется итоговый раздел с обобщениями.
Ограничения/ угрозы валидности	Частично	«дрейф распределений, неполнота и задержки данных»; «редкие, но экстремальные значения»	Угрозы упомянуты, но нет отдельного анализа ограничений и планов смягчения.
Воспроизводимость (код/данные/параметры)	Нет	нет явной формулировки	Код/датасеты/параметры для экспериментов по прогнозированию не представлены. (Наличие HTML-лендинга этому не соответствует.)
Список	Частично	Блок «Список использованных	Источники

литературы (полнота/стиль)		источников» с DOI/URL	релевантны и современные; оформление не по ГОСТ (нет единообразия, отсутствуют сведения по ГОСТ для книг/статей, язык, выходные данные).
Этические/правовые аспекты	Нет	нет явной формулировки	Нет описания политик данных, приватности, лицензий; упоминания SLO/SLA не заменяют этических аспектов.

Выявление ключевых элементов (краткие выдержки)

Актуальность

Цитаты:

«...прогнозирование входящего трафика становится ключевым элементом инженерной практики...»

«В облачных средах даже небольшое снижение ошибки прогноза приводит к существенной экономии...»

Интерпретация: Автор обосновывает практическую значимость задач прогнозирования для устойчивости и экономической эффективности веб-систем.

Цель

Цитаты:

«Цель данной работы — разработать и оценить методы прогнозирования входящего трафика веб-приложения...»

Интерпретация: Цель включает как разработку/оценку методов, так и фокус на промышленную применимость.

Задачи

Цитаты:

«рассматриваются и сопоставляются детерминированные и вероятностные подходы...»

«...стратегия инкорпорации экзогенных признаков X_t , и методики оценки качества...»

Интерпретация: Намечены направления работы (сравнение моделей, учет признаков, оценка качества), но нет формализованного перечня задач с критериями приемки.

Объект

Цитата:

«входящего трафика веб-приложения»

Интерпретация: Объектом исследования являются процессы изменения интенсивности входящего трафика.

Предмет

Цитата:

«прогнозирование временного ряда входящих запросов y_t с горизонтом h и дискретизацией Δt ...»

Интерпретация: Предмет — методы и процедуры прогнозирования с экзогенными регрессорами.

Методология

Цитаты:

«...SARIMA/ETS, модели в пространстве состояний, Prophet/TBATS, рекуррентные и трансформерные архитектуры»

«...кросс-валидацией по времени»; «...метрикам WAPE/sMAPE/RMSE и... калибровка...»

Интерпретация: Заявлен широкий методический спектр и подход к валидации; однако отсутствуют описания данных, подготовка, настройки и статистическая проверка.

Результаты

Цитата:

«Показано, что включение календарных признаков и ансамбли повышают точность и калибровку квантилей.»

Интерпретация: Имеется декларативное утверждение без представления эмпирических доказательств, визуализаций или числовых сравнений.

Выводы

Цитаты:

«Проведена систематизация подходов — от классических... до современных нейросетевых архитектур — и определены требования к их операционному применению...»

Интерпретация: Выводы носят обзорно-методический характер; конкретные количественные итоговые оценки отсутствуют.

Проверка логики и корректности

Связность цепочки:

«Актуальность → цель» — согласованы и логичны.

«Цель → задачи → методология» — задачи сформулированы имплицитно; методология частично представлена без данных/протоколов, что разрывает цепочку. «Методология → результаты → выводы» — отсутствуют представленные результаты; выводы опираются на декларации, а не на воспроизводимые эксперименты.

Противоречия:

Смещение тематик: раздел «Лендинг» описывает «визуализацию ландшафта и растительности на базе Godot», что тематически не связано с прогнозированием трафика. Это нарушает тематическую целостность работы.

Математическая нотация: используются конструкции « y_t », « h », « Δt », « $p(y_{t+h} | y_t, X_{t+h})$ » без единообразного оформления, нумерации формул и расшифровки обозначений в теле статьи.

«Результаты» vs «Выводы»: формулировка «Показано, что...» без демонстрации эмпирических данных — это вывод без результатов.

Метрики и статистика:

Метрики (WAPЕ, sMAPE, RMSE) уместны, упомянута калибровка интервалов; однако отсутствуют доверительные интервалы, тесты значимости, анализ чувствительности/абляции.

Воспроизводимость:

Не приведены источники данных, периоды наблюдений, параметры моделей, коды; схемы кросс-валидации описаны общо. Воспроизводимость на текущем уровне — отсутствует.

Оценка на соответствие ГОСТ и академическим стандартам

Наличие: аннотация — есть (рус/англ); ключевые слова — отсутствуют; УДК — отсутствует.

Структура разделов: «Введение» — есть; «Материалы и методы» — отсутствует; «Результаты» — отсутствует; «Обсуждение» — отсутствует; «Заключение» — есть. Есть внепрофильные разделы («Лендинг», не связанный с темой статьи).

Формулы: отсутствует единообразное оформление, нумерация, расшифровка символов при первом упоминании по ГОСТ; обозначения встречаются фрагментарно.

Таблицы/рисунки: упоминание «Диаграмма UML» без стандартизованных подписей, нумерации и ссылок в тексте; графические/табличные результаты экспериментов — отсутствуют.

Список литературы: содержателен и релевантен, включает DOI/URL; оформление не по ГОСТ (нет единого стиля, недостаёт обязательных элементов для книг/статей, нет унификации языка/транслитерации).

Этические/правовые аспекты: не раскрыты (политики данных, лицензии, приватность).

Влияние: нарушения структуры и оформления, отсутствие результатов и воспроизводимости существенно снижают научную добросовестность и читабельность, препятствуя оценке новизны и практической ценности.

Приоритетные рекомендации по доработке (чек-лист)

Ввести раздел «Материалы и методы»: описать источник(и) данных, период, дискретизацию, объём, предобработку, экзогенные признаки, протокол экспериментов (rolling/blocked CV), горизонты прогнозов, процедуры подбора гиперпараметров.

Добавить раздел «Результаты»: представить количественные сравнения моделей на тестовых срезах, таблицы метрик (WAPE, sMAPE, RMSE), графики прогнозов и калибровки (QQ/ПИ-покрытие), анализ абляций (вклад календарных признаков и ансамблей).

Подготовить «Обсуждение»: интерпретировать результаты, рассмотреть практические импликации для авто-масштабирования, сопоставить с литературой.

Развернуть подраздел «Ограничения»: дрейф, редкие экстремумы, неполнота телеметрии; предложить стратегии смягчения (конформное предсказание, робастные потери, мониторинг).

Обеспечить воспроизводимость: опубликовать код (репозиторий), версии ПО, фиксировать случайные зерна, конфигурации моделей, схемы разбиений, ссылки/лицензии на данные или синтетические генераторы. Привести математические обозначения и формулы к единому стилю: ввести словарь символов, при необходимости нумерацию формул и ссылки в тексте. Привести список литературы к единому стилю (ГОСТ Р 7.0.5/7.0.100): полные выходные данные, единообразие регистра/языка, указание DOI; разделить книги/статьи/конференции. Добавить «Ключевые слова», «УДК» и служебные атрибуты оформления, актуальные для курсовой/статьи.

Исключить или вынести в приложение раздел «Лендинг» (он тематически не связан с задачей прогнозирования трафика) либо заменить на демонстрационный прототип интерфейса системы прогнозирования. Исправить опечатки и OCR-артефакты («иаграмма», «стратегия», др.), унифицировать терминологию (например, «прогнозирование»). Уточнить MLOps-контур: регламенты мониторинга, пороги деградации, расписание переобучения, интеграция с оркестратором (интерфейсы, форматы).

Добавить этические/правовые аспекты: политика работы с данными, приватность, безопасность, лицензии, ограничения использования.

Краткий итог

Текст демонстрирует высокую актуальность темы и корректно сформулированную цель, а также широкий обзор методов, однако не содержит эмпирических результатов, полноценно описанной методологии и воспроизводимых экспериментов. Структура статьи неполная: отсутствуют разделы «Материалы и методы», «Результаты» и «Обсуждение», а раздел «Лендинг» тематически не согласован с предметом исследования. Для достижения уровня академической публикательности необходимо представить данные и протокол, выполнить и задокументировать эксперименты с метриками и проверками значимости, оформить материал по стандартам ГОСТ и обеспечить воспроизводимость. Главные шаги: методология → результаты → обсуждение, унификация оформления и устранение тематических несоответствий.

Список использованных источников

- 1) Rob J. Hyndman, George Athanasopoulos (2021). *Forecasting: Principles and Practice* (3rd ed.). OTexts.
- 2) Rob J. Hyndman, Anne B. Koehler, J. Keith Ord, Ralph D. Snyder (2002). A state space framework for automatic forecasting using exponential smoothing methods. *International Journal of Forecasting*, 18(3), 439–454. DOI: 10.1016/S0169-2070(01)00110-8
- 3) Hyndman, R. J., Koehler, A. B., Ord, J. K., Snyder, R. D. (2008). *Forecasting with Exponential Smoothing: The State Space Approach*. Springer. DOI: 10.1007/978-3-540-71918-2
- 4) Hyndman, R. J., Koehler, A. B., Ord, J. K., Snyder, R. D., De Livera, A. M. (2011). Forecasting time series with complex seasonal patterns using exponential smoothing (TBATS). *Journal of the American Statistical Association*, 106(496), 1513–1527. DOI: 10.1198/jasa.2011.tm09771
- 5) Sean J. Taylor, Benjamin Letham (2018). Forecasting at Scale. *The American Statistician*, 72(1), 37–45. DOI: 10.1080/00031305.2017.1380080
- 6) Tilmann Gneiting, Matthias Katzfuss (2014). Probabilistic Forecasting. *Annual Review of Statistics and Its Application*, 1, 125–151. DOI: 10.1146/annurev-statistics-062713-085831
- 7) Rob J. Hyndman, Anne B. Koehler (2006). Another look at measures of forecast accuracy. *International Journal of Forecasting*, 22(4), 679–688. DOI: 10.1016/j.ijforecast.2006.03.001
- 8) Spyros Makridakis, Evangelos Spiliotis, Vassilios Assimakopoulos (2018). The M4 Competition: Results, findings, conclusion and way forward. *International Journal of Forecasting*, 34(4), 802–808. DOI: 10.1016/j.ijforecast.2018.06.001
- 9) David Salinas, Valentin Flunkert, Jan Gasthaus, Tim Januschowski (2020). DeepAR: Probabilistic forecasting with autoregressive recurrent networks. *International Journal of Forecasting*, 36(3), 1181–1191. DOI: 10.1016/j.ijforecast.2019.07.001
- 10) Bryan Lim, Sercan O. Arik, Nicolas Loeff, Tomas Pfister (2021). Temporal Fusion Transformers for interpretable multi-horizon time series forecasting. *International Journal of Forecasting*, 37(4), 1748–1764. DOI: 10.1016/j.ijforecast.2021.03.012
- 11) Boris Oreshkin, Dmitri Carpov, Nicolas Chapados, Yoshua Bengio (2020). N-BEATS: Neural basis expansion analysis for interpretable time series forecasting. *International Conference on Learning Representations (ICLR)*.
- 12) Haoyi Zhou, Shanghang Zhang, Jieqi Peng, Shuai Zhang, Jianxin Li, Hui Xiong, Wancai Zhang (2021). Informer: Beyond efficient transformer for long sequence time-series forecasting. *AAAI Conference on Artificial Intelligence*.

DOI: 10.1609/aaai.v35i12.17325

- 13) Mark E. Crovella, Azer Bestavros (1997). Self-Similarity in World Wide Web Traffic: Evidence and Possible Causes. IEEE/ACM Transactions on Networking, 5(6), 835–846.

DOI: 10.1109/90.650143

Полный текст (author version):

<http://www.cs.bu.edu/faculty/crovella/paper-archive/ton97.pdf>

- 14) Maria C. Lorigo-Botran, Jose Miguel-Alonso, Jose A. Lozano (2014). A Review of Auto-scaling Techniques for Elastic Applications in Cloud Environments. Journal of Grid Computing, 12, 559–592.

DOI: 10.1007/s10723-014-9311-2

- 15) George E. P. Box, Gwilym M. Jenkins, Gregory C. Reinsel, Greta M. Ljung (2015). Time Series Analysis: Forecasting and Control (5th ed.). Wiley.

Приложения

Приложение А

index.html

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="ru">
<head>
  <meta charset="utf-8" />
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1" />
  <title>TimeSeriesForecaster – визуализация ландшафта и растительности на
Godot</title>
  <meta name="description" content="TimeSeriesForecaster – продукт для визуализации
ландшафта и травы в реальном времени на базе Godot, с использованием карт высот и
типов травы." />
  <meta name="theme-color" content="#0b1f32" />
  <style>
    :root{
      --bg: #ffffff;
      --bg-alt:#f6f8fa;
      --text:#0b1f32;
      --muted:#66738a;
      --accent:#2a7de1;
      --accent-2:#1a5bb3;
      --ok:#0ea37a;
      --danger:#cc3e3e;
      --card:#ffffff;
      --shadow: 0 8px 24px rgba(11,31,50,.08);
      --radius:14px;
      --radius-sm:10px;
      --container: 1100px;
    }
    @media (prefers-color-scheme: dark){
      :root{
        --bg:#0a0f16;
        --bg-alt:#0f1623;
        --text:#e9eef6;
        --muted:#a7b2c4;
        --card:#121a28;
        --shadow: 0 10px 30px rgba(0,0,0,.35);
      }
    }
    *,*::before,*::after{box-sizing:border-box}
    html,body{height:100%}
    body{
      margin:0;
      font-family: -apple-system, BlinkMacSystemFont, "Segoe UI", Roboto, Inter,
"Helvetica Neue", Arial, "Noto Sans", "Apple Color Emoji","Segoe UI Emoji","Segoe UI
Symbol";
      color:var(--text);
      background:var(--bg);
      line-height:1.6;
      -webkit-font-smoothing:antialiased;
      -moz-osx-font-smoothing:grayscale;
      overflow-x:hidden;
    }
    a{color:var(--accent);text-decoration:none}
    a:hover{text-decoration:underline}
    .container{max-width:var(--container); margin:0 auto; padding:0 20px}
    /* Header */
    header.site-header{
      position:sticky; top:0; z-index:50;
      background:rgba(255,255,255,.9);
```

```

        backdrop-filter:saturate(180%) blur(10px);
        border-bottom:1px solid rgba(0,0,0,.06);
    }
    @media (prefers-color-scheme: dark){
        header.site-header{background:rgba(10,15,22,.65); border-bottom:1px solid
rgba(255,255,255,.06)}
    }
    .nav{
        display:flex; align-items:center; justify-content:space-between;
        min-height:64px;
    }
    .brand{
        display:flex; align-items:center; gap:12px; font-weight:700;
letter-spacing:.2px;
    }
    .logo{
width:34px;height:34px;border-radius:8px;display:inline-grid;place-items:center;
        background:linear-gradient(135deg, var(--accent), var(--accent-2));
        color:white; font-size:18px; box-shadow:var(--shadow)
    }
    .nav-links{
        display:flex; gap:16px; align-items:center;
    }
    .nav-links a{
        color:var(--text); font-weight:500; padding:8px 10px; border-radius:8px;
    }
    .nav-links a:hover{background:var(--bg-alt); text-decoration:none}
    .menu-btn{display:inline-flex; background:none; border:none; padding:8px;
border-radius:10px}
    .menu-btn svg{width:26px;height:26px;color:var(--text)}
    .menu-btn:focus{outline:2px solid var(--accent)}
    /* Mobile menu */
    .nav-links.mobile{
        position:fixed; inset:64px 0 auto 0; background:var(--card);
        border-bottom:1px solid rgba(0,0,0,.06);
        transform:translateY(-8px); opacity:0; pointer-events:none;
        display:grid; gap:8px; padding:16px 20px;
        box-shadow:var(--shadow);
    }
    .nav-links.mobile.open{transform:translateY(0); opacity:1; pointer-events:auto}
    @media(min-width:880px){
        .menu-btn{display:none}
        .nav-links.desktop{display:flex}
        .nav-links.mobile{display:none}
    }
    @media(max-width:879px){
        .nav-links.desktop{display:none}
    }
    /* Hero */
    .hero{
        padding:56px 0 28px;
    }
    .hero .wrap{
        display:grid; gap:24px;
    }
    .kicker{color:var(--muted); text-transform:uppercase; letter-spacing:.14em;
font-size:.82rem}
    h1{font-size:clamp(1.7rem, 3.6vw, 3rem); line-height:1.2; margin:.2rem 0}
    .lead{font-size:1.05rem; color:var(--muted)}
    .cta{
        display:flex; gap:12px; flex-wrap:wrap; margin-top:8px

```

```

    }
    .btn{
        appearance:none; border:1px solid transparent; background:var(--accent);
color:white;
        padding:12px 16px; border-radius:12px; font-weight:600; cursor:pointer;
        box-shadow:0 6px 18px rgba(42,125,225,.25);
    }
    .btn.secondary{background:transparent; border-color:var(--accent);
color:var(--accent); box-shadow:none}
    .btn:focus{outline:2px solid var(--accent-2)}
    /* Sections */
    section{padding:40px 0}
    .card{
        background:var(--card); border-radius:var(--radius); box-shadow:var(--shadow);
padding:18px;
    }
    /* Features */
    .features{
        display:grid; gap:14px;
    }
    .feature{
        display:grid; gap:6px; border:1px solid rgba(0,0,0,.06); border-radius:12px;
padding:14px;
        background:linear-gradient(180deg, rgba(42,125,225,.06), transparent);
    }
    .feature h3{margin:0; font-size:1.02rem}
    .feature p{margin:0; color:var(--muted); font-size:.98rem}
    @media(min-width:720px){
        .features{grid-template-columns: repeat(3, 1fr)}
    }
    /* Demo */
    .demo-grid{
        display:grid; gap:16px;
    }
    @media(min-width:920px){
        .demo-grid{grid-template-columns: 1.2fr .8fr; align-items:stretch}
    }
    .canvas-wrap{
        position:relative; aspect-ratio: 16/10; min-height:260px;
border-radius:var(--radius); overflow:hidden;
        border:1px solid rgba(0,0,0,.08); background:linear-gradient(180deg,
var(--bg-alt), var(--card));
    }
    #grassCanvas{width:100%;height:100%; display:block}
    .overlay-badge{
        position:absolute; top:10px; left:10px; font-size:.8rem; color:white;
background:rgba(0,0,0,.45);
        padding:6px 10px; border-radius:999px; backdrop-filter:blur(6px)
    }
    .controls{
        display:grid; gap:12px; align-content:start
    }
    .ctrl{display:grid; gap:6px}
    .ctrl label{font-weight:600}
    .ctrl .row{display:flex; align-items:center; gap:10px;
justify-content:space-between}
    input[type="range"], input[type="number"]{
        width:100%;
        accent-color:var(--accent);
    }
    .hint{font-size:.86rem; color:var(--muted)}
    .toggle{display:inline-flex; gap:8px; align-items:center}

```

```

/* About */
.about-grid{display:grid; gap:14px}
@media(min-width:860px){.about-grid{grid-template-columns: 1fr 1fr}}
.stats{display:flex; gap:14px; flex-wrap:wrap}
.stat{padding:12px 14px; border-radius:12px; border:1px dashed rgba(0,0,0,.12)}
.stat b{font-size:1.1rem}
/* Contact */
form{
  display:grid; gap:12px
}
input, textarea{
  border-radius:10px; border:1px solid rgba(0,0,0,.15); padding:12px;
background:var(--bg);
  color:var(--text); font-size:1rem;
}
input:focus, textarea:focus{outline:2px solid var(--accent)}
textarea{min-height:120px; resize:vertical}
.form-row{display:grid; gap:12px}
@media(min-width:680px){.form-row{grid-template-columns:1fr 1fr}}
.form-msg{font-size:.92rem}
.form-msg.ok{color:var(--ok)}
.form-msg.err{color:var(--danger)}
/* Footer */
footer{
  padding:26px 0 40px; color:var(--muted)
}
.footer-grid{
  display:flex; justify-content:space-between; gap:16px; flex-wrap:wrap;
align-items:center
}
/* Utilities */
.sr-only{
  position:absolute!important; width:1px; height:1px; padding:0; margin:-1px;
overflow:hidden; clip:rect(0,0,0,0); border:0;
}
</style>
</head>
<body>
  <a class="sr-only" href="#main">Перейти к основному содержимому</a>

  <header class="site-header" role="banner">
    <div class="container nav" aria-label="Основная навигация">
      <div class="brand">
        <span class="logo" aria-hidden="true">TS</span>
        <span>TimeSeriesForecaster</span>
      </div>
      <nav>
        <button class="menu-btn" id="menuBtn" aria-controls="mobileMenu"
aria-expanded="false" aria-label="Открыть меню">
          <svg viewBox="0 0 24 24" fill="none" stroke="currentColor"
stroke-width="2">
            <path d="M3 6h18M3 12h18M3 18h18"/>
          </svg>
        </button>
        <div class="nav-links desktop">
          <a href="#features">Возможности</a>
          <a href="#demo">Демо</a>
          <a href="#about">О проекте</a>
          <a href="#contact">Обратная связь</a>
        </div>
        <div class="nav-links mobile" id="mobileMenu">
          <a href="#features">Возможности</a>

```

```

        <a href="#demo">Демо</a>
        <a href="#about">О проекте</a>
        <a href="#contact">Обратная связь</a>
    </div>
</nav>
</div>
</header>

<main id="main">
    <section class="hero">
        <div class="container wrap">
            <p class="kicker">Godot • Ландшафт • Трава</p>
            <h1>TimeSeriesForecaster – визуализация ландшафта и растительности на базе
карт высот и типов травы</h1>
            <p class="lead">
                Программный продукт для разработчиков игр и симуляторов окружения.
                Ландшафт строится по заранее
                созданной карте высот, а размещение чанков травы – по сгенерированной карте
                типов травы. Каждый чанк
                содержит тысячи травинок, расположенных случайно, что обеспечивает
                естественный, спорадический вид.
            </p>
            <div class="cta">
                <a class="btn" href="#demo">Смотреть демо</a>
                <a class="btn secondary" href="#features">Изучить возможности</a>
            </div>
        </div>
    </section>

    <section id="features">
        <div class="container">
            <div class="card">
                <h2>Возможности</h2>
                <div class="features" role="list">
                    <article class="feature" role="listitem">
                        <h3>Карта высот</h3>
                        <p>Построение рельефа по heightmap с поддержкой уровней детализации и
корректного освещения.</p>
                    </article>
                    <article class="feature" role="listitem">
                        <h3>Чанки травы</h3>
                        <p>Разделение сцены на чанки с тысячами травинок в каждом для
эффективного рендеринга.</p>
                    </article>
                    <article class="feature" role="listitem">
                        <h3>Типы травы</h3>
                        <p>Генерация карты типов травы с разными цветовыми тонами, высотой и
плотностью.</p>
                    </article>
                    <article class="feature" role="listitem">
                        <h3>Случайное размещение</h3>
                        <p>Семплирование позиций внутри чанков даёт естественную спорадическую
структуру покрова.</p>
                    </article>
                    <article class="feature" role="listitem">
                        <h3>Производительность</h3>
                        <p>Оптимизации под Godot: батчинг, отсечение, LOD и настраиваемая
плотность травы.</p>
                    </article>
                    <article class="feature" role="listitem">
                        <h3>Интеграция</h3>

```

```

        <p>Чистый API и экспорт данных для пайплайнов в игровых и
        симуляционных проектах.</p>
    </article>
</div>
</div>
</div>
</section>

<section id="demo">
    <div class="container">
        <div class="card">
            <h2>Демо-с е к ц и я</h2>
            <p class="hint">Упрощённая веб-д е м о н с т р а ц и я принципов: чанки,
            плотность травы, карты типов и ветер.</p>
            <div class="demo-grid">
                <div class="canvas-wrap">
                    <canvas id="grassCanvas" aria-label="Демонстрация травы на
                    чанках"></canvas>
                    <span class="overlay-badge" id="overlayInfo">0 чанков • 0
                    травинок</span>
                </div>
                <div class="controls">
                    <div class="ctrl">
                        <label for="density">Плотность травы</label>
                        <div class="row">
                            <input id="density" type="range" min="300" max="4000" step="100"
                            value="1600" />
                            <span id="densityVal" aria-live="polite">1600</span>
                        </div>
                        <p class="hint">Количество травинок на сцену (динамический LOD
                        включён на мобильных).</p>
                    </div>
                    <div class="ctrl">
                        <label for="chunk">Размер чанка (px)</label>
                        <div class="row">
                            <input id="chunk" type="range" min="40" max="120" step="10"
                            value="80" />
                            <span id="chunkVal" aria-live="polite">80</span>
                        </div>
                    </div>
                    <div class="ctrl">
                        <label for="wind">Скорость ветра</label>
                        <div class="row">
                            <input id="wind" type="range" min="0" max="2" step="0.1"
                            value="1.0" />
                            <span id="windVal" aria-live="polite">1.0x</span>
                        </div>
                    </div>
                    <div class="ctrl">
                        <label for="seed">Seed</label>
                        <div class="row">
                            <input id="seed" type="number" value="1337" min="0" max="999999" />
                            <button class="btn secondary" id="reroll"
                            type="button">Reroll</button>
                        </div>
                        <p class="hint">Повторяемая генерация карты типов травы и
                        распределения травинок.</p>
                    </div>
                    <div class="ctrl">
                        <span class="toggle">
                            <input type="checkbox" id="animate" checked />
                            <label for="animate">Анимация ветра</label>

```



```

    <div class="card">
      <h2>Обратная связь</h2>
      <p class="hint">Расскажите о вашем проекте – мы свяжемся и предложим
демо-с б о р к у под вашу сцену.</p>
      <form id="contactForm" novalidate>
        <div class="form-row">
          <div>
            <label for="name">Имя</label>
            <input id="name" name="name" type="text" placeholder="Иван Петров"
required />
          </div>
          <div>
            <label for="email">Email</label>
            <input id="email" name="email" type="email"
placeholder="you@company.com" required />
          </div>
          <div>
            <label for="message">Сообщение</label>
            <textarea id="message" name="message" placeholder="Кратко опишите
задачу..." required></textarea>
          </div>
          <div class="form-row">
            <div>
              <span class="toggle">
                <input type="checkbox" id="agree" required />
                <label for="agree">Согласен(на) на обработку данных</label>
              </span>
            </div>
            <div style="text-align:right">
              <button class="btn" type="submit">Отправить</button>
            </div>
          </div>
          <div class="form-msg" id="formMsg" aria-live="polite"></div>
        </form>
      </div>
    </div>
  </section>
</main>

<footer>
  <div class="container footer-grid">
    <div>&copy; <span id="year"></span> TimeSeriesForecaster</div>
    <div>Минимализм • Корпоративный стиль • HTML5/CSS/JS</div>
  </div>
</footer>

<script>
  // Utilities
  const $ = (s, d=document)=>d.querySelector(s);
  const $$ = (s, d=document)=>Array.from(d.querySelectorAll(s));

  // Navigation (mobile)
  (function nav(){
    const btn = $('#menuBtn');
    const menu = $('#mobileMenu');
    btn?.addEventListener('click', ()=>{
      const open = !menu.classList.contains('open');
      menu.classList.toggle('open', open);
      btn.setAttribute('aria-expanded', String(open));
    });
  });
  // Close on link click

```

```

    $('#mobileMenu a').forEach(a=>a.addEventListener('click', ()=>{
        menu.classList.remove('open'); btn.setAttribute('aria-expanded', 'false');
    }));
})();

// Footer year
$('#year').textContent = new Date().getFullYear();

// Seeded PRNG (Mulberry32)
function mulberry32(a){return function(){let
t=a+=0x6D2B79F5;t=Math.imul(t^t>>>15,t|1);t^=t+Math.imul(t^t>>>7,t|61);return
((t^t>>>14)>>>0)/4294967296}}
// Simple value noise for faux-heightmap
function valueNoise(x, y, rnd){
    const xi = Math.floor(x), yi = Math.floor(y);
    const frac = (t)=>t*t*(3-2*t);
    const g = (i,j)=>{ const r = Math.sin((i*374761393 + j*668265263) ^ 0x5bf03635)
* 43758.5453; return r - Math.floor(r) }
    const x1 = g(xi,yi), x2=g(xi+1,yi), x3=g(xi,yi+1), x4=g(xi+1,yi+1);
    const u = frac(x-xi), v=frac(y-yi);
    const a = x1*(1-u)+x2*u;
    const b = x3*(1-u)+x4*u;
    return a*(1-v)+b*v;
}

// Demo rendering
(function demo(){
    const canvas = $('#grassCanvas');
    const overlay = $('#overlayInfo');
    const densityEl = $('#density'), chunkEl = $('#chunk'), windEl = $('#wind'),
seedEl = $('#seed');
    const animateEl = $('#animate'), showGridEl = $('#showGrid');
    const rerollBtn = $('#reroll'), resetBtn = $('#resetCam');
    const densityVal = $('#densityVal'), chunkVal = $('#chunkVal'), windVal =
$('#windVal');

    const state = {
        density: +densityEl.value,
        chunk: +chunkEl.value,
        wind: +windEl.value,
        animate: animateEl.checked,
        showGrid: showGridEl.checked,
        seed: +seedEl.value,
        time: 0,
        maxBlades: (window.devicePixelRatio>1 || window.innerWidth<480) ? 2500 : 5000
    };

    // Resize canvas to container size / DPR
    function resizeCanvas(){
        const dpr = Math.min(2, window.devicePixelRatio || 1);
        const rect = canvas.getBoundingClientRect();
        canvas.width = Math.floor(rect.width * dpr);
        canvas.height = Math.floor(rect.height * dpr);
        const ctx = canvas.getContext('2d');
        ctx.setTransform(dpr,0,0,dpr,0,0);
        render(true);
    }
    window.addEventListener('resize', resizeCanvas, {passive:true});

    // Generate grass type map (per-chunk hue and base height)
    function generateTypeMap(cols, rows, seed){
        const rnd = mulberry32(seed);

```

```

const map = [];
for(let y=0;y<rows;y++){
  const row=[];
  for(let x=0;x<cols;x++){
    const nx = x/cols*3, ny = y/rows*3;
    const n = valueNoise(nx, ny, rnd);
    const type = {
      hue: 90 + Math.floor(n*30) + Math.floor(rnd()*10-5), //
greenish variation
      light: 35 + Math.floor(n*10), //
lightness
      height: 12 + Math.floor(n*10), //
blade height
      densityFactor: .7 + n*.6 //
per-chunk density multiplier
    };
    row.push(type);
  }
  map.push(row);
}
return map;
}

// Prepare scene layout
function layout(){
  const rect = canvas.getBoundingClientRect();
  const cols = Math.max(1, Math.floor(rect.width / state.chunk));
  const rows = Math.max(1, Math.floor(rect.height / state.chunk));
  const typeMap = generateTypeMap(cols, rows, state.seed);
  const totalChunks = cols*rows;
  // blade count capped by maxBlades & density
  const targetBlades = Math.min(state.density, state.maxBlades);
  // distribute blades across chunks proportionally to densityFactor
  const factors = typeMap.flat().map(t=>t.densityFactor);
  const sumF = factors.reduce((a,b)=>a+b,0);
  const bladesPerChunk = typeMap.map(row=>row.map((t)=>Math.max(0,
Math.floor(targetBlades * t.densityFactor / sumF))));
  return {cols, rows, typeMap, bladesPerChunk, width:rect.width,
height:rect.height};
}

// Draw a single frame
function drawFrame(ctx, scene){
  const {cols, rows, typeMap, bladesPerChunk, width, height} = scene;
  // background (pseudo heightmap)
  const grd = ctx.createLinearGradient(0,0,0,height);
  grd.addColorStop(0,'#89a7c2');
  grd.addColorStop(.5,'#b7cadb');
  grd.addColorStop(.5,'#8bb174');
  grd.addColorStop(1,'#6ea460');
  ctx.fillStyle = grd;
  ctx.fillRect(0,0,width,height);

  // terrain shading stripes to mimic heightmap
  ctx.globalAlpha = .08;
  for(let i=0;i<12;i++){
    ctx.fillStyle = i%2? '#000' : '#fff';
    ctx.fillRect(0, (i/12)*height, width, 2);
  }
  ctx.globalAlpha = 1;

  // grid & grass

```

```

const rnd = mulberry32(state.seed);
const chunkW = width/cols, chunkH = height/rows;
const t = state.time;

if(state.showGrid){
  ctx.strokeStyle = 'rgba(0,0,0,.12)';
  for(let c=1;c<cols;c++){ctx.beginPath(); ctx.moveTo(c*chunkW,0);
ctx.lineTo(c*chunkW,height); ctx.stroke();}
  for(let r=1;r<rows;r++){ctx.beginPath(); ctx.moveTo(0,r*chunkH);
ctx.lineTo(width,r*chunkH); ctx.stroke();}
}

ctx.lineWidth = 1;
let bladeCounter = 0;
for(let r=0;r<rows;r++){
  for(let c=0;c<cols;c++){
    const type = typeMap[r][c];
    const nBlades = bladesPerChunk[r][c];
    if(nBlades<=0) continue;
    const baseHue = type.hue, baseLight = type.light;
    for(let i=0;i<nBlades;i++){
      // Random position inside chunk (deterministic by sequence)
      const rx = rnd(), ry=rnd();
      const x = c*chunkW + rx*chunkW;
      const y = r*chunkH + ry*chunkH;

      // blade properties
      const h = type.height * (0.8 + rnd()*0.4);
      const sway = Math.sin((x*0.02 + y*0.01) + t*state.wind*1.2) * (2 +
state.wind*1.8);
      const lean = (rnd()-0.5)*1.0 + sway*0.5;

      // color variation by local "type"
      const sat = 60 + Math.floor(rnd()*10);
      const light = baseLight + Math.floor(rnd()*6-3);
      ctx.strokeStyle = `hsl(${baseHue}, ${sat}%, ${light}%)`;

      // draw blade as a 2-segment polyline
      ctx.beginPath();
      ctx.moveTo(x, y);
      const midX = x + lean;
      const tipX = x + sway;
      ctx.lineTo(midX, y - h*0.6);
      ctx.lineTo(tipX, y - h);
      ctx.stroke();

      bladeCounter++;
      if(bladeCounter > state.maxBlades) break;
    }
    if(bladeCounter > state.maxBlades) break;
  }
  if(bladeCounter > state.maxBlades) break;
}
overlay.textContent = `${cols*rows} чанков •
${bladeCounter.toLocaleString('ru-RU')} травинок`;
}

let scene = null;
let rafId = null;
function render(force=false){
  const ctx = canvas.getContext('2d');
  if(force || !scene) scene = layout();

```

```

    drawFrame(ctx, scene);
  }
  function tick(ts){
    if(state.animate){ state.time = ts/1000; render(false); }
    rafId = requestAnimationFrame(tick);
  }

  // UI bindings
  function updateLabels(){
    densityVal.textContent = String(state.density);
    chunkVal.textContent = String(state.chunk);
    windVal.textContent = state.wind.toFixed(1)+'x';
  }
  densityEl.addEventListener('input', (e)=>{state.density+=e.target.value;
updateLabels(); render(true)});
  chunkEl.addEventListener('input', (e)=>{state.chunk+=e.target.value;
updateLabels(); render(true)});
  windEl.addEventListener('input', (e)=>{state.wind+=e.target.value;
updateLabels(); render(false)});
  animateEl.addEventListener('change', (e)=>{state.animate=e.target.checked;
if(state.animate){render(true)}});
  showGridEl.addEventListener('change', ()=>render(false));
  seedEl.addEventListener('change', (e)=>{state.seed+=e.target.value;
render(true)});
  rerollBtn.addEventListener('click', ()=>{
    state.seed = Math.floor(Math.random()*1000000);
    seedEl.value = state.seed;
    render(true);
  });
  resetBtn.addEventListener('click', ()=>render(true));

  // Init
  updateLabels();
  resizeCanvas();
  tick(0);
})();

// Contact form (client-side validation)
(function form(){
  const form = $('#contactForm');
  const msg = $('#formMsg');
  function validEmail(v){return /^[^\s@]+@[^\s@]+\.[^\s@]+$/ .test(v)}
  form.addEventListener('submit', (e)=>{
    e.preventDefault();
    msg.textContent = '';
    msg.className = 'form-msg';

    const data = new FormData(form);
    const name = (data.get('name')||'').toString().trim();
    const email = (data.get('email')||'').toString().trim();
    const message = (data.get('message')||'').toString().trim();
    const agree = $('#agree').checked;

    const errors = [];
    if(name.length<2) errors.push('Имя слишком короткое.');
```

```

        return;
    }
    // No backend per requirements – emulate success
    msg.textContent = 'Спасибо! Сообщение отправлено. Мы свяжемся с вами по
email.';
    msg.classList.add('ok');
    form.reset();
  });
})();

// Smooth scrolling for in-page anchors
(function smoothScroll(){
  const links = $$('a[href^="#"]');
  links.forEach(a=>{
    a.addEventListener('click', (e)=>{
      const id = a.getAttribute('href') || '';
      const el = id.length>1 ? $(id) : null;
      if(el){
        e.preventDefault();
        el.scrollIntoView({behavior:'smooth', block:'start'});
      }
    });
  });
})();
</script>
</body>
</html>

```