

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ "ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР "ИНФОРМАТИКА И УПРАВЛЕНИЕ"
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК " (ФИЦ ИУ РАН)

УДК 65.012.226
ВГК ОКП 506190
№ госрегистрации
Инв. №

УТВЕРЖДАЮ
Директор ФИЦ ИУ РАН

_____ Соколов И. А.

_____ 2015 г.

ОТЧЕТ

О ПРИКЛАДНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Исследование и разработка математических методов и алгоритмов для интеллектуальной системы анализа данных (подсистемы прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки)

по теме:

ПРОВЕДЕНИЕ СЕРИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ,
ОБОБЩЕНИЕ И ФОРМИРОВАНИЕ ВЫВОДОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПНИ,
ПОДГОТОВКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО РЕАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПНИ
(итоговый)

Этап 3

Соглашение о предоставлении субсидии от 19 июня 2014 г. № 14.604.21.0041

ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса на 2014-2020 годы»

Приоритетное направление «Транспортные и космические системы»

Руководитель работ

К.В. Рудаков

Москва 2015

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель работ, член-корреспондент РАН

(подпись, дата)

К.В. Рудаков
(разделы 1-6)

Исполнители темы:

Ведущий научный сотрудник, доктор физ.-мат. наук

(подпись, дата)

Стрижов В.В.
(реферат, введение, разделы 1-6, Приложение А, В)

Аспирант

(подпись, дата)

Мотренко А.П.
(разделы 1-6, Приложение А, В)

Аспирант

(подпись, дата)

Кузнецов М.П.
(разделы 1-6, Приложение А, В)

Инженер-исследователь

(подпись, дата)

Титков И.П.
(разделы 1-6, Приложения А-В)

Инженер-исследователь

(подпись, дата)

Каширин Д.О.
(разделы 4-6, заключение, Приложение Б)

Нормоконтролёр
вед.научн.сотр., д.т.н., проф.

(подпись, дата)

А.И. Эрлих

РЕФЕРАТ

Отчёт 146 с., 115 рис., 12 табл., 26 источников.

ВРЕМЕННОЙ РЯД, ГРУЗОВЫЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ, НЕСТАНЦИОНАРНЫЙ ВРЕМЕННОЙ РЯД, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ, РЖД, ФУНКЦИЯ ОШИБКИ, ЭКЗОГЕННЫЙ ФАКТОР.

Объект прикладных научных исследований – объемы спроса на грузовые железнодорожные перевозки, оценка влияния экзогенных факторов на объемы спроса на грузовые железнодорожные перевозки и структура процессов в области управления и планирования грузовых железнодорожных перевозок.

Цель ПНИ: Разработка математической модели прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки, учитывающей влияние экзогенных факторов на объемы спроса на грузовые железнодорожные перевозки, а также специфику бизнес-процессов и нормативов индустриального партнера – ОАО «РЖД».

Методология проведения ПНИ – многофакторный статистический анализ и прогнозирование взаимозависимых временных рядов.

Основные результаты, полученные на третьем этапе ПНИ:

- Разработана программа и методика проведения и проведена серия вычислительных экспериментов по прогнозированию объемов спроса на грузовые железнодорожные с использованием разработанного в рамках ПНИ макета модуля прогнозирования, подтвердивших как адекватность и ожидаемость результатов прогнозов экспертным оценкам, так и более высокое качество прогнозов, даваемых макетом модуля по сравнению с прогнозами по модели ARMA.
- Выполнены обобщения и сделаны выводы по результатам прикладных научных исследований.
- Выработаны предложения, и рекомендации по реализации результатов ПНИ и вовлечению их в хозяйственный оборот РЖД.
- Разработан проект технического задания на выполнение опытно-конструкторских работ по теме: «Проектирование и разработка модулей прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки с учетом экзогенных факторов».

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	10
1 Разработка программы и методики проведения вычислительных экспериментов по прогнозированию объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки с помощью макета модуля прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки	17
1.1 Программа и методика получения оценки адекватности и ожидаемости результатов прогнозов по модельным исходным данным экспертной оценке	17
1.1.1 Программа вычислительных экспериментов.....	18
1.1.2 Методика оценки результатов вычислительных экспериментов	23
1.1.3 Оформление результатов проведения вычислительного эксперимента.....	29
1.2 Программа и методика проведения вычислительных экспериментов для сравнения результатов прогнозирования с контрольной выборкой данных и с аналогичными результатами по модели ARMA.....	34
1.2.1 Программа вычислительных экспериментов.....	35
1.2.2 Методика оценки результатов вычислительных экспериментов	35
1.2.3 Оформление результатов проведения вычислительного эксперимента.....	39
1.3 Выводы	42
2 Проведение серии вычислительных экспериментов по прогнозированию объёмов спроса на грузовые железнодорожные перевозки на модельных исходных данных объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки и экзогенных факторов с помощью макета модуля прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки для подтверждения адекватности и ожидаемости результатов прогноза экспертной оценке.....	43
2.1 Результаты вычислительных экспериментов	43
2.2 Оценка адекватности и ожидаемости результатов прогнозов экспертной оценке.....	104
2.3 Выводы	105

3	Проведение серии вычислительных экспериментов по прогнозированию объёмов спроса на грузовые железнодорожные перевозки с использованием макета модуля прогнозирования объёмов спроса на грузовые железнодорожные перевозки для сравнения значений спрогнозированных объёмов спроса на грузовые железнодорожные перевозки со значениями контрольной выборки данных об объемах спроса на грузовые железнодорожные перевозки и сравнения ошибки прогнозирования предложенной модели с ошибкой прогнозирования модели ARMA на контрольной выборке данных	107
3.1	Результаты вычислительных экспериментов	107
3.2	Оценка ошибок прогнозов, полученных с помощью модуля прогнозирования и по модели ARMA, относительно контрольной выборки данных об объемах спроса на ГП.....	117
3.3	Выводы	118
4	Обобщение и формирование выводов по результатам ПНИ	120
5	Подготовка предложений и рекомендаций по реализации результатов ПНИ, вовлечению их в хозяйственный оборот	122
6	Разработка проекта ТЗ на выполнение ОКР по теме: «Проектирование и разработка модулей прогнозирования объёмов спроса на грузовые железнодорожные перевозки с учетом экзогенных факторов»	125
6.1	Требования к системе.....	126
6.1.1	Требования к структуре и функционированию системы	126
6.1.2	Требования к показателям назначения.....	129
6.2	Требования к функциям (задачам), выполняемым системой	130
6.2.1	Подсистема интеграции	131
6.2.2	Подсистема хранения данных	131
6.2.3	Модуль «Прогнозирование».....	131
6.2.4	Подсистема «Мониторинг»	132
6.2.5	Подсистема исследования влияния экзогенных факторов.....	133
6.2.6	Подсистема управления	134
6.3	Требования к видам обеспечения	134
6.3.1	Требования математическому обеспечению	134

6.3.2	Требования к информационному обеспечению	135
6.3.3	Требования к лингвистическому обеспечению	135
6.3.4	Требования к программному обеспечению	136
6.3.5	Требования к техническому обеспечению	136
6.4	Требования к составу и параметрам технических средств	137
6.5	Требования к информационной и программной совместимости	137
6.6	Выводы	138
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....		139
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....		144
Приложение А.....		147
Приложение Б		183
Приложение В		215

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

Временной ряд	Последовательность значений наблюдаемого процесса, измеренных через равные промежутки времени
Гистограмма	Приближение плотности распределения вероятности случайной величины, построенное по выборке данных
Прогнозирование	Расчет будущих значений наблюдаемого процесса на основе математической модели
Регрессионная модель	Функция от набора независимых переменных, принадлежащая некоторому параметрическому семейству. Параметры модели оптимизируются так, что модель наилучшим образом приближает данные
Ретроспективный прогноз	Вид прогнозирования, используемый для оценки качества метода прогнозирования. Прогноз выполняется на участке ряда, значения которого известны. Качество прогноза оценивается сравнением спрогнозированных значений, с известными значениями
Функция ошибки	Функция, задающая ошибку прогнозирования на основе сравнения прогноза и истинного значения спрогнозированной величины
Экзогенный фактор	Фактор, изменение которого происходит вне моделируемой системы. Временной ряд, описывающий поведение экзогенного фактора, не является производным от временных рядов, описывающих поведение эндогенных факторов
Эндогенный фактор	Фактор, изменение которого происходит внутри моделируемой системы. Здесь это – объёмные показатели групп перевозимых грузов
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	
I_{st}, I_{reg}	Множество индексов пар станций и регионов, соответственно.
i_{st}, i_{reg}	Индексы пар станций $i_{st} \in I_{st}$ и регионов $i_{reg} \in I_{reg}$, соответственно.
$\{ST, REG\}$	Индексы показателей, агрегированных для всех пар станций и регионов соответственно.
K	Множество индексов типов груза.
k	Индекс типа груза, $k \in K$
$t \in \{t_D, t_W, t_M\}$	Отсчеты временного ряда, агрегированного по дням,

	неделям и месяцам, соответственно.
$\{D, W, M\}$	Индексы показателей, агрегированных по дням, неделям и месяцам, соответственно.
T_D, T_W, T_M	Длина временных рядов исторических данных в днях, неделях и месяцах, соответственно.
$\tilde{T}_D, \tilde{T}_W, \tilde{T}_M$	Длина начальных отрезков временных рядов исторических данных (в днях, неделях и месяцах), по которым строится прогноз.
$\hat{T}_D, \hat{T}_W, \hat{T}_M$	Длина отрезков времени (в днях, неделях и месяцах), для которых строится прогнозируемый временной ряд
$\mathbf{x} = \{x_1, \dots, x_T\}$	Временной ряд объемов ГП/ОСГП длиной T /
$x(t, i_{st}, k)$	Значение временного ряда объемов грузоперевозок k -го типа груза для пары станций i_{st}
$\hat{x}(t, i_{st}, k)$	Значение прогноза временного ряда объемов грузоперевозок k -го типа груза для пары станций i_{st}
ARMA	AutoRegressive Moving Average, модель авторегрессии-скользящего среднего
ARIMA	AutoRegressive Integrated Moving Average, интегрированная модель ARMA
Ex VAR	Обозначение двухуровневого алгоритма прогнозирования ARIMA+hist, реализованного в макете модуля прогнозирования объёмов спроса на грузовые железнодорожные перевозки.
hist	Разработанный в ВЦ РАН метод гистограммного прогнозирования (обеспечивает оптимальность свертки построенной гистограммы и функции потерь).
MAE	Mean Average Error, функция ошибки прогнозирования. При ретроспективном прогнозе вычисляется как среднее абсолютное отклонение прогноза от реальных значений прогнозируемого временного ряда.
MAPE	Mean Average Percentage Error, функция ошибки прогнозирования. При ретроспективном прогнозе вычисляется как среднее относительное отклонение прогноза от реальных значений прогнозируемого временного ряда.
VAR	Vector AutoRegression, модель динамики нескольких временных рядов, в которой текущие значения этих рядов зависят от прошлых значений этих же временных рядов.

ГП	Грузовые железнодорожные перевозки.
ОСГП	Объёмы спроса на грузовые железнодорожные перевозки.
РЖД	ОАО «Российские железные дороги»

ВВЕДЕНИЕ

Современное состояние научно-технической проблемы. В рамках исследования были рассмотрены существующие и созданы новые методы краткосрочного прогнозирования временных рядов с целью создания модели прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки (ОСГП). Разделение прогнозов на краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные в различных источниках носит условный характер и зависит от смысла отсчета времени (день, неделя, год) особенностей анализируемого ряда и целей прогноза [1]. В этом ПНИ под краткосрочным прогнозированием подразумевалось выполнение прогноза на период времени от суток до года. Краткосрочное прогнозирование связано в основном с оперативным и текущим планированием производства [2], поэтому при прогнозе учитывались в первую очередь микроэкономические показатели, такие как цены на перевозимую продукцию. В железнодорожной отрасли выделяют долгосрочные прогнозы (на 5–10 и более лет), среднесрочные (на 3–5 лет), текущие (на 1 год) и оперативные (квартальные и месячные) [3]. В зависимости от выбранного типа прогноза меняется номенклатура планируемых грузов и степень детализации планов. Рассматриваемые при долгосрочном и среднесрочном прогнозировании данные содержат информацию по ограниченной групповой номенклатуре грузов. Текущие планы основываются на годовых прогнозах перевозок. Такие прогнозы более детальны и предусматривают разработку плана по основным массовым грузам. Наиболее подробными и точными являются оперативными планы перевозок, в рамках которых выполняется прогнозирование объемов перевозок на квартал и на месяц.

Долгосрочные и среднесрочные прогнозы (построение этих прогностических моделей не входит в цели настоящего исследования) применяются для стратегического планирования, поэтому в них особое внимание уделяется макроэкономическому анализу товарного и транспортного рынков. Макроэкономические параметры используются, например, в [4–6] при создании транспортно-экономических моделей с целью выполнения прогнозов глубиной более года. Например, авторы работы [4] используют поиск конкурентно-транспортного равновесия для создания новых моделей транспортного планирования, включающих модели роста транспортной инфраструктуры городов. В работе [5] предложена модификация модели

конкурентного равновесия для анализа проблем формирования тарифной и инвестиционной политики управления грузовыми железнодорожными перевозками (ГП). В работе [6] для анализа спроса на ГП с учетом тарифов и инвестиций в развитие инфраструктуры предложена транспортная модель, учитывающая функции спроса и предложения перевозимых товаров. Модель разработана для данных, агрегированных по годам, и предназначена для прогнозирования с глубиной не менее года. При стратегическом планировании широко используются системы экспертных оценок, основанные на применении различных аналитических матриц для исследования альтернатив возможного стратегического развития. Важным инструментом стратегического планирования являются транспортно-экономические балансы, обеспечивающих сбалансированность объемов произведенной продукции с их размерами в рассматриваемых территориальных единицах.

Актуальность и новизна темы. Грузовые перевозки обеспечивают свыше 80% общей выручки железнодорожного транспорта [3]. В связи с этим, планирование грузовых перевозок имеет большое практическое значение для производственно-хозяйственного планирования и управления в этой отрасли. В рамках реформы железнодорожного транспорта [7] была проведена отмена предварительных заявок грузоотправителей, грузоотправителям была предоставлена возможность выбора поставщиков и видов транспорта. Эти изменения привели к необходимости прогнозирования спроса на перевозки грузов при планировании перевозок, то есть замене оперативного планирования перевозок их прогнозированием для определения реальных потребностей грузоотправителей в перевозке грузов [3].

Задача прогнозирования спроса на грузовые перевозки была поставлена для оперативного планирования перевозок. Рассмотрена задача прогнозирования нестационарных временных рядов в случае несимметричных функций потерь, учитывающих экспертные оценки потерь при недорогноте и перепрогноте. Один из широко используемых методов прогнозирования нестационарных временных рядов, авторегрессионное интегрированное скользящее среднее ARIMA [8], позволяет с хорошим качеством прогнозировать временные ряды с трендом, а также при небольшой модификации и ряды с сезонной компонентой. Оптимизация параметров этого алгоритма осуществляется путем минимизации квадратичной функции потерь для обеспечения несмещенности прогнозов, а также гомоскедастичности, нормаль-

ности (с нулевым матожиданием) и некоррелированности регрессионных остатков. Свойства прогнозов временных рядов при использовании несимметричных функций потерь были исследованы в работе [9], авторы которой отмечают смещенность прогнозов при несимметричных потерях и делают вывод о необходимости разработки специальных методов прогнозирования временных рядов в условиях несимметричности функции потерь. В работах [9, 10] сделан вывод о том, что модель ARIMA не подходит для решения задачи прогнозирования в случае несимметричной функции потерь.

В работах [11, 12] были предложены модификации модели ARIMA, позволяющие учесть несимметричность функции потерь при оптимизации параметров алгоритма. Однако обе предложенные модификации сложны в реализации, не позволяют использовать пакеты для прогнозирования временных рядов, в которых есть стандартные реализации ARIMA, и требуют для каждой функции потерь создания и обучения индивидуальной модели, что неприемлемо в промышленных задачах.

Еще одним методом, предложенным для работы с несимметричными функциями потерь, является квантильная регрессия [13]. Она позволяет находить оптимальный смещенный прогноз для несимметричных функций потерь кусочно-линейного вида, но не дает возможности работать с функциями потерь других видов, а также применима только для стационарных временных рядов.

На первом этапе этого ПНИ [14] был предложен двухэтапный алгоритм прогнозирования ARIMA+hist, на первом шаге которого отслеживаются свойства временного ряда, обуславливающие его нестационарность, такие как тренд и сезонность. На втором шаге вычисляется поправка, обеспечивающая оптимальность прогноза в случае несимметричной функции потерь. На этом, втором, шаге в качестве временного ряда выступают регрессионные остатки, однако их плотность распределения не известна. В качестве оценки плотности используется гистограмма значений регрессионных остатков, как предложено в [15].

В алгоритме hist используется ряд упрощений задачи минимизации свертки функции потерь с оценкой плотности распределения регрессионных остатков, которые приводят к задаче приближенного нахождения минимума путем перебора конечного количества значений, из которых выбирается то, которое обеспечивает

наименьшее значение свертки. Предложенный алгоритм ARIMA+hist (далее в этом отчете обозначается как Ex VAR) строит прогнозы с минимальным математическим ожиданием потерь при использовании несимметричных функций потерь для различных временных рядов, в том числе имеющих тренд и сезонную компоненту, то есть не являющихся стационарными. При этом не накладываются ограничения на класс функций потерь, которые можно использовать в задаче прогнозирования: функции потерь могут быть несимметричными либо симметричными, отличными от квадратичной или модуля.

Исходные данные и научно-технические заделы. Прогнозы разрабатываются для номенклатуры грузов, учитывающей до 41 наименования грузов. Основным источником данных являются учетные системы индустриального партнера. Данные содержат информацию об отправлениях грузов: дату погрузки, станцию отправления, станцию назначения, количество вагонов, которые прошли по маршруту от станции отправления до станции назначения, код груза, род вагонов, суммарный вес груза в тоннах и признак маршрутной отправки.

При разработке непараметрической модели прогнозирования ОСГП был использован имеющийся у авторского коллектива научный задел. В частности, в основу модели лег алгоритм hist непараметрического прогнозирования загруженности железнодорожных узлов РЖД, основанный на свертке эмпирической плотности распределения значений временного ряда с функцией потерь, разработанный ранее специалистами ВЦ РАН, МФТИ и Российской открытой академии транспорта. Алгоритм hist является обобщением алгоритма квантильной регрессии [13] и находит приближенное решение задачи минимизации математического ожидания потерь.

При создании моделей, методов и алгоритмов прогнозирования ОСГП в этом ПНИ были учтены как предыстория самих грузоперевозок в РЖД, так и предыстория экзогенных факторов, характер влияния которых на объемы спроса на ГП были исследованы в рамках первого этапа этого ПНИ. При разработке алгоритма выполнения алгебраических операций над гистограммами для учета экзогенных временных рядов в модели hist были использованы результаты экспертного анализа значимости и характера влияния экзогенных факторов на ОСГП.

Основанием для проведения ПНИ в рамках мероприятия 1.2 приоритетного направления «Транспортные и космические системы» федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2017 годы», является Соглашение о предоставлении субсидии от 19 июня 2014 г. № 14.604.21.0041.

Сведения о научно-техническом уровне разработок. В рамках этого ПНИ в интересах Индустриального партнёра – РЖД – разработаны (см. [14, 16] – отчёты по первому и второму этапам ПНИ) новые модели, методы и алгоритмы прогнозирования объёмов спроса на ГП, нацеленные на повышения точности прогнозирования с учетом специфичных для РЖД условий выполнения железнодорожных грузоперевозок.

Разработка указанных моделей, методов и алгоритмов носит инновационный характер. Результаты ни в чём не уступают уровню современных зарубежных и отечественных исследований в этой области.

Сведения о выполненных патентных исследованиях и выводы из них. Объектом выполненных патентных исследований [17] являлись, методы и системы прогнозирования объёмов спроса на грузовые железнодорожные перевозки.

Среди выявленных в результате информационно-патентного поиска охранных документов нет патентов и заявок на изобретения, которые могут препятствовать применению результатов выполняемого ПНИ в Российской Федерации, а также препятствовать получению охранных документов в других странах посредством подачи РСТ-заявок на изобретения и/или полезные модели.

Связь с другими научно-исследовательскими работами и разработками. Выполненные в рамках этого проекта исследования и разработки связаны с пятью проектами Российского фонда фундаментальных исследований: «Разработка макета системы прогноза грузоперевозок на основе интеграции опыта специалистов ВЦ РАН и ПГК» 11-07-13154-офи-м-2011-РЖД, «Методы анализа взаимного влияния пассажирского и грузового трафиков РЖД» 13-07-13139-офи-м-РЖД, «Развитие теории индуктивного порождения и выбора моделей» 10-07-00422-а, «Высокоэффективные технологии имитационного моделирования взаимодействия подвижного состава и инфраструктуры железнодорожного транспорта» 12-07-13135-офи-м-РЖД, «Методы анализа и прогнозирования

нестационарных временных рядов в задачах мониторинга технического состояния подвижного состава» 12-07-13141-офи-м-РЖД.

Цели и задачи третьего этапа, их место в выполнении проекта в целом.

В соответствии с пп. 2.1.6–2.1.8 Технического задания на третьем этапе выполняемого проекта достигнуты следующие цели:

- Анализ результатов серии вычислительных экспериментов по прогнозированию ОСГП на модельных исходных данных объемов спроса на ГП и экзогенных факторов [16, 18, 19] с помощью макета модуля прогнозирования ОСГП [16, 20, 21] позволил оценить адекватность и ожидаемость результатов прогнозов экспертным оценкам.

- Сравнение результатов серии вычислительных экспериментов по прогнозированию ОСГП с использованием макета модуля прогнозирования объемов спроса на ГП со значениями контрольной выборки данных об ОСГП, а также сравнение результатов прогнозирования с ошибкой аналогичных прогнозов по модели ARMA [22, 23] на контрольной выборке данных показало статистически значимое увеличение качества полученных прогнозов по критерию минимизации средних значений абсолютных и относительных ошибок, а также их более высокое качество по критерию относительной точности, чем прогнозы по модели ARMA.

- Анализ результатов третьего этапа и проекта в целом позволил выработать предложения и рекомендации по реализации результатов ПНИ и вовлечению их в хозяйственный оборот, которые были положены в основу разработки проекта ТЗ на выполнение ОКР по теме: «Проектирование и разработка модулей прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки с учетом экзогенных факторов»

В контексте выполненного проекта в целом на третьем этапе решены следующие задачи:

- Разработаны программа и методика проведения и проведена серия вычислительных экспериментов по прогнозированию ОСГП на модельных исходных данных объемов спроса на ГП и экзогенных факторов с использованием разработанных на Этапе 2 ПНИ генератора модельных исходных данных объемов спроса на ГП и экзогенных факторов и макета модуля прогнозирования объемов спроса на ГП.

- Разработаны программа и методика проведения и проведена серия вычислительных экспериментов по прогнозированию ОСГП с использованием макета модуля прогнозирования объемов спроса на ГП для сравнения значений спрогнозированных объемов спроса со значениями контрольной выборки данных об ОСГП и сравнения ошибки прогнозирования предложенной модели с ошибкой прогнозирования модели ARMA на контрольной выборке данных.

- Выполнен анализ результатов серии вычислительных экспериментов по прогнозированию ОСГП на модельных исходных данных объемов спроса на ГП и экзогенных факторов с помощью макета модуля прогнозирования ОСГП, подтвердивший адекватность и ожидаемость результатов прогнозов экспертным оценкам.

- Проведено сравнение результатов серии вычислительных экспериментов по прогнозированию ОСГП с использованием макета модуля прогнозирования объемов спроса на ГП со значениями контрольной выборки данных об ОСГП, а также сравнение результатов прогнозирования с ошибкой аналогичных прогнозов по модели ARMA на контрольной выборке данных, показавшее статистически значимое увеличение качества полученных прогнозов по критерию минимизации средних значений абсолютных и относительных ошибок, а также их более высокое качество по критерию относительной точности, чем прогнозы по модели ARMA.

- Выполнены обобщения и сделаны выводы по результатам ПНИ.

- Выработаны предложения и рекомендации по реализации результатов ПНИ и вовлечению их в хозяйственный оборот.

- Разработан проект ТЗ на выполнение ОКР по теме: «Проектирование и разработка модулей прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки с учетом экзогенных факторов».

1 Разработка программы и методики проведения вычислительных экспериментов по прогнозированию объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки с помощью макета модуля прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки

В этом разделе представлены результаты разработки программы и методики проведения вычислительных экспериментов по прогнозированию ОСГП средствами разработанных на предыдущем этапе:

- генератора модельных исходных данных объемов спроса на ГП и экзогенных факторов [16, 18, 19];
- макета модуля прогнозирования ОСГП [16, 20, 21].

Раздел выполнен в соответствии с пп. 2.9, 3.13 и 6.1.3.7 Технического задания и пп. 3.1 Календарного плана.

Целями проведения вычислительных экспериментов согласно пп. 3.14 и 3.15 Технического задания и пп. 3.2 и 3.3 Календарного плана являются:

1. Подтверждение адекватности и ожидаемости результатов прогнозов ОСГП, по модельным исходным данным объемов спроса на ГП и экзогенных факторов, получаемым посредством применения макета модуля прогнозирования объемов спроса, экспертной оценке.

2. Сравнение результатов серии вычислительных экспериментов по прогнозированию ОСГП с использованием макета модуля прогнозирования объемов спроса на ГП со значениями контрольной выборки данных об ОСГП, а также сравнение результатов прогнозирования с ошибкой аналогичных прогнозов по модели ARMA на контрольной выборке данных.

1.1 Программа и методика получения оценки адекватности и ожидаемости результатов прогнозов по модельным исходным данным экспертной оценке

Представленная в этом подразделе программа и методика проведения вычислительных экспериментов по прогнозированию ОСГП на модельных исходных данных объемов спроса на ГП и экзогенных факторов с помощью макета модуля прогнозирования ОСГП [17–19] для подтверждения адекватности и ожидаемости результатов прогноза экспертной оценке разработана в соответствии с п. 3.1 и 3.2 Календарного плана. [Equation Chapter 1 Section 1](#)

1.1.1 Программа вычислительных экспериментов

Цель вычислительного эксперимента – подтверждение адекватности и ожидаемости результатов прогноза ОСГП, получаемого на модельных исходных данных объемов спроса на ГП и экзогенных факторов с помощью макета модуля прогнозирования [16, 18, 19], экспертной оценке.

Для анализа адекватности и ожидаемости результатов прогноза ОСГП, получаемых с помощью макета модуля прогнозирования (алгоритм/модель прогнозирования Ex VAR) подлежат формированию аналогичные прогнозы с использованием моделей Regularized ARMA, Mean by 5 days, Median by 70 days [14, 16]

Исходные данные для вычислительного эксперимента – исторические данные об объемах спроса на грузовые железнодорожные перевозки, а также данные о значениях экзогенных факторов за тот же период, извлеченные из открытых источников [24–26].

По модельным исходным данным о посуточных объемах ГП k -го типа груза, $k \in K$, между парами станций $i_{st} \in I_{st}$ и парами регионов $i_{reg} \in I_{reg}$, по временным рядам $x(t_D, i_{st}, k)$, $x(t_D, i_{reg}, k)$, $t_D \in \{1, \dots, T_D\}$ – длина временного ряда в днях, – формируются агрегированные временные ряды модельных исходных данных:

$x(t_W, i_{st}, k)$ – временной ряд понедельных $t_W \in \{1, \dots, T_W\}$ (T_W – длина временного ряда в неделях) грузоперевозок k -го типа груза $k \in K$ между парами станций $i_{st} \in I_{st}$

$$x(t_W, i_{st}, k) = \sum_{t=1}^7 x(t_D, i_{st}, k), \quad (1)$$
$$t_D = 7 \cdot (t_W - 1) + t, t_W = \{1, \dots, T_W\};$$

$x(t_M, i_{st}, k)$ – временной ряд помесячных $t_M \in \{1, \dots, T_M\}$ (T_M – длина временного ряда в месяцах) грузоперевозок k -го типа груза $k \in K$ между парами станций $i_{st} \in I_{st}$

$$x(t_M, i_{st}, k) = \sum_{t=1}^4 x(t_W, i_{st}, k), \quad (2)$$

$$t_W = 4 \cdot (t_M - 1) + t, t_M = \{1, \dots, T_M\};$$

$x(t_W, i_{reg}, k)$ – временной ряд понедельных $t_W \in \{1, \dots, T_W\}$ (T_W – длина временного ряда в неделях) грузоперевозок k -го типа груза $k \in K$ между парами регионов $i_{reg} \in I_{reg}$

$$x(t_W, i_{reg}, k) = \sum_{t=1}^7 x(t_D, i_{reg}, k), \quad (3)$$

$$t_D = 7 \cdot (t_W - 1) + t, t_W = \{1, \dots, T_W\};$$

$x(t_M, i_{st}, k)$ – временной ряд помесячных $t_W \in \{1, \dots, T_W\}$ (T_M – длина временного ряда в месяцах) грузоперевозок k -го типа груза $k \in K$ между парами регионов $i_{reg} \in I_{reg}$

$$x(t_M, i_{reg}, k) = \sum_{t=1}^4 x(t_W, i_{reg}, k), \quad (4)$$

$$t_W = 4 \cdot (t_M - 1) + t, t_M = \{1, \dots, T_M\};$$

По результатам посуточных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$ между парами станций $i_{st} \in I_{st}$ и парами регионов $i_{reg} \in I_{reg}$ временных рядов $\hat{x}(t_D, i_{st}, k)$ и $\hat{x}(t_D, i_{reg}, k)$, $t_D \in \{1, \dots, \hat{T}_D\}$, \hat{T}_D – длина спрогнозированного временного ряда в днях, – строятся агрегированные по времени прогнозы:

$\hat{x}(t_W, i_{st}, k)$, $t_W = \{1, \dots, \hat{T}_W\}$, \hat{T}_W – длина спрогнозированного временного ряда в неделях, – понедельный прогноз ОСГП k -го типа груза $k \in K$ между парами станций $i_{st} \in I_{st}$

$$\hat{x}(t_W, i_{st}, k) = \sum_{t=1}^7 \hat{x}(t_D, i_{st}, k), \quad (5)$$

$$t_D = 7 \cdot (t_W - 1) + t, t_W = \{1, \dots, \hat{T}_W\};$$

$\hat{x}(t_M, i_{st}, k)$, $t_M = \{1, \dots, \hat{T}_M\}$, \hat{T}_M – длина спрогнозированного временного ряда в месяцах, – помесечный прогноз ОСГП k -го типа груза $k \in K$ между парами станций $i_{st} \in I_{st}$

$$\hat{x}(t_M, i_{st}, k) = \sum_{t=1}^4 \hat{x}(t_W, i_{st}, k),$$

$$t_W = 4 \cdot (t_M - 1) + t, t_M = \{1, \dots, \hat{T}_M\};$$
(6)

$\hat{x}(t_W, i_{reg}, k)$, $t_W = \{1, \dots, \hat{T}_W\}$, \hat{T}_W – длина спрогнозированного временного ряда в неделях, – понедельный прогноз ОСГП k -го типа груза $k \in K$ между парами регионов $i_{reg} \in I_{reg}$

$$\hat{x}(t_W, i_{reg}, k) = \sum_{t=1}^7 \hat{x}(t_D, i_{reg}, k),$$

$$t_D = 7 \cdot (t_W - 1) + t, t_W = \{1, \dots, \hat{T}_W\};$$
(7)

$\hat{x}(t_M, i_{st}, k)$, $t_M = \{1, \dots, \hat{T}_M\}$, \hat{T}_M – длина спрогнозированного временного ряда в месяцах, – помесечный прогноз ОСГП k -го типа груза $k \in K$ между парами регионов $i_{reg} \in I_{reg}$

$$\hat{x}(t_M, i_{reg}, k) = \sum_{t=1}^4 \hat{x}(t_W, i_{reg}, k),$$

$$t_W = 4 \cdot (t_M - 1) + t, t_M = \{1, \dots, \hat{T}_M\};$$
(8)

Список наименований типов грузов, для которых выполняется прогнозирование, приведен в табл. 1.1. а список экзогенных факторов – в табл. 1.2.

Таблица 1.1 – Список наименований временных рядов объемов грузоперевозок.

Наименование типа груза <i>1</i>	Наименование типа груза <i>2</i>
#1 Каменный уголь	#21 Шлаки гранулированные
#2 Кокс	#22 Огнеупоры
#3 Нефть	#23 Цемент
#4 Торф	#24 Лесные грузы
#6 Флюсы	#25 Сахар
#7 Руда железная	#26 Мясо и масло животное
#8 Руда цветная	#27 Рыба
#9 Черные металлы	#28 Картофель, овощи и фрукты

Таблица 1.1. – Продолжение.

<i>1</i>	<i>2</i>
#10 Машины и оборудование	#29 Соль поваренная
#11 Металлические конструкции	#30 Остальные продовольственные товары
#12 Метизы	#31 Промышленные товары народного потребления
#13 Лом черных металлов	#33 Сахарная свекла и семена
#14 Сельскохозяйственные машины	#34 Зерно
#15 Автомобили	#35 Продукты перемола
#16 Цветные металлы	#36 Комбикорма
#17 Химические и минеральные удобрения	#38 Жмыхи
#18 Химикаты и сода	#39 Бумага
#19 Строительные грузы	#42 Грузы в контейнерах
#20 Промышленное сырье	#43 Остальные и сборные грузы

Таблица 1.2 – Список индексов и наименований экзогенных факторов.

#	Наименование	#	Наименование
<i>1</i>			<i>2</i>
1	AMD	54	Индекс государственных облигаций
2	AUD	55	Индекс корпоративных облигаций
3	AZN	56	Индекс машиностроения Московской Биржи
4	Aluminium	57	Индекс металлов и добычи Московской Биржи
5	BGN	58	Индекс нефти и газа Московской Биржи
6	BRL	59	Индекс потребительских товаров и розничной торговли Московской Биржи
7	BYR	60	Индекс телекоммуникаций Московской Биржи
8	Brent oil price	61	Индекс финансов Московской Биржи
9	CAD	62	Индекс цен на машины и оборудование, используемые в строительстве,
10	CHF	63	Индекс цен производителей в строительстве (строительно-монтажные работы)
11	CNY	64	Индекс электроэнергетики Московской Биржи
12	CZK	65	Индексы тарифов на грузовые перевозки
13	Cuprum	66	Индексы тарифов на перевозку грузов автомобильным транспортом
14	DKK	67	Индексы тарифов на транспортировку (перекачку) грузов трубопроводным транспортом
15	EEK	68	Индексы цен производителей промышленных товаров
16	EUR	69	Какао
17	GBP	70	Кондитерские изделия, т
18	Gaz price	71	Консервы, тыс. условных банок
19	HUF	72	Концентрат апельсинового сока
20	INR	73	Кофе
21	ISK	74	Крахмал сухой, т

Таблица 1.2. – Продолжение

22	JPY	75	Крупа, т
23	KGS	76	Кукуруза
24	KRW	77	Маргариновая продукция, т
25	KZT	78	Макаронные изделия, т
26	LTL	79	Масла растительные, тыс. т
27	LVL	80	Масло животное, т
28	MDL	81	Молоко
29	Masut price	82	Мороженое, т
30	NOK	83	Мука, т
31	Nickel	84	Мясные полуфабрикаты, т
32	PLN	85	Мясо, включая субпродукты I категории, т
33	Plumbum	86	Овес
34	RON	87	Папиросы и сигареты, млн. шт.
35	SEK	88	Пшеница
36	SGD	89	Сахар-песок, т
37	TJS	90	Сахар
38	TMT	91	Соевые бобы
39	TRY	92	Сыры жирные (включая брынзу), т
40	UAH	93	Товарная пищевая рыбная продукция (включая консервы рыбные), т
41	USD	94	Хлеб и хлебобулочные изделия, т
42	UZS	95	Хлопок
43	WTI oil price	96	Цельномолочная продукция (в пересчете на молоко), т
44	XDR	97	Чай натуральный, т
45	ZAR	98	вина виноградные, тыс., дкл
46	Zinc	99	вина плодовые, тыс. дкл
47	вина шампанские и игристые, тыс. дкл	100	водка и ликероводочные изделия, тыс. дкл
48	Безалкогольные напитки, тыс. дкл	101	коньяки, тыс. дкл
49	Воды минеральные, тыс. дкл	102	Индекс организаций обрабатывающих производств (без малых предприятий)
50	Замороженная говядина	103	Индекс организаций по добыче полезных ископаемых (без малых предприятий)
51	Индекс ММВБ	104	Индекс организаций, осуществляющих производство и распределение электроэнергии, газа и воды (без малых предприятий)
52	Индекс второго эшелона Московской Биржи	105	пиво, тыс. дкл
53	Индекс гос. обл. ММВБ-сов. доход		

Методика оценки результатов вычислительного эксперимента приведена в п. 1.1.2. Формат представления результатов – в п. 1.1.3.

1.1.2 Методика оценки результатов вычислительных экспериментов

Оценка результатов вычислительных экспериментов производится в следующем порядке:

Шаг 1. Вычисление агрегированных по парам станций $i_{st} \in I_{st}$ значений ошибок MAE по дням посуточных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\begin{aligned} \text{MAE}_{ST}(t_D, k) &= \frac{1}{|I_{st}|} \sum_{i_{st} \in I_{st}} \left| x(\tilde{T}_D + t_D, i_{st}, k) - \hat{x}(t_D, i_{st}, k) \right|, \\ t_D &\in \{1, \dots, \hat{T}_D\}, \end{aligned} \quad (9)$$

где \tilde{T}_D – длина того начального отрезка (лага) временного ряда $x(t_D, i_{st}, k)$, на основе которого вычисляется прогноз $\hat{x}(t_D, i_{st}, k)$.

Шаг 2. Вычисление сводного значения ошибок MAE посуточных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAE}_{ST}^D(k) = \frac{1}{\hat{T}_D} \sum_{t_D=1}^{\hat{T}_D} \text{MAE}_{ST}(t_D, k). \quad (10)$$

Шаг 3. Вычисление агрегированных по парам станций $i_{st} \in I_{st}$ значений ошибок MAPE по дням посуточных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\begin{aligned} \text{MAPE}_{ST}(t_D, k) &= \frac{1}{|I_{st}|} \sum_{i_{st} \in I_{st}} \frac{\left| x(\tilde{T}_D + t_D, i_{st}, k) - \hat{x}(t_D, i_{st}, k) \right|}{x(\tilde{T}_D + t_D, i_{st}, k)}, \\ t_D &\in \{1, \dots, \hat{T}_D\}. \end{aligned} \quad (11)$$

Шаг 4. Вычисление сводного значения ошибок MAPE посуточных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAPE}_{ST}^D(k) = \frac{1}{\hat{T}_D} \sum_{t_D=1}^{\hat{T}_D} \text{MAPE}_{ST}(t_D, k). \quad (12)$$

Шаг 5. Вычисление значений ошибок MAE с детализацией по неделям, агрегированных по парам станций:

$$\begin{aligned} \text{MAE}_{ST}(t_W, k) &= \frac{1}{|I_{st}|} \sum_{i_{st} \in I_{st}} \left| x(\tilde{T}_W + t_W, i_{st}, k) - \hat{x}(t_W, i_{st}, k) \right|, \\ t_W &\in \{1, \dots, \hat{T}_W\}, \end{aligned} \quad (13)$$

где \tilde{T}_W – длина того начального отрезка (лага) временного ряда $x(t_W, i_{st}, k)$, на основе которого вычисляется прогноз $\hat{x}(t_W, i_{st}, k)$.

Шаг 6. Вычисление сводного значения ошибок MAE понедельных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAE}_{ST}^W(k) = \frac{1}{\hat{T}_W} \sum_{t_W=1}^{\hat{T}_W} \text{MAE}_{ST}(t_W, k). \quad (14)$$

Шаг 7. Вычисление агрегированных по парам станций $i_{st} \in I_{st}$ значений ошибок MAPE понедельных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAPE}_{ST}(t_W, k) = \frac{1}{|I_{st}|} \sum_{i_{st} \in I_{st}} \frac{|x(\tilde{T}_W + t_W, i_{st}, k) - \hat{x}(t_W, i_{st}, k)|}{x(\tilde{T}_W + t_W, i_{st}, k)}, \quad (15)$$

$$t_W \in \{1, \dots, \hat{T}_W\}.$$

Шаг 8. Вычисление сводного значения ошибок MAPE понедельных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAPE}_{ST}^W(k) = \frac{1}{\hat{T}_W} \sum_{t_W=1}^{\hat{T}_W} \text{MAPE}_{ST}(t_W, k). \quad (16)$$

Шаг 9. Вычисление значений ошибок MAE с детализацией по месяцам, агрегированных по парам станций:

$$\text{MAE}_{ST}(t_M, k) = \frac{1}{|I_{st}|} \sum_{i_{st} \in I_{st}} |x(\tilde{T}_M + t_M, i_{st}, k) - \hat{x}(t_M, i_{st}, k)|, \quad (17)$$

$$t_M \in \{1, \dots, \hat{T}_M\},$$

где \tilde{T}_M – длина того начального отрезка (лага) временного ряда $x(t_M, i_{st}, k)$, на основе которого вычисляется прогноз $\hat{x}(t_M, i_{st}, k)$.

Шаг 10. Вычисление сводного значения ошибок MAE помесечных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAE}_{ST}^M(k) = \frac{1}{\hat{T}_M} \sum_{t_M=1}^{\hat{T}_M} \text{MAE}_{ST}(t_M, k). \quad (18)$$

Шаг 11. Вычисление агрегированных по парам станций $i_{st} \in I_{st}$ значений ошибок MAPE помесечных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAPE}_{ST}(t_M, k) = \frac{1}{|I_{st}|} \sum_{i_{st} \in I_{st}} \frac{|x(\tilde{T}_M + t_M, i_{st}, k) - \hat{x}(t_M, i_{st}, k)|}{x(\tilde{T}_M + t_M, i_{st}, k)}, \quad (19)$$

$$t_M \in \{1, \dots, \hat{T}_M\}.$$

Шаг 12. Вычисление сводного значения ошибок MAPE помесечных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAPE}_{ST}^M(k) = \frac{1}{\hat{T}_M} \sum_{t_M=1}^{\hat{T}_M} \text{MAPE}_{ST}(t_M, k). \quad (20)$$

Шаг 13. Вычисление агрегированных по парам регионов $i_{reg} \in I_{reg}$ значений ошибок MAE по дням посуточных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAE}_{REG}(t_D, k) = \frac{1}{|I_{reg}|} \sum_{i_{reg} \in I_{reg}} |x(\tilde{T}_D + t_D, i_{reg}, k) - \hat{x}(t_D, i_{reg}, k)|, \quad (21)$$

$$t_D \in \{1, \dots, \hat{T}_D\},$$

где \tilde{T}_D – длина того начального отрезка (лага) временного ряда $x(t_D, i_{reg}, k)$, на основе которого вычисляется прогноз $\hat{x}(t_D, i_{reg}, k)$.

Шаг 14. Вычисление сводного значения ошибок MAE посуточных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAE}_{REG}^D(k) = \frac{1}{\hat{T}_D} \sum_{t_D=1}^{\hat{T}_D} \text{MAE}_{REG}(t_D, k). \quad (22)$$

Шаг 15. Вычисление агрегированных по парам регионов $i_{reg} \in I_{reg}$ значений ошибок MAPE по дням посуточных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAPE}_{REG}(t_D, k) = \frac{1}{|I_{reg}|} \sum_{i_{reg} \in I_{reg}} \frac{|x(\tilde{T}_D + t_D, i_{reg}, k) - \hat{x}(t_D, i_{reg}, k)|}{x(\tilde{T}_D + t_D, i_{reg}, k)}, \quad (23)$$

$$t_D \in \{1, \dots, \hat{T}_D\}.$$

Шаг 16. Вычисление сводного значения ошибок MAPE посуточных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAPE}_{REG}^D(k) = \frac{1}{\hat{T}_D} \sum_{t_D=1}^{\hat{T}_D} \text{MAPE}_{REG}(t_D, k). \quad (24)$$

Шаг 17. Вычисление значений ошибок MAE с детализацией по неделям, агрегированных по парам регионов:

$$\text{MAE}_{REG}(t_W, k) = \frac{1}{|I_{reg}|} \sum_{i_{reg} \in I_{reg}} \left| x(\tilde{T}_W + t_W, i_{reg}, k) - \hat{x}(t_W, i_{reg}, k) \right|, \quad (25)$$

$$t_W \in \{1, \dots, \hat{T}_W\},$$

где \tilde{T}_W – длина того начального отрезка (лага) временного ряда $x(t_W, i_{reg}, k)$, на основе которого вычисляется прогноз $\hat{x}(t_W, i_{reg}, k)$.

Шаг 18. Вычисление сводного значения ошибок MAE понедельных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAE}_{REG}^W(k) = \frac{1}{\hat{T}_W} \sum_{t_W=1}^{\hat{T}_W} \text{MAE}_{REG}(t_W, k). \quad (26)$$

Шаг 19. Вычисление агрегированных по парам регионов $i_{reg} \in I_{reg}$ значений ошибок MAPE понедельных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAPE}_{REG}(t_W, k) = \frac{1}{|I_{reg}|} \sum_{i_{reg} \in I_{reg}} \frac{\left| x(\tilde{T}_W + t_W, i_{reg}, k) - \hat{x}(t_W, i_{reg}, k) \right|}{x(\tilde{T}_W + t_W, i_{reg}, k)}, \quad (27)$$

$$t_W \in \{1, \dots, \hat{T}_W\}.$$

Шаг 20. Вычисление сводного значения ошибок MAPE понедельных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAPE}_{REG}^W(k) = \frac{1}{\hat{T}_W} \sum_{t_W=1}^{\hat{T}_W} \text{MAPE}_{REG}(t_W, k). \quad (28)$$

Шаг 21. Вычисление значений ошибок MAE с детализацией по месяцам, агрегированных по парам регионов:

$$\text{MAE}_{REG}(t_M, k) = \frac{1}{|I_{reg}|} \sum_{i_{reg} \in I_{reg}} \left| x(\tilde{T}_M + t_M, i_{reg}, k) - \hat{x}(t_M, i_{reg}, k) \right|, \quad (29)$$

$$t_M \in \{1, \dots, \hat{T}_M\},$$

где \tilde{T}_M – длина того начального отрезка (лага) временного ряда $x(t_M, i_{reg}, k)$, на основе которого вычисляется прогноз $\hat{x}(t_M, i_{reg}, k)$.

Шаг 22. Вычисление сводного значения ошибок MAE помесечных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAE}_{REG}^M(k) = \frac{1}{\hat{T}_M} \sum_{t_M=1}^{\hat{T}_M} \text{MAE}_{REG}(t_M, k). \quad (30)$$

Шаг 23. Вычисление агрегированных по парам станций $i_{reg} \in I_{reg}$ значений ошибок MAPE помесечных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAPE}_{REG}(t_M, k) = \frac{1}{|I_{reg}|} \sum_{i_{reg} \in I_{reg}} \frac{|x(\tilde{T}_M + t_M, i_{reg}, k) - \hat{x}(t_M, i_{reg}, k)|}{x(\tilde{T}_M + t_M, i_{reg}, k)}, \quad (31)$$

$$t_M \in \{1, \dots, \hat{T}_M\}.$$

Шаг 24. Вычисление сводного значения ошибок MAPE помесечных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAPE}_{REG}^M(k) = \frac{1}{\hat{T}_M} \sum_{t_M=1}^{\hat{T}_M} \text{MAPE}_{REG}(t_M, k). \quad (32)$$

Шаг 25. Усреднение агрегированных по парам станций $i_{st} \in I_{st}$ значений ошибок MAE по дням посуточных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAE}_{ST}^D(t_D) = \frac{1}{|K|} \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{ST}(t_D, k). \quad (33)$$

Шаг 26. Усреднение агрегированных по парам станций $i_{st} \in I_{st}$ значений ошибок MAE понедельных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAE}_{ST}^W(t_W) = \frac{1}{|K|} \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{ST}(t_W, k). \quad (34)$$

Шаг 27. Усреднение агрегированных по парам станций $i_{st} \in I_{st}$ значений ошибок MAE помесечных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAE}_{ST}^M(t_M) = \frac{1}{|K|} \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{ST}(t_M, k). \quad (35)$$

Шаг 28. Усреднение агрегированных по парам станций $i_{st} \in I_{st}$ значений ошибок MAPE по дням посуточных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAPE}_{ST}^D(t_D) = \frac{1}{|K|} \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAPE}_{ST}(t_D, k). \quad (36)$$

Шаг 29. Усреднение агрегированных по парам станций $i_{st} \in I_{st}$ значений ошибок MAPE понедельных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAPE}_{ST}^W(t_W) = \frac{1}{|K|} \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAPE}_{ST}(t_W, k). \quad (37)$$

Шаг 30. Усреднение агрегированных по парам станций $i_{st} \in I_{st}$ значений ошибок MAPE помесечных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAPE}_{ST}^M(t_M) = \frac{1}{|K|} \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAPE}_{ST}(t_M, k). \quad (38)$$

Шаг 31. Усреднение агрегированных по парам регионов $i_{reg} \in I_{reg}$ значений ошибок MAE по дням посуточных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAE}_{REG}^D(t_D) = \frac{1}{|K|} \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{REG}(t_D, k). \quad (39)$$

Шаг 32. Усреднение агрегированных по парам регионов $i_{reg} \in I_{reg}$ значений ошибок MAE понедельных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAE}_{REG}^W(t_W) = \frac{1}{|K|} \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{REG}(t_W, k). \quad (40)$$

Шаг 33. Усреднение агрегированных по парам регионов $i_{reg} \in I_{reg}$ значений ошибок MAE помесечных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAE}_{REG}^M(t_M) = \frac{1}{|K|} \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{REG}(t_M, k). \quad (41)$$

Шаг 34. Усреднение агрегированных по парам регионов $i_{reg} \in I_{reg}$ значений ошибок MAPE по дням посуточных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAPE}_{REG}^D(t_D) = \frac{1}{|K|} \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAPE}_{REG}(t_D, k). \quad (42)$$

Шаг 35. Усреднение агрегированных по парам регионов $i_{reg} \in I_{reg}$ значений ошибок MAPE понедельных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAPE}_{REG}^W(t_W) = \frac{1}{|K|} \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAPE}_{REG}(t_W, k). \quad (43)$$

Шаг 36. Усреднение агрегированных по парам регионов $i_{reg} \in I_{reg}$ значений ошибок MAPE месячных прогнозов ОСГП k -го типа груза $k \in K$:

$$\text{MAPE}_{REG}^M(t_M) = \frac{1}{|K|} \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAPE}_{REG}(t_M, k). \quad (44)$$

1.1.3 Оформление результатов проведения вычислительного эксперимента

В этом пункте описаны требования к оформлению результатов вычислительных экспериментов на модельных исходных данных объемов спроса на ГП и экзогенных факторов с помощью макета модуля прогнозирования.

Форматы представления результатов вычислительных экспериментов:

1) Визуализации повышения качества прогноза объемов перевозок каждого типа груза при включении экзогенных факторов. Пример такой визуализации – рис. 1.1. На рис. 1.1 по осям абсцисс отложены коды экзогенных факторов (временные ряды экзогенных факторов), по осям ординат – коды типов грузов (эндогенные временные ряды), цвет ячейки рисунка отвечает числу включений соответствующей компоненты в прогностическую модель для прогнозируемого эндогенного временного ряда.

2) Формат представления списка названий временных рядов объемов грузоперевозок и экзогенных факторов – табл. 1.1 и 1.2 соответственно.

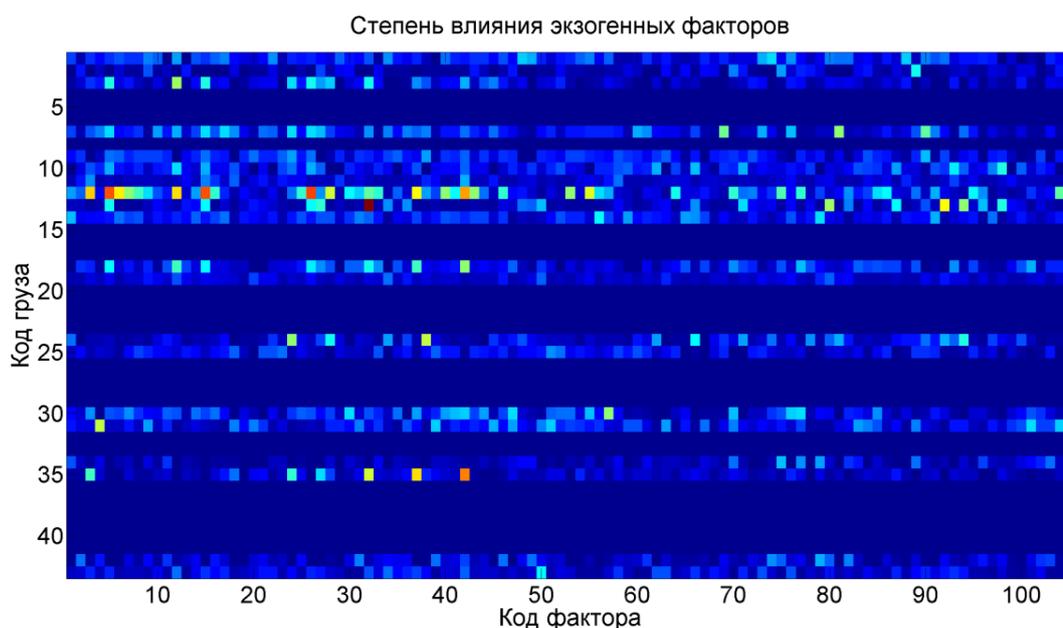


Рис. 1.1. Визуализация повышения качества прогноза объемов перевозок некоторого типа груза при включении экзогенных факторов

3) Формат представления списка наименований экзогенных факторов, оказывающих наибольшее влияние на прогнозируемые временные ряды объемов перевозок каждого типа груза – табл. 1.3:

Таблица 1.3 – Формат представления соответствия временных рядов объемов перевозок и экзогенных факторов.

Типы грузов	Экзогенные факторы, оказывающие наибольшее влияние
#N Наименование типа груза	Наименование экзогенного фактора
...	...

Для каждого типа груза должны быть представлены:

4) Графики временных рядов объемов перевозок данного типа груза совместно с экзогенным фактором, оказывающим наибольшее влияние на прогнозируемый временной ряд перевозок, пример такого графика – рис. 1.2. На рис. 1.2 приведены графики временных рядов объемов перевозок данного типа груза совместно с экзогенным фактором, по оси абсцисс отложены отсчеты временных рядов в днях, по оси ординат – значения временного ряда объемов перевозок данного типа

груза (синий цвет) и значение временного ряда экзогенного фактора (зеленый цвет).

5) Графики прогнозов временных рядов совместно с прогнозируемыми временными рядами, пример такого графика – рис. 1.3. На рис.1.3 синим цветом отложен график исходного временного ряда для данного типа груза, красным, зеленым, бирюзовым и фиолетовым цветами – прогноз временного ряда, полученные различными алгоритмами, по оси абсцисс – отсчеты временного ряда в днях, по оси ординат – значения исходного временного ряда (синим цветом) и значения прогноза временного ряда, полученные различными алгоритмами (красный, зеленый, бирюзовый и фиолетовый соответственно).

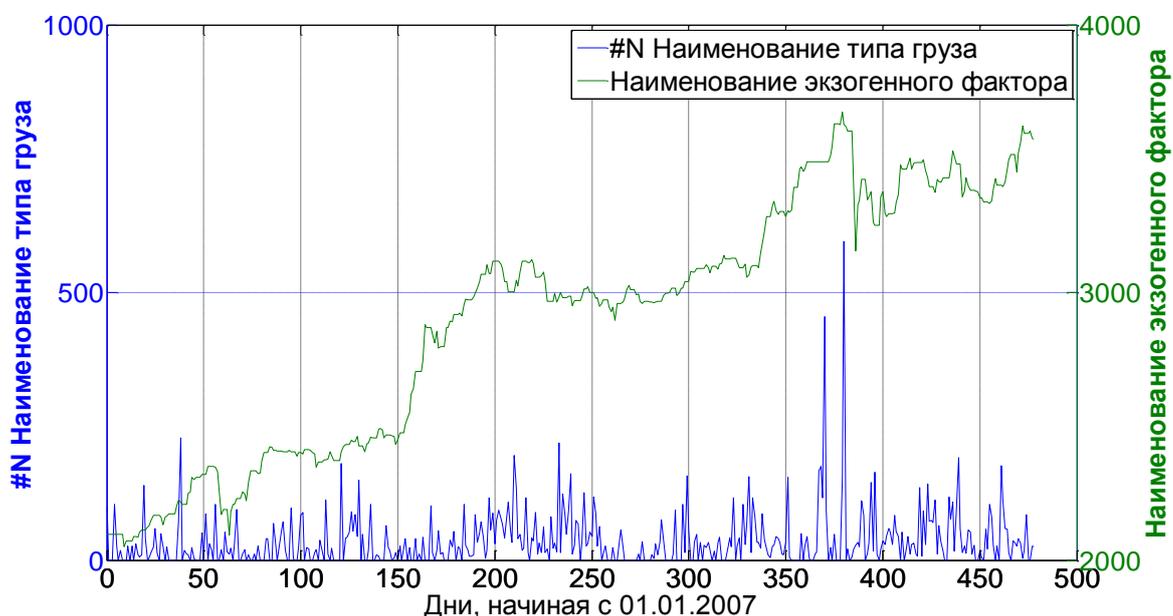


Рис. 1.2. Временные ряды объемов перевозок и экзогенные факторы

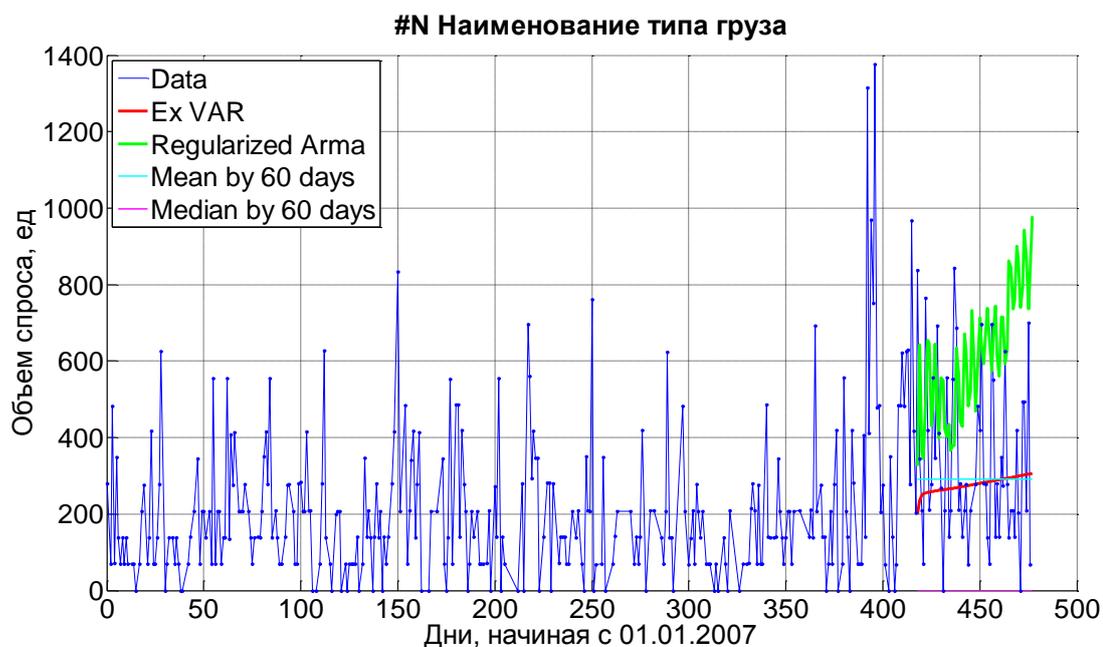


Рис. 1.3. Прогноз временных рядов объемов перевозок

б) Диаграммы значений ошибок прогнозирования MAE и MAPE с детализацией по дням, неделям, месяцам, агрегированных по парам станций и регионов для данного типа груза, вычисленных по формулам (10, 12, 14, 16, 18, 20) и (22, 24, 26, 28, 30, 32), соответственно. Примеры таких диаграмм приведены – рис. 1.4 (а-г). На рис. 1.4 (а) приведена диаграмма значений ошибки MAE для пар станций для различной детализации по времени, по оси абсцисс отложена выбранная детализация по времени, по оси ординат – значение ошибки MAE; на рис. 1.4 (б) приведена диаграмма значений ошибки MAPE для пар станций для различной детализации по времени, по оси абсцисс отложена выбранная детализация по времени, по оси ординат – значение ошибки MAPE; на рис. 1.4 (в) приведена диаграмма значений ошибки MAE для пар регионов для различной детализации по времени, по оси абсцисс отложена выбранная детализация по времени, по оси ординат – значение ошибки MAE; на рис. 1.4 (г) приведена диаграмма значений ошибки MAPE для пар регионов для различной детализации по времени, по оси абсцисс отложена выбранная детализация по времени, по оси ординат – значение ошибки MAPE.

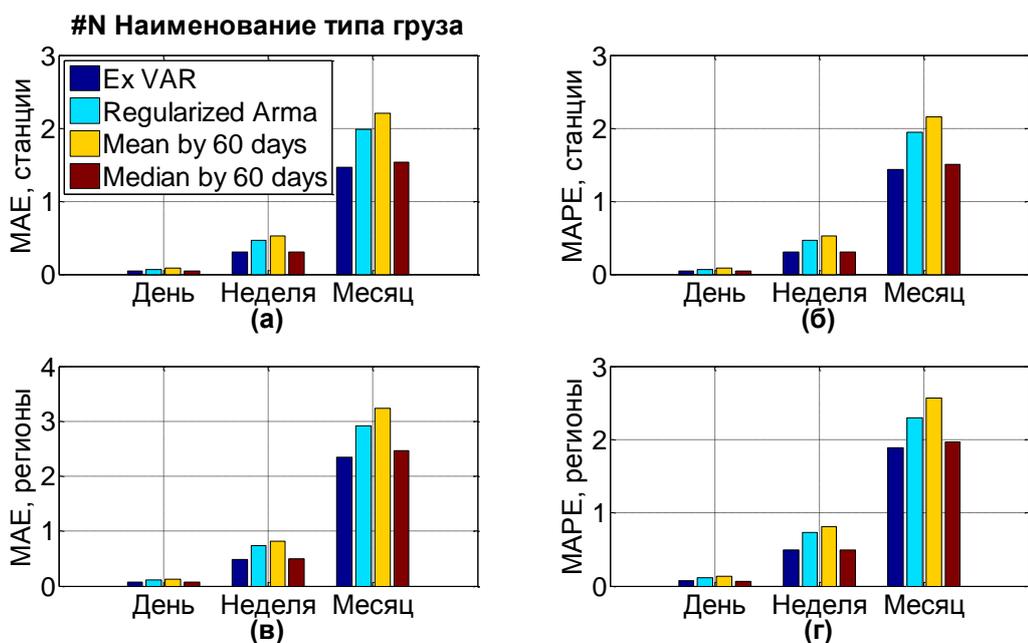


Рис. 1.4. Значения ошибок прогнозирования MAE и MAPE

7) Ошибки прогнозирования MAE и MAPE с детализацией по дням (Д), неделям (Н), месяцам (М), агрегированных по парам станций и регионов для всех типов грузов, вычисленных по формулам (10, 12, 14, 16, 18, 20) и (22, 24, 26, 28, 30, 32) соответственно, представляются в виде сводной таблицы, пример фрагмента такой таблицы – табл. 1.4:

Таблица 1.4 – Формат представления сводной таблицы ошибок прогнозов объемов перевозок для одного из типов груза

#N Наименование груза								
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М	
Ex VAR	...	...	...	Ex VAR	...	...	...
Regularized Arma	...	...	...	Regularized Arma	...	...	...
Mean by 60 days	...	...	...	Mean by 60 days	...	...	...
Median by 60 days	...	...	...	Median by 60 days	...	...	...
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М	
Ex VAR	...	...	...	Ex VAR	...	...	...
Regularized Arma	...	...	...	Regularized Arma	...	...	...
Mean by 60 days	...	...	...	Mean by 60 days	...	...	...
Median by 60 days	...	...	...	Median by 60 days	...	...	...

8) Графики значений ошибок прогнозирования MAE и MAPE в ретроспективном разрезе с детализацией по дням, неделям, месяцам, агрегированных по парам станций и регионов и усредненных по всем типам грузов по форму-

лам (33-44). Примеры таких графиков приведены на рис. 1.5 (а-е). На рис. 1.5 (а-в) приведены графики зависимости значений ошибок MAE от горизонта прогнозирования для пар станций, усредненных по всем типам грузов, по оси ординат отложены значения ошибок MAE, по оси абсцисс – горизонт прогнозирования в днях, неделях и месяцах соответственно; на рис. 1.5 (г-е) приведен график зависимости значений ошибок MAPE от горизонта прогнозирования для пар станций, усредненных по всем типам грузов, по оси абсцисс отложены значения ошибок MAPE, по оси ординат – горизонт прогнозирования в днях, неделях и месяцах соответственно.

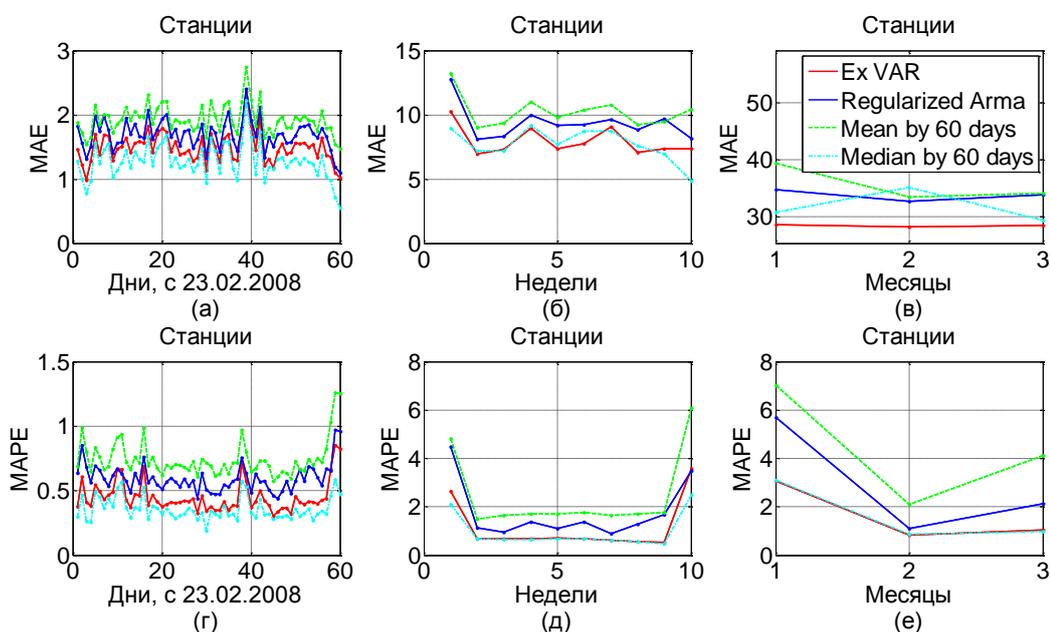


Рис. 1.5. Значения ошибок прогнозирования MAE и MAPE в ретроспективном разрезе, усредненные по всем типам грузов

1.2 Программа и методика проведения вычислительных экспериментов для сравнения результатов прогнозирования с контрольной выборкой данных и с аналогичными результатами по модели ARMA

Представленная в этом подразделе программа и методика проведения вычислительных экспериментов для сравнения прогнозов, получаемых с использованием макета модуля прогнозирования ОСГП, со значениями контрольной выборки данных об объемах спроса на ГП, а также сравнения ошибок получаемых прогнозов с ошибками прогнозирования на модели ARMA разработана в соответствии с пп. 3.1 и 3.3 Календарного плана.

1.2.1 Программа вычислительных экспериментов

Цель вычислительного эксперимента – сравнение результатов прогнозирования ОСГП, получаемых с использованием макета модуля прогнозирования ОСГП и аналогичных прогнозов, получаемых по модели ARMA, со значениями контрольной выборки данных об объемах спроса на ГП.

Прогнозирование выполняется с использованием моделей Ex VAR, Regularized ARMA, Mean by 5 days, Median by 70 days [14, 16]. Сокращение Ex VAR используется в качестве обозначения двухуровневого алгоритма прогнозирования ARIMA+hist [14, 16].

Исходные данные для вычислительного эксперимента – исторические данные об объемах спроса на грузовые железнодорожные перевозки, а также данные о значениях экзогенных факторов за тот же период, извлеченные из открытых источников [24–26].

Методика оценки результатов вычислительного эксперимента приведена в п. 1.2.2. Формат представления результатов приведен в п. 1.2.3.

1.2.2 Методика оценки результатов вычислительных экспериментов

Оценка результатов вычислительных экспериментов производится в следующем порядке:

Шаг 1. Усреднение значений ошибок MAE и MAPE ретроспективного прогнозирования, полученных применением макета модуля прогнозирования ОСГП к базе прогноза, относительно контрольной выборки для пар станций и регионов с детализацией по дням, неделям и месяцам, соответственно:

$$\text{MAE}_{ST}(t_D, \text{ExVAR}) = \frac{1}{|K|} \cdot \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{ST}(t_D, k), \quad (45)$$

$$\text{MAE}_{ST}(t_W, \text{ExVAR}) = \frac{1}{|K|} \cdot \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{ST}(t_W, k), \quad (46)$$

$$\text{MAE}_{ST}(t_M, \text{ExVAR}) = \frac{1}{|K|} \cdot \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{ST}(t_M, k), \quad (47)$$

$$\text{MAE}_{REG}(t_D, \text{ExVAR}) = \frac{1}{|K|} \cdot \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{REG}(t_D, k), \quad (48)$$

$$\text{MAE}_{REG}(t_W, \text{ExVAR}) = \frac{1}{|K|} \cdot \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{REG}(t_W, k), \quad (49)$$

$$\text{MAE}_{REG}(t_M, \text{ExVAR}) = \frac{1}{|K|} \cdot \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{REG}(t_M, k). \quad (50)$$

Шаг 2. Усреднение значений ошибок MAE и MAPE ретроспективного прогнозирования, полученных применением модули ARMA к базе прогноза, относительно контрольной выборки для пар станций и регионов с детализацией по дням, неделям и месяцам соответственно:

$$\text{MAE}_{ST}(t_D, \text{ARMA}) = \frac{1}{|K|} \cdot \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{ST}(t_D, k), \quad (51)$$

$$\text{MAE}_{ST}(t_W, \text{ARMA}) = \frac{1}{|K|} \cdot \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{ST}(t_W, k), \quad (52)$$

$$\text{MAE}_{ST}(t_M, \text{ARMA}) = \frac{1}{|K|} \cdot \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{ST}(t_M, k), \quad (53)$$

$$\text{MAE}_{REG}(t_D, \text{ARMA}) = \frac{1}{|K|} \cdot \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{REG}(t_D, k), \quad (54)$$

$$\text{MAE}_{REG}(t_W, \text{ARMA}) = \frac{1}{|K|} \cdot \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{REG}(t_W, k), \quad (55)$$

$$\text{MAE}_{REG}(t_M, \text{ARMA}) = \frac{1}{|K|} \cdot \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{REG}(t_M, k). \quad (56)$$

Шаг 3. Вычисление значений относительной точности ретроспективного прогнозирования, полученных средствами макета модуля прогнозирования ОСГП и на модели ARMA для пар станций и регионов с детализацией по дням, неделям и месяцам соответственно на основании формул (45-56):

$$\delta_{ST}(t_D) = \left(1 - \frac{\text{MAE}_{ST}(t_D, \text{ExVAR})}{\text{MAE}_{ST}(t_D, \text{ARMA})} \right) \cdot 100\%, \quad (57)$$

$$\delta_{ST}(t_W) = \left(1 - \frac{\text{MAE}_{ST}(t_W, \text{ExVAR})}{\text{MAE}_{ST}(t_W, \text{ARMA})} \right) \cdot 100\%, \quad (58)$$

$$\delta_{ST}(t_M) = \left(1 - \frac{\text{MAE}_{ST}(t_M, \text{ExVAR})}{\text{MAE}_{ST}(t_M, \text{ARMA})} \right) \cdot 100\%, \quad (59)$$

$$\delta_{REG}(t_D) = \left(1 - \frac{\text{MAE}_{REG}(t_D, \text{ExVAR})}{\text{MAE}_{REG}(t_D, \text{ARMA})} \right) \cdot 100\%, \quad (60)$$

$$\delta_{REG}(t_W) = \left(1 - \frac{\text{MAE}_{REG}(t_W, \text{ExVAR})}{\text{MAE}_{REG}(t_W, \text{ARMA})} \right) \cdot 100\%, \quad (61)$$

$$\delta_{REG}(t_M) = \left(1 - \frac{\text{MAE}_{REG}(t_M, \text{ExVAR})}{\text{MAE}_{REG}(t_M, \text{ARMA})} \right) \cdot 100\%. \quad (62)$$

Шаг 4. Усреднение значений ошибок MAE и MAPE результатов прогнозирования, полученных применением макета модуля прогнозирования ОСГП к базе прогноза, относительно контрольной выборки для пар станций и регионов с детализацией по дням, неделям и месяцам соответственно:

$$\text{MAE}_{ST}^D(\text{ExVAR}) = \frac{1}{T_D \cdot |K|} \cdot \sum_{t_D=1}^{T_D} \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{ST}(t_D, k), \quad (63)$$

$$\text{MAE}_{ST}^W(\text{ExVAR}) = \frac{1}{T_W \cdot |K|} \cdot \sum_{t_W=1}^{T_W} \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{ST}(t_W, k), \quad (64)$$

$$\text{MAE}_{ST}^M(\text{ExVAR}) = \frac{1}{T_M \cdot |K|} \cdot \sum_{t_M=1}^{T_M} \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{ST}(t_M, k), \quad (65)$$

$$\text{MAE}_{REG}^D(\text{ExVAR}) = \frac{1}{T_D \cdot |K|} \cdot \sum_{t_D=1}^{T_D} \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{REG}(t_D, k), \quad (66)$$

$$\text{MAE}_{REG}^W(\text{ExVAR}) = \frac{1}{T_W \cdot |K|} \cdot \sum_{t_W=1}^{T_W} \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{REG}(t_W, k), \quad (67)$$

$$\text{MAE}_{REG}^M(\text{ExVAR}) = \frac{1}{T_M \cdot |K|} \cdot \sum_{t_M=1}^{T_M} \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{REG}(t_M, k). \quad (68)$$

Шаг 5. Усреднение значений ошибок MAE и MAPE результатов прогнозирования, полученных применением модуля ARMA к базе прогноза, относи-

тельно контрольной выборки для пар станций и регионов с детализацией по дням, неделям и месяцам соответственно:

$$\text{MAE}_{ST}^D(\text{ARMA}) = \frac{1}{T_D \cdot |K|} \cdot \sum_{t_D=1}^{T_D} \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{ST}(t_D, k), \quad (69)$$

$$\text{MAE}_{ST}^W(\text{ARMA}) = \frac{1}{T_W \cdot |K|} \cdot \sum_{t_W=1}^{T_W} \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{ST}(t_W, k), \quad (70)$$

$$\text{MAE}_{ST}^M(\text{ARMA}) = \frac{1}{T_M \cdot |K|} \cdot \sum_{t_M=1}^{T_M} \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{ST}(t_M, k), \quad (71)$$

$$\text{MAE}_{REG}^D(\text{ARMA}) = \frac{1}{T_D \cdot |K|} \cdot \sum_{t_D=1}^{T_D} \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{REG}(t_D, k), \quad (72)$$

$$\text{MAE}_{REG}^W(\text{ARMA}) = \frac{1}{T_W \cdot |K|} \cdot \sum_{t_W=1}^{T_W} \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{REG}(t_W, k), \quad (73)$$

$$\text{MAE}_{REG}^M(\text{ARMA}) = \frac{1}{T_M \cdot |K|} \cdot \sum_{t_M=1}^{T_M} \sum_{k=1}^{|K|} \text{MAE}_{REG}(t_M, k). \quad (74)$$

Шаг 6. Вычисление значений относительной точности результатов прогнозирования, полученных средствами макета модуля прогнозирования ОСГП и на модели ARMA для пар станций и регионов с детализацией по дням, неделям и месяцам соответственно на основании формул (63-74):

$$\delta_{ST}^D = \left(1 - \frac{\text{MAE}_{ST}^D(\text{ExVAR})}{\text{MAE}_{ST}^D(\text{ARMA})} \right) \cdot 100\%, \quad (75)$$

$$\delta_{ST}^W = \left(1 - \frac{\text{MAE}_{ST}^W(\text{ExVAR})}{\text{MAE}_{ST}^W(\text{ARMA})} \right) \cdot 100\%, \quad (76)$$

$$\delta_{ST}^M = \left(1 - \frac{\text{MAE}_{ST}^M(\text{ExVAR})}{\text{MAE}_{ST}^M(\text{ARMA})} \right) \cdot 100\%, \quad (77)$$

$$\delta_{REG}^D = \left(1 - \frac{\text{MAE}_{REG}^D(\text{ExVAR})}{\text{MAE}_{REG}^D(\text{ARMA})} \right) \cdot 100\%, \quad (78)$$

$$\delta_{REG}^W = \left(1 - \frac{\text{MAE}_{REG}^W(\text{ExVAR})}{\text{MAE}_{REG}^W(\text{ARMA})} \right) \cdot 100\%, \quad (79)$$

$$\delta_{REG}^M = \left(1 - \frac{MAE_{REG}^M (ExVAR)}{MAE_{REG}^M (ARMA)} \right) \cdot 100\%. \quad (80)$$

1.2.3 Оформление результатов проведения вычислительного эксперимента

В этом пункте описаны требования к оформлению результатов вычислительных экспериментов по сравнению прогнозов ОСГП, получаемых с использованием макета модуля прогнозирования ОСГП и аналогичных прогнозов, получаемых по модели ARMA, со значениями контрольной выборки данных об объемах спроса на ГП.

Форматы представления результатов вычислительных экспериментов:

1) Графики значений оценки точности относительно модели ARMA в ретроспективном разрезе для пар станций и регионов с детализацией по дням, неделям и месяцам, вычисленных по формулам (57-62). Примеры таких графиков приведены на рис. 1.6 (а-е). На рис. 1.6 (а-в) приведен график зависимости значений оценки точности MAE относительно модели ARMA в ретроспективном разрезе для пар станций с детализацией по дням, неделям и месяцам соответственно, по оси абсцисс отложен горизонт прогнозирования в днях, неделях и месяцах соответственно, по оси ординат – значения оценки точности относительно ARMA; на рис. 1.6 (г-е) приведен график зависимости значений оценки точности MAPE относительно модели ARMA в ретроспективном разрезе для пар станций с детализацией по дням, неделям и месяцам соответственно, по оси абсцисс отложен горизонт прогнозирования в днях, неделях и месяцах соответственно, по оси ординат – значения оценки точности относительно ARMA.

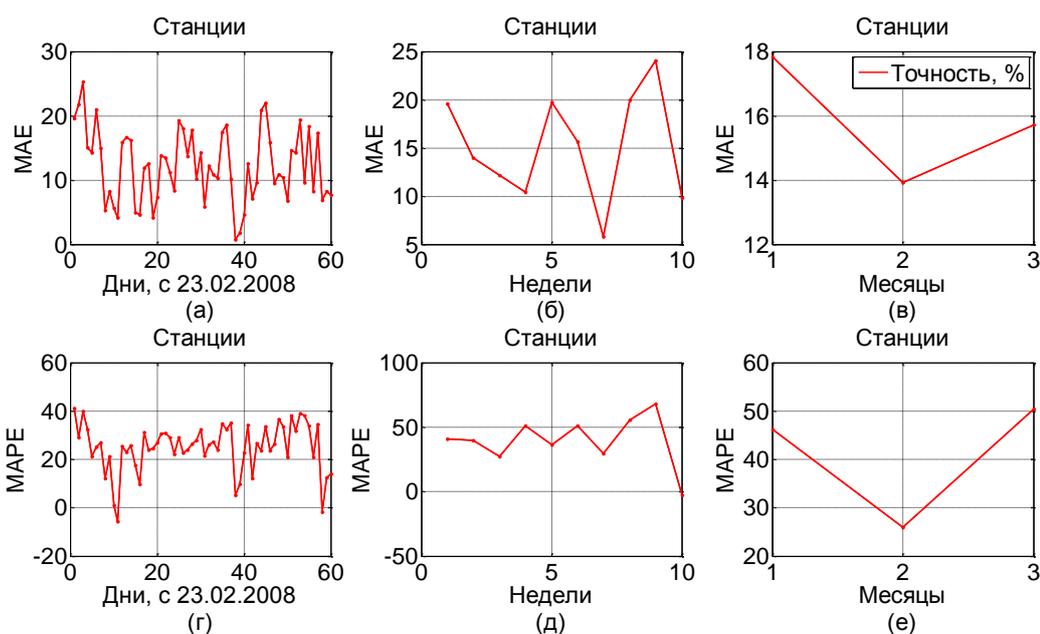


Рис. 1.6. Сравнение точности относительно модели ARMA

2) Табличные значения оценки точности относительно модели ARMA для пар станции и регионов с детализацией по дням (Д), неделям (Н), месяцам (М), вычисленные по формулам (75-80), представляются в формате табл. 1.5:

Таблица 1.5 Оценка точности для пар станций и регионов (%).

	Станции			Регионы		
	Д	Н	М	Д	Н	М
Тип груза
Наименование типа груза
...

3) Графики значений оценки точности относительно прогнозов модели ARMA, агрегированных для пар станций и регионов с детализацией по дням, неделям и месяцам для различных видов грузов, вычисленных по формулам (75-80). Пример такого графика – рис. 1.7. На рис. 1.7 приведен график зависимости точности относительно модели ARMA для пар регионов с детализацией по дням, по оси абсцисс отложены значения кодов груза, по оси ординат – значения оценки точности относительно ARMA.

4) Табличные значения оценки точности относительно модели ARMA для пар станций и регионов, вычисленные по формулам (75-80) и отсортированные по убыванию оценки точности представляются в формате табл. 1.6.

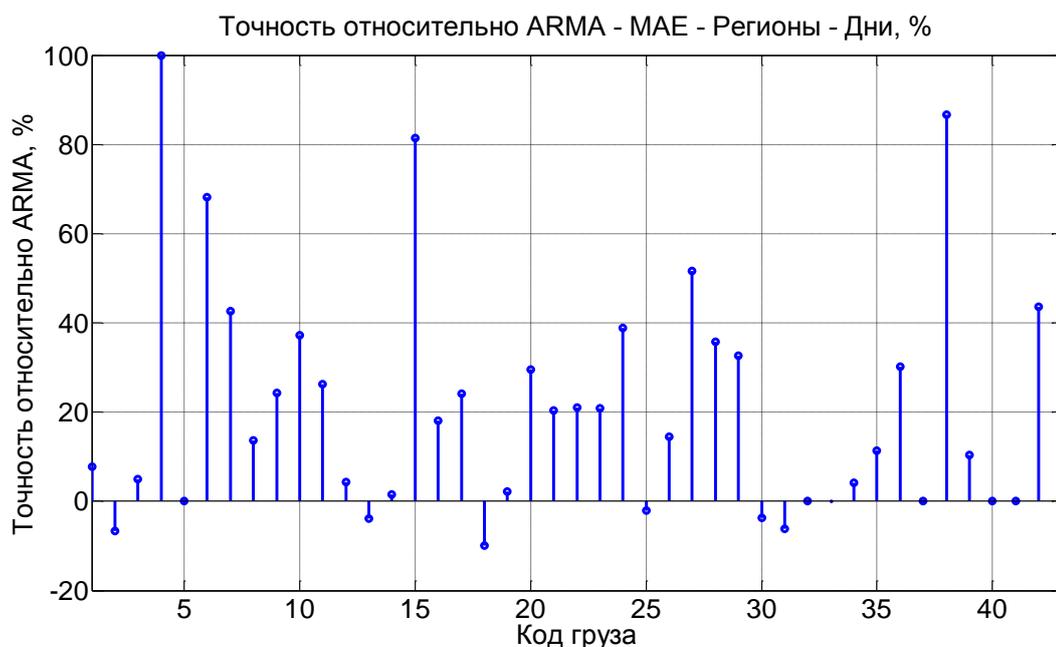


Рис. 1.7. Оценка точности относительно модели ARMA для пар станций с детализацией по дням, %

Таблица 1.6 – Упорядоченные по убыванию агрегированные по времени оценки точности для пар станций и регионов (%).

Станции	Точность, %	Регионы	Точность, %
# Наименование типа груза	...	# Наименование типа груза	...
...

Провести сравнение результатов прогнозирования ОСГП, получаемых с использованием макета модуля прогнозирования ОСГП и аналогичных прогнозов, получаемых по модели ARMA, со значениями контрольной выборки данных об объемах спроса на ГП по данным, указанных в таблице значений оценки точности прогнозирования относительно модели ARMA для пар станций и регионов с детализацией по дням, неделям и месяцам.

Указать, используя таблицы ранжированных значений, наилучшие результаты прогнозирования относительно модели ARMA по оценке точности.

1.3 Выводы

В этом разделе, выполненном в соответствии с пп. 2.9, 3.13 и 6.1.3.7 Технического задания и пп. 3.1 Календарного плана, представлены результаты разработки программы и методики проведения вычислительного эксперимента по прогнозированию объемов спроса на ГП на макете модуля прогнозирования ОСГП.

Техническое описание программы и методики проведения вычислительного эксперимента по прогнозированию объемов спроса на ГП на макете модуля прогнозирования ОСГП оформлена и представлена в Приложении А «ФИЦИУРАН-58.29.29/forecast-01-51-01 «Макет модуля прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки. Программа и методика проведения вычислительного эксперимента».

Таким образом, все работы данного раздела, предусмотренные Календарным планом и Техническим заданием, выполнены полностью.

В основу разработанной математической модели прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки, учитывающей влияние экзогенных факторов на объемы спроса на грузовые железнодорожные перевозки были положены теоретические результаты, полученные на предыдущем этапе (раздел 1 Отчета о ПНИ за второй этап: «Исследования по разработке математической модели прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки, учитывающей влияние экзогенных факторов на объемы спроса на грузовые железнодорожные перевозки, а также специфику бизнес-процессов и нормативов индустриального партнера») и представленные в статье: Kuznetsov M.P., Tokmakova A.A., Strijov V.V. Analytic and stochastic methods of structure parameter estimation // Informatica, 2016. –17 p.

2 Проведение серии вычислительных экспериментов по прогнозированию объёмов спроса на грузовые железнодорожные перевозки на модельных исходных данных объёмов спроса на грузовые железнодорожные перевозки и экзогенных факторов с помощью макета модуля прогнозирования объёмов спроса на грузовые железнодорожные перевозки для подтверждения адекватности и ожидаемости результатов прогноза экспертной оценке

Представленные в этом разделе результаты вычислительных экспериментов по прогнозированию ОСГП на модельных исходных данных объёмов спроса на ГП и экзогенных факторов и оценка адекватности и ожидаемости результатов прогнозов экспертной оценке выполнены в соответствии с п. 3.14 Технического задания и п. 3.2 Календарного плана.

Вычислительный эксперимент проведен в центре коллективного пользования (ЦКП) МСЦ РАН с использованием уникального научного оборудования (суперкомпьютер МВС-10П).

Результаты дополнительных исследований по выявлению экзогенных факторов, оказывающих влияние на прогнозные объемы железнодорожных перевозок, и повышению релевантности экзогенных факторов, результаты дополнительной серии вычислительных экспериментов приведены в Приложении В «Отчет о дополнительных исследованиях. Исследование и разработка математических методов и алгоритмов для интеллектуальной системы анализа данных (подсистемы прогнозирования объёмов спроса на грузовые железнодорожные перевозки) по теме: «Выявление экзогенных факторов, оказывающих влияние на прогнозные объемы железнодорожных перевозок и повышение релевантности экзогенных факторов».

2.1 Результаты вычислительных экспериментов

1) Визуализация повышения качества прогноза объёмов перевозок каждого типа груза при включении экзогенных факторов представлена на рис. 2.1. На рис. 2.1 по осям абсцисс отложены коды экзогенных факторов (временные ряды экзогенных факторов), по осям ординат – коды типов грузов (эндогенные временные ряды), цвет ячейки рисунка отвечает числу включений соответствующей компоненты в прогностическую модель для прогнозируемого эндогенного временного ряда.

2) Список наименований экзогенных факторов, оказывающих наиболее влияние на прогнозируемые временные ряды объемов перевозок с указанием типов грузов приведен в табл. 2.1;

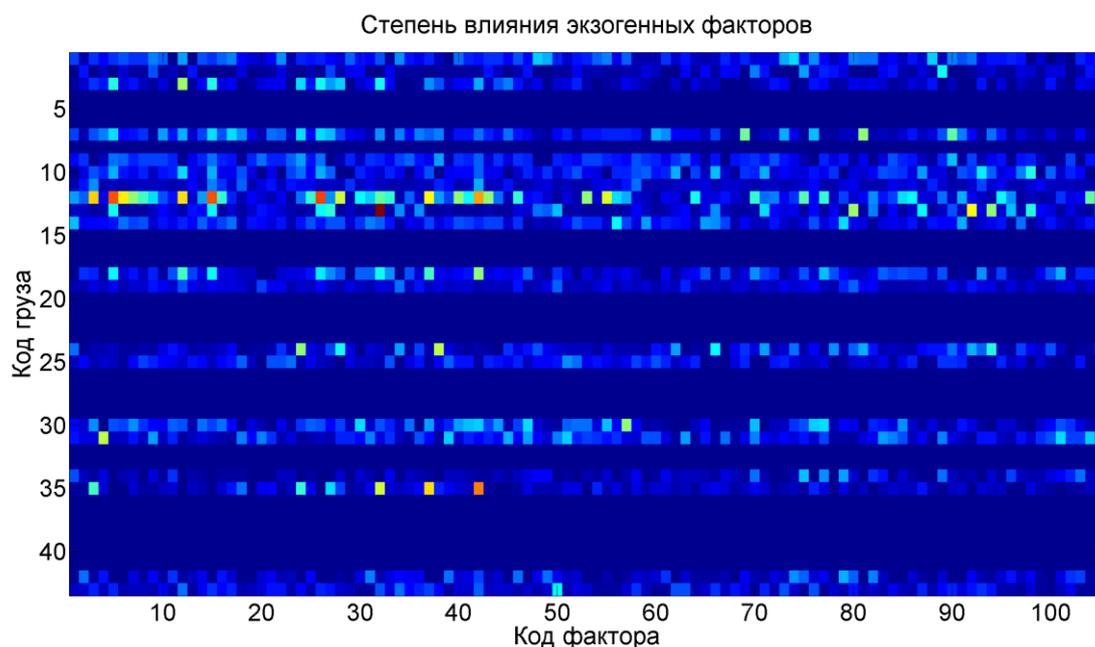


Рис. 2.1. Визуализация повышения качества прогноза объемов перевозок данного типа груза при включении экзогенных факторов

Таблица 2.1 – Соответствие временных рядов объемов перевозок и экзогенных факторов Ex VAR

Типы грузов	Экзогенные факторы, оказывающие наибольшее влияние
<i>1</i>	<i>2</i>
#1 Каменный уголь	Крахмал сухой, т
#2 Кокс	Сахар-песок, т
#3 Нефть	CZK
#4 Торф	
#6 Флюсы	
#7 Руда железная	Молоко
#8 Руда цветная	
#9 Черные металлы	Сахар
#10 Машины и оборудование	вина виноградные, тыс., дкл
#11 Металлические конструкции	UZS
#12 Метизы	LTL
#13 Лом черных металлов	PLN
#14 Сельскохозяйственные машины	Индекс машиностроения Московской Биржи
#15 Автомобили	

Типы грузов	Экзогенные факторы, оказывающие наибольшее влияние
#16 Цветные металлы	
#17 Химические и минеральные удобрения	
#18 Химикаты и сода	UZS

Таблица 2.1. – Продолжение

<i>1</i>	<i>2</i>
#19 Строительные грузы	RON
#20 Промышленное сырье	
#21 Шлаки гранулированные	
#22 Огнеупоры	
#23 Цемент	
#24 Лесные грузы	TMT
#25 Сахар	Индекс ММВБ
#26 Мясо и масло животное	
#27 Рыба	
#28 Картофель, овощи и фрукты	
#29 Соль поваренная	
#30 Остальные продовольственные товары	Индекс металлов и добычи Московской Биржи
#31 Промышленные товары народного потребления	Aluminium
#33 Сахарная свекла и семена	
#34 Зерно	Крупа, т
#35 Продукты перемола	UZS
#36 Комбикорма	
#38 Жмыхи	
#39 Бумага	
#42 Грузы в контейнерах	Масла растительные, тыс. т
#43 Остальные и сборные грузы	Замороженная говядина

3) Графики временных рядов объемов перевозок данного типа груза совместно с экзогенным фактором, оказывающим наибольшее влияние на прогнозируемый временной ряд перевозок представлены на рис. 2.2 – 2.21. На рис. 2.2 – 2.21 приведены графики временных рядов объемов перевозок данного типа груза совместно с экзогенным фактором, по оси абсцисс отложены отсчеты временных рядов в днях, по оси ординат – значения временного ряда объемов перевозок данного типа груза (синий цвет) и значения временного ряда экзогенного фактора (зеленый цвет).

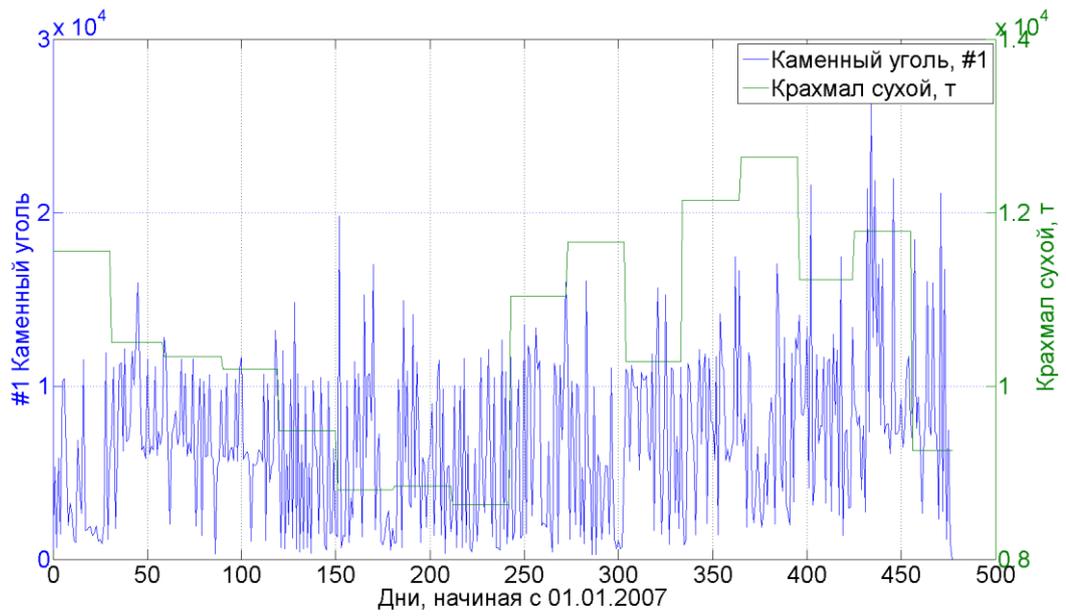


Рис. 2.2. Тип груза #1 Каменный уголь - Крахмал сухой, т

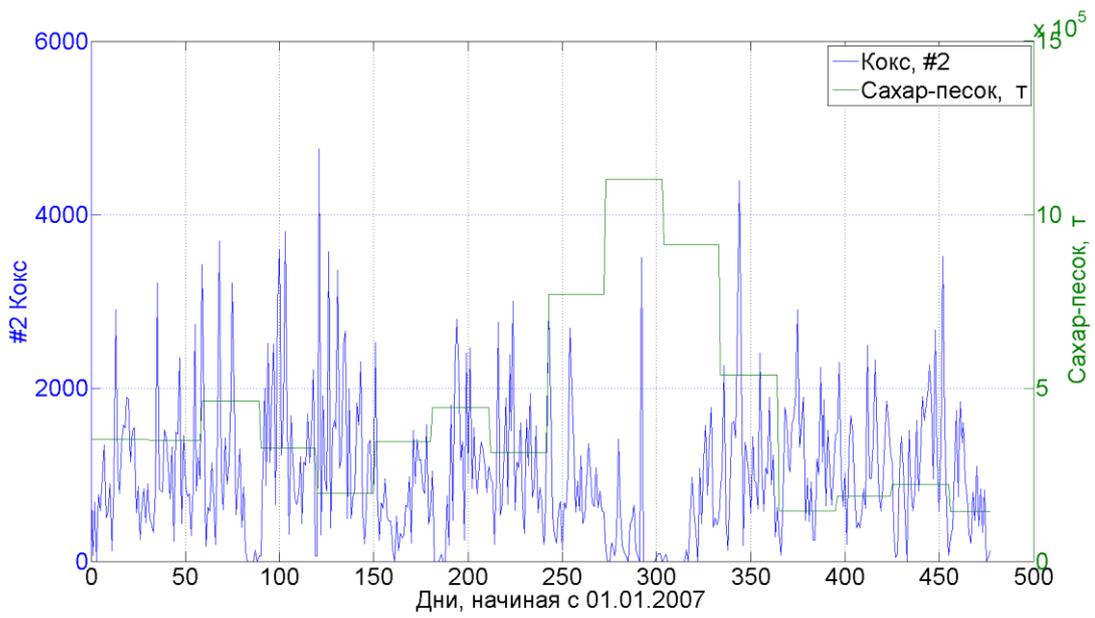


Рис. 2.3. Тип груза #2 Кокс - Сахар-песок, т

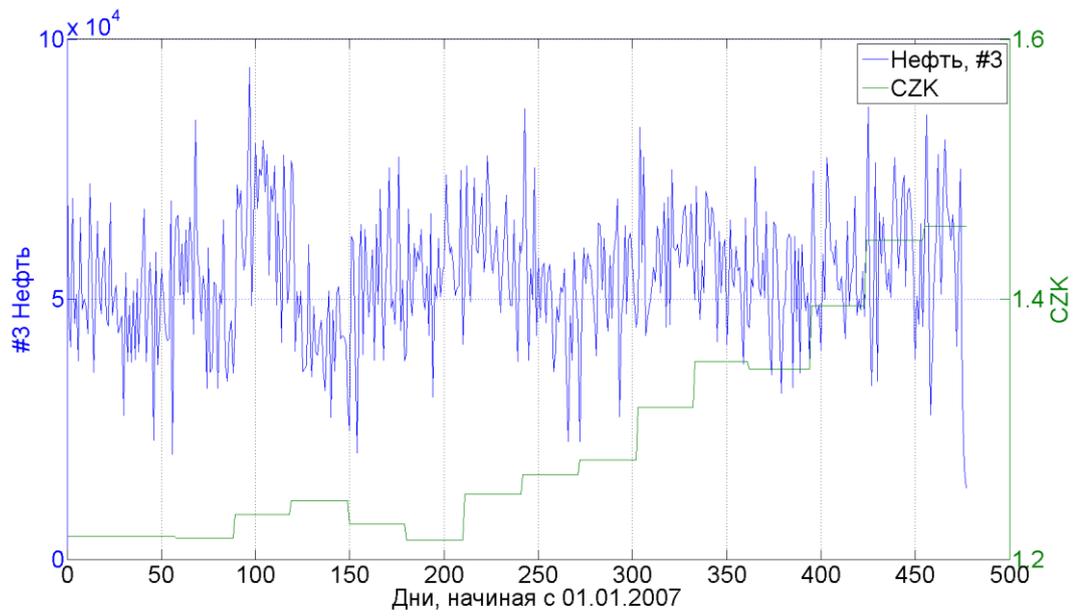


Рис. 2.4. Тип груза #3 Нефть – CZK

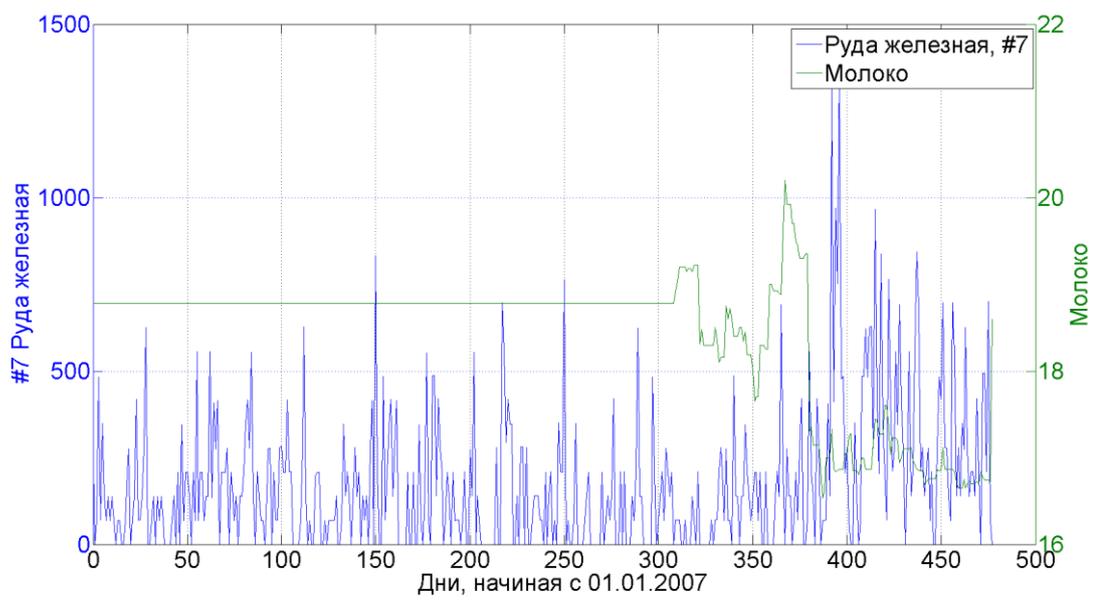


Рис. 2.5. Тип груза #7 Руда железная – Молоко

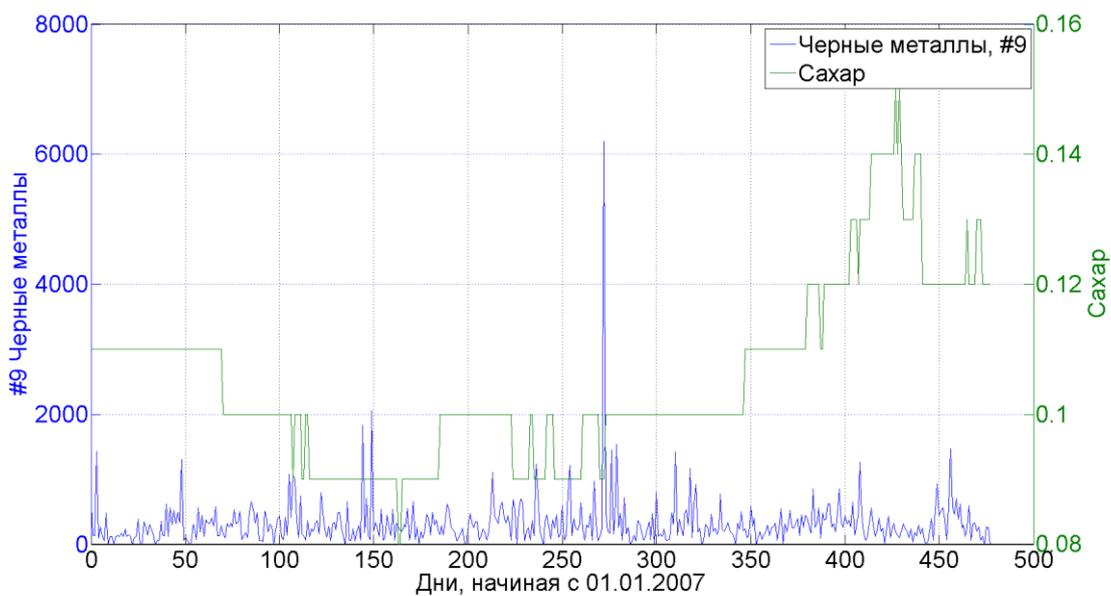


Рис. 2.6. Тип груза #9 Черные металлы – Сахар

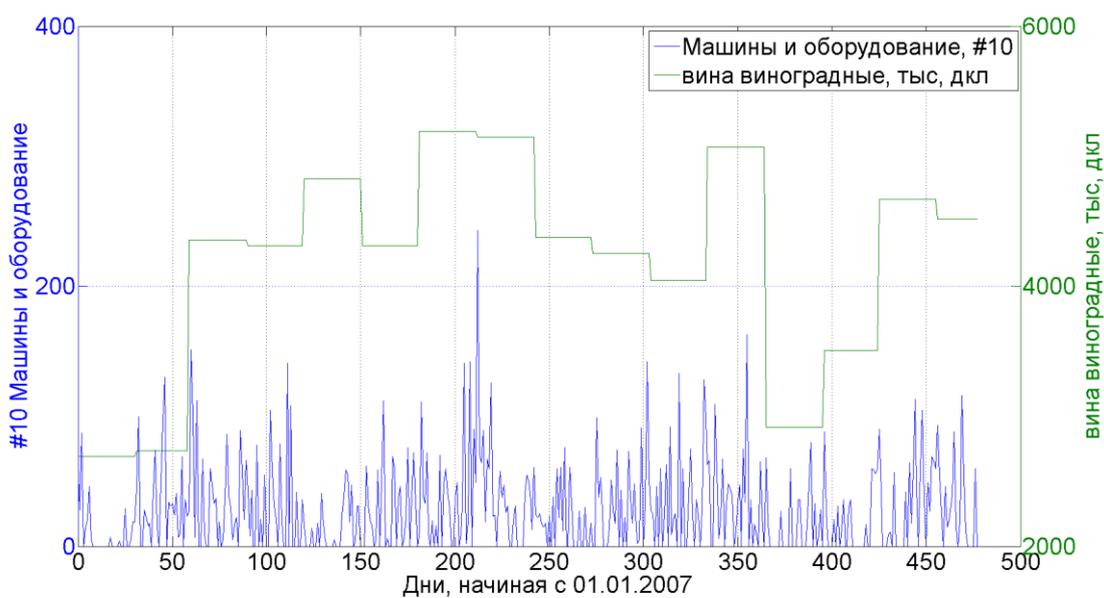


Рис. 2.7. Тип груза #10 Машины и оборудование - вина виноградные, тыс. дкл

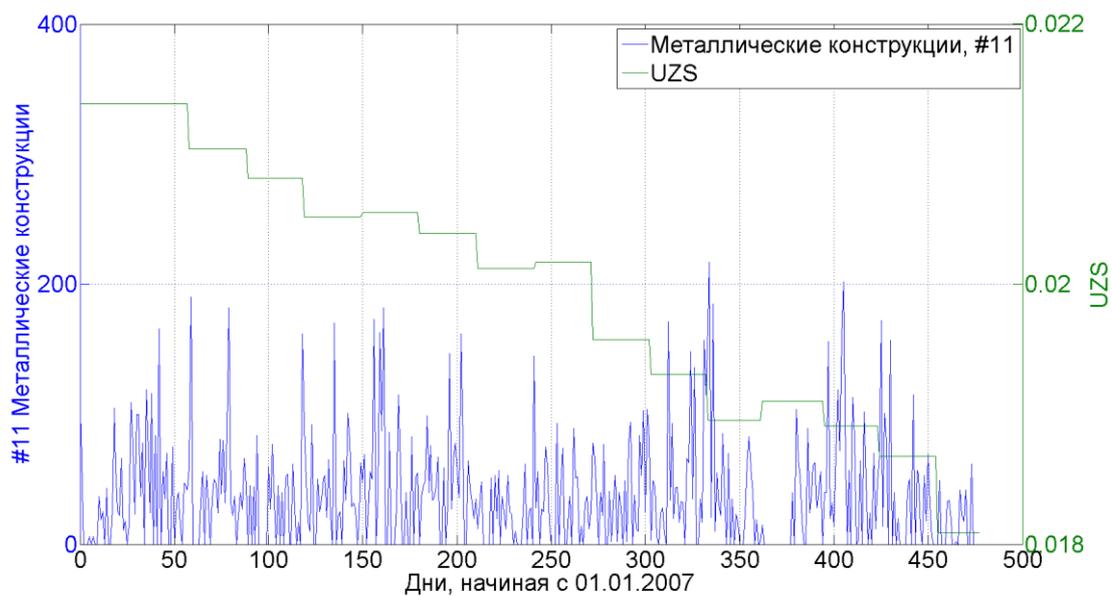


Рис. 2.8. Тип груза #11 Металлические конструкции – UZS

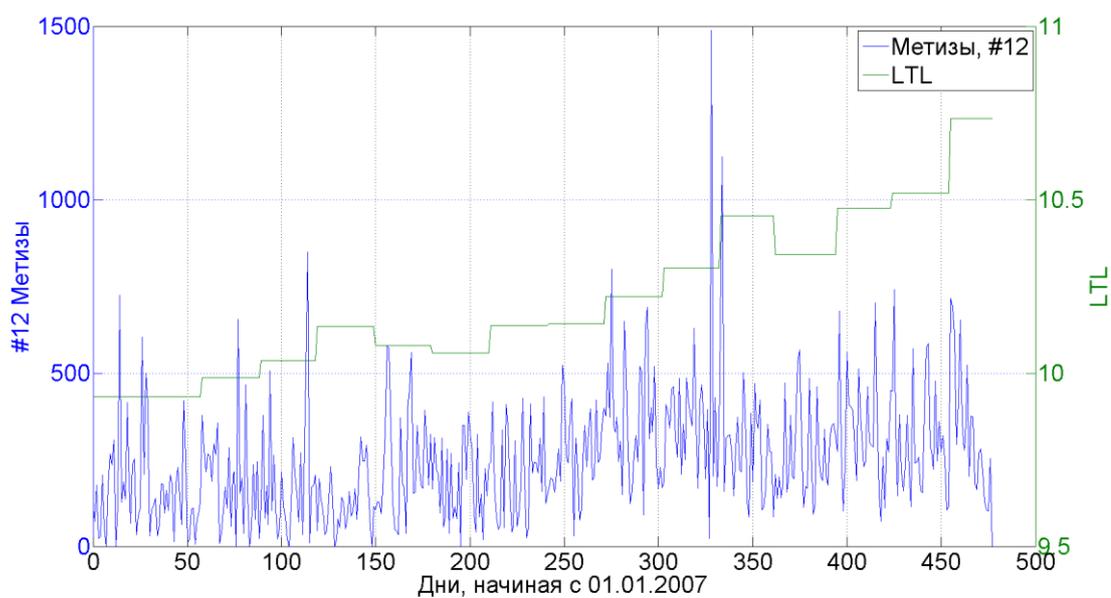


Рис. 2.9. Тип груза #12 Метизы – LTL

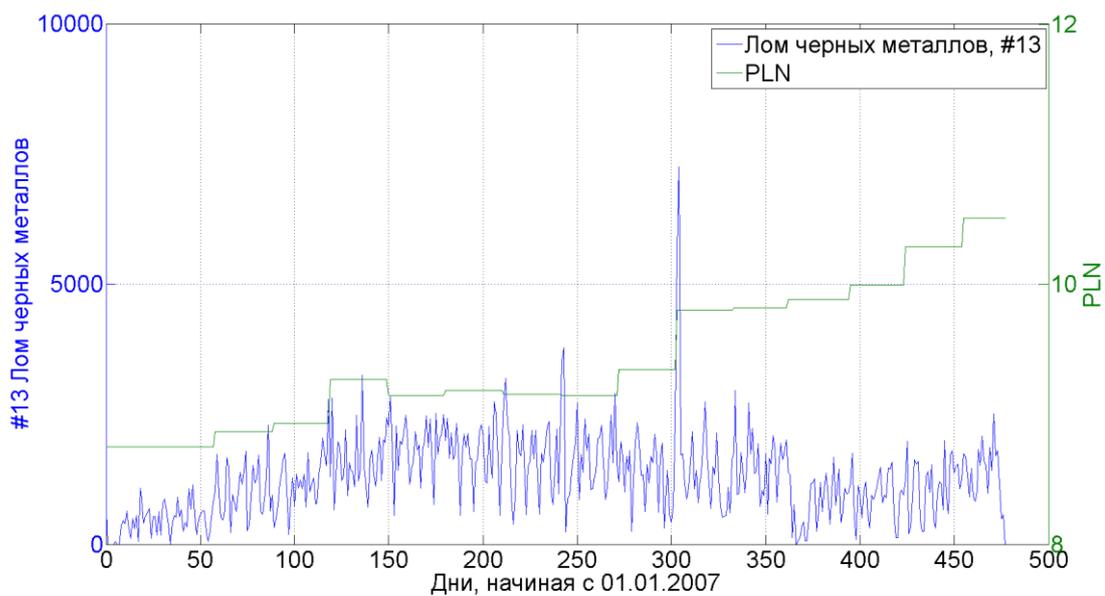


Рис. 2.10. Тип груза #13 Лом черных металлов – PLN

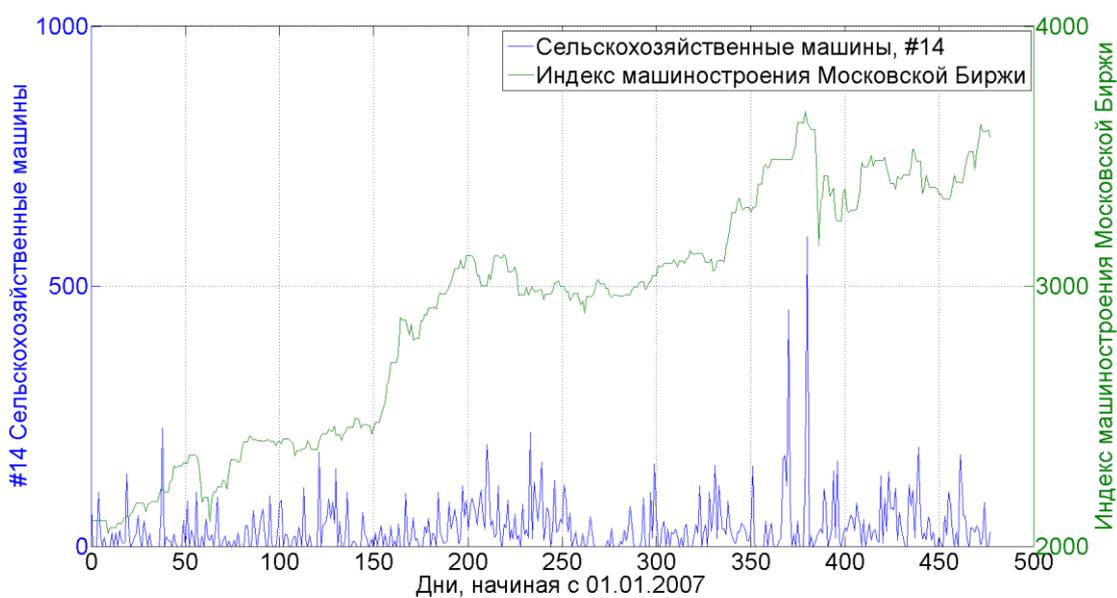


Рис. 2.11. Тип груза #14 Сельскохозяйственные машины - Индекс машиностроения Московской Биржи

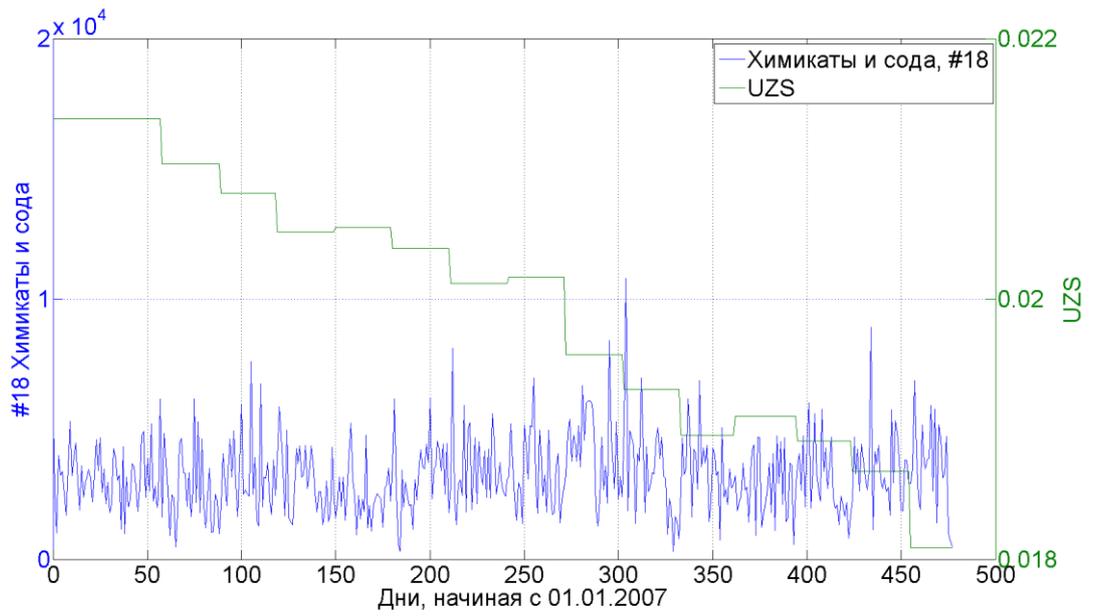


Рис. 2.12. Тип груза #18 Химикаты и сода – UZS

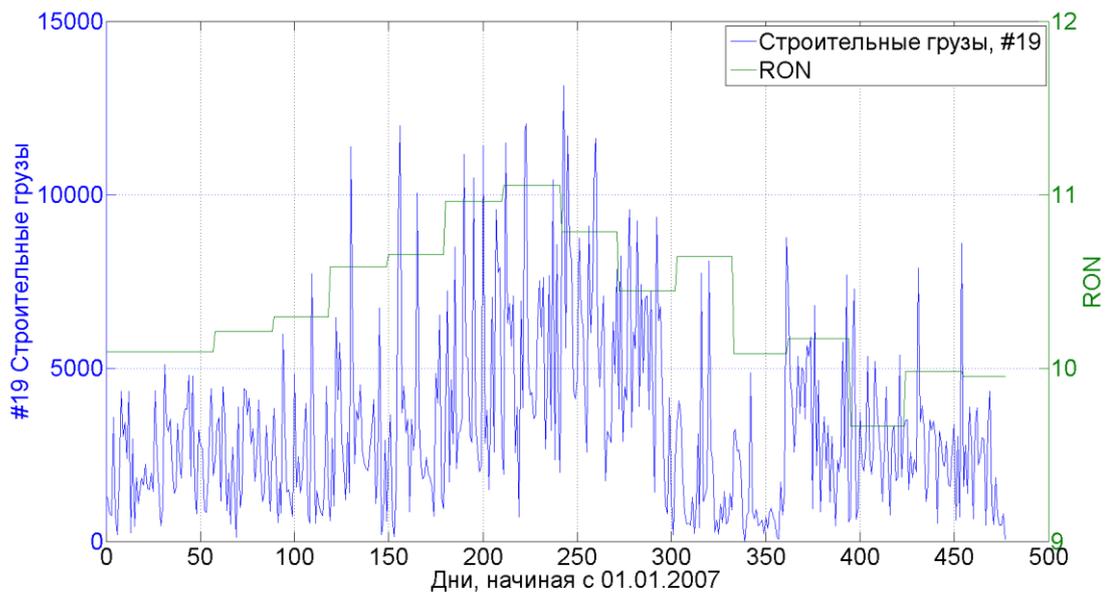


Рис. 2.13. Тип груза #19 Строительные грузы – RON

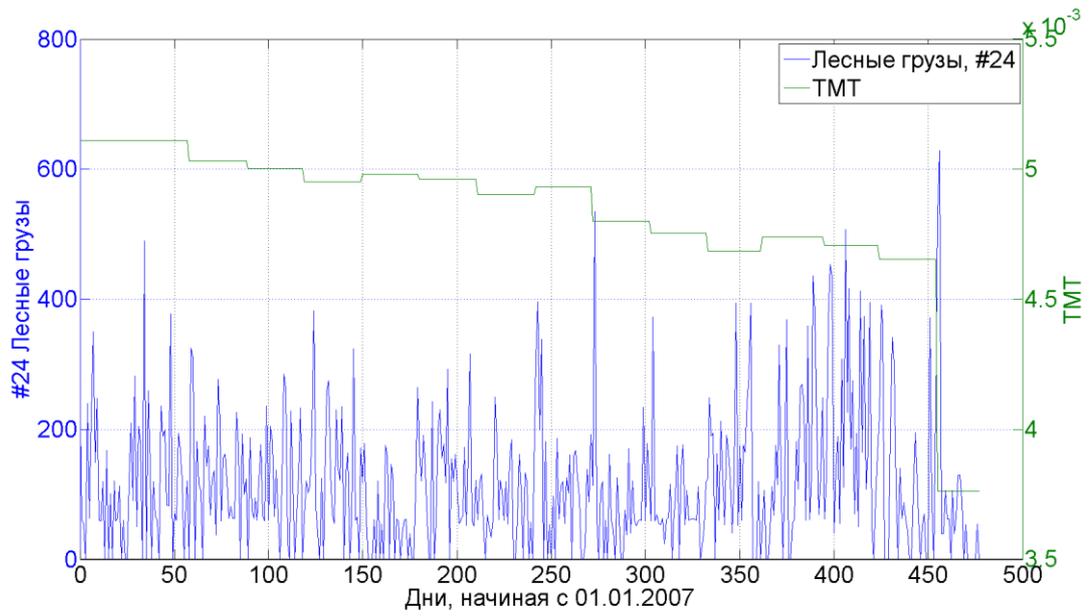


Рис. 2.14. Тип груза #24 Лесные грузы – ТМТ

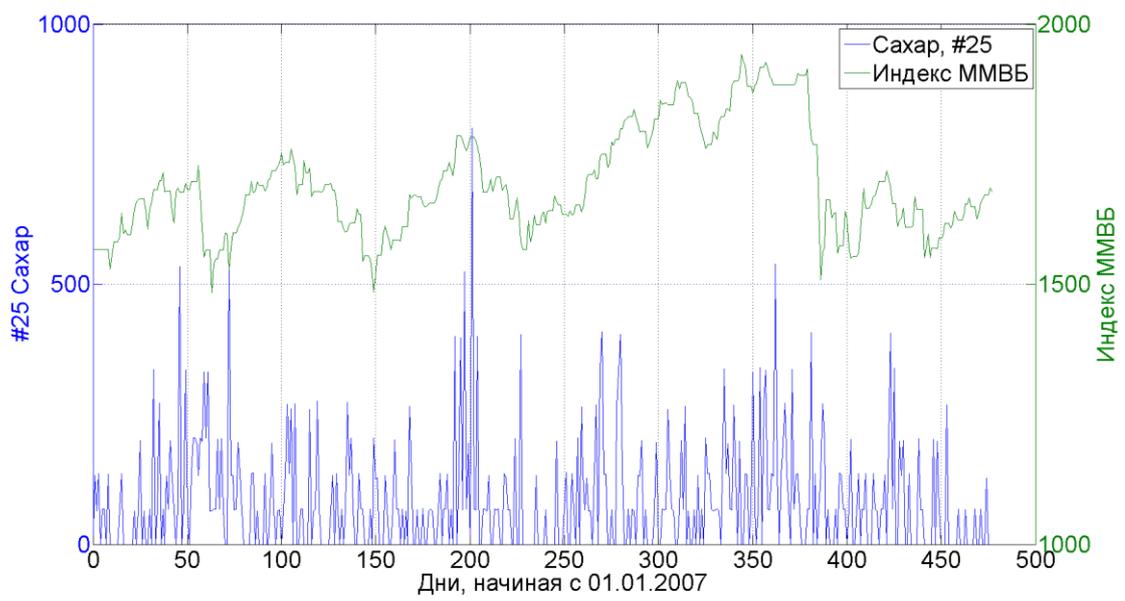


Рис. 2.15. Тип груза #25 Сахар - Индекс ММВБ

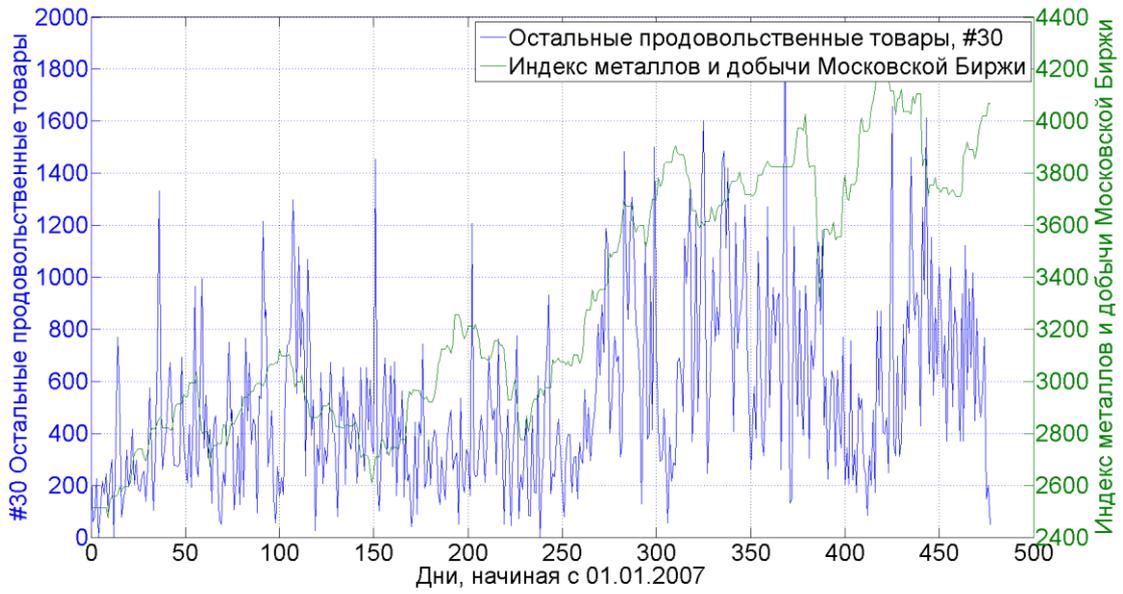


Рис. 2.16. Тип груза #30 Остальные продовольственные товары - Индекс металлов и добычи Московской Биржи

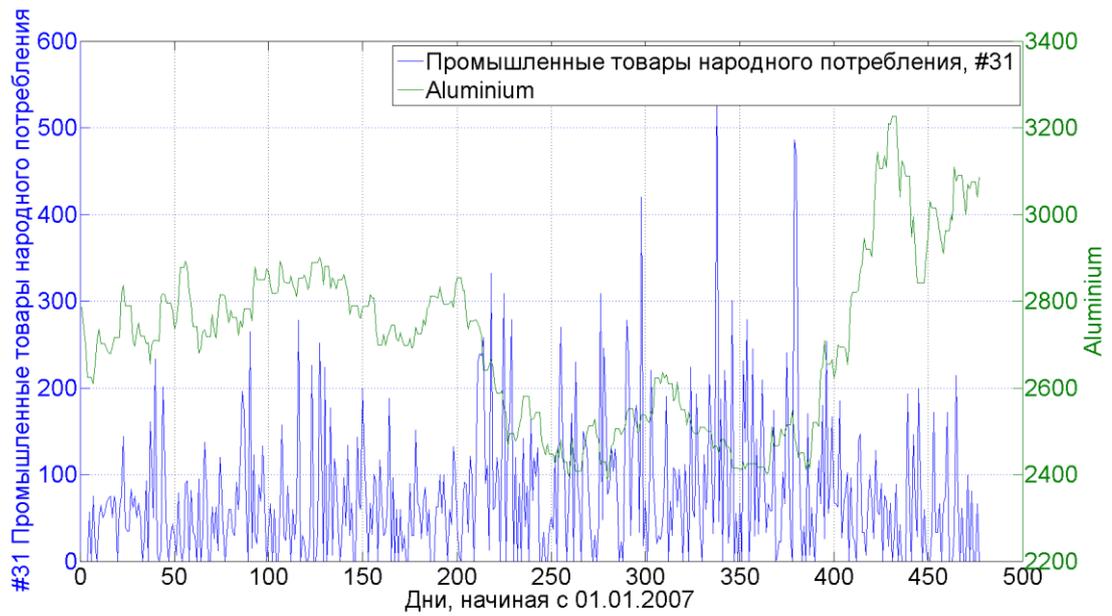


Рис. 2.17. Тип груза #31 Промышленные товары народного потребления – Aluminium

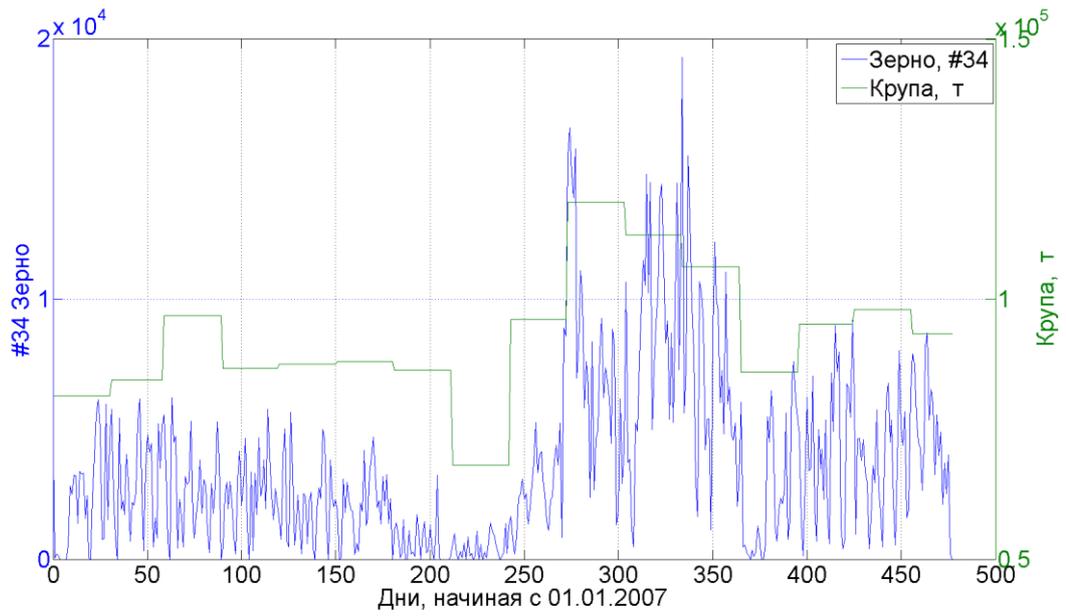


Рис. 2.18. Тип груза #34 Зерно - Крупа, т

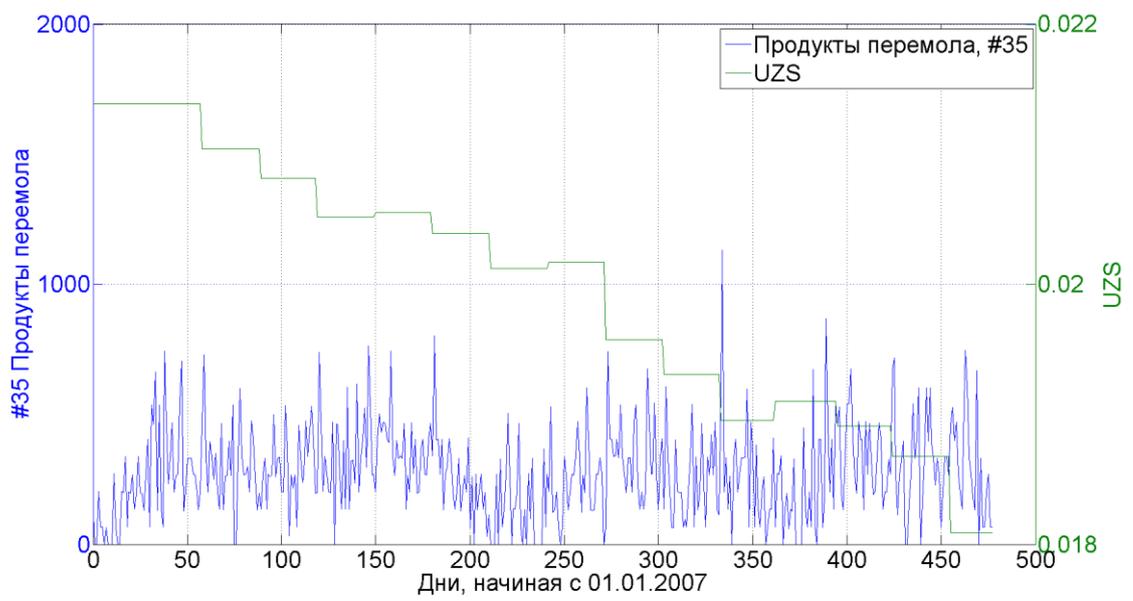


Рис. 2.19. Тип груза #35 Продукты перемола – UZS

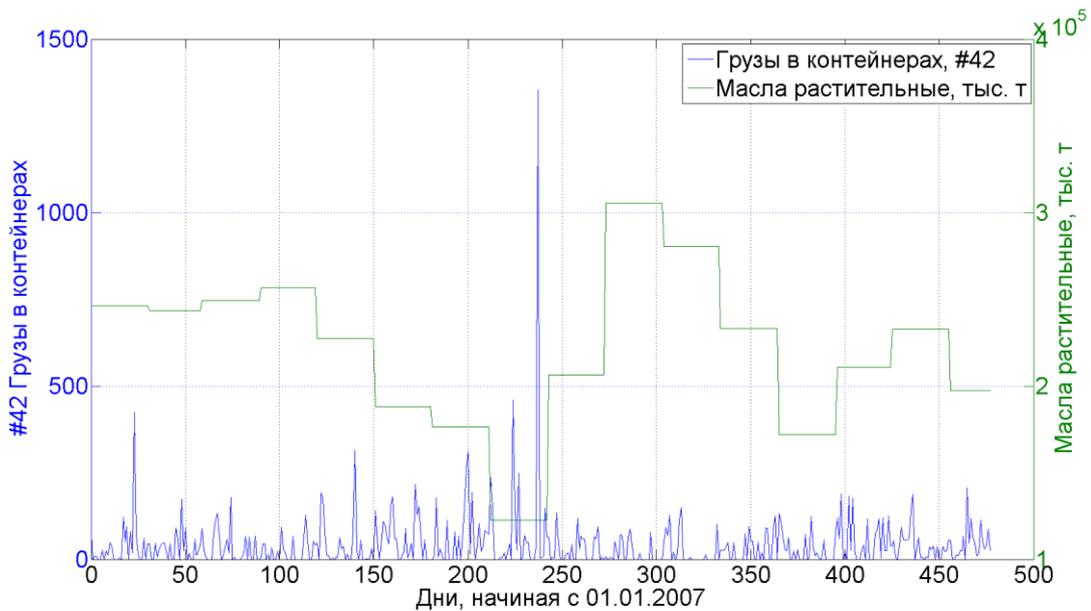


Рис. 2.20. Тип груза #42 Грузы в контейнерах - Масла растительные, тыс. т

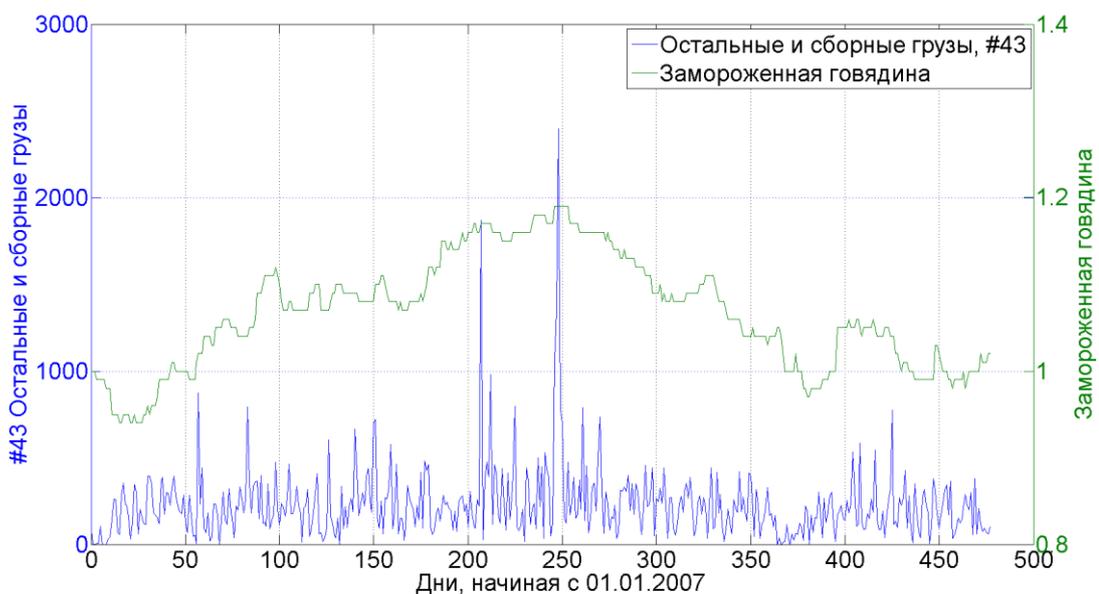


Рис. 2.21. Тип груза #43 Остальные и сборные грузы - Замороженная говядина

4) Графики прогнозов временных рядов совместно с прогнозируемыми временными рядам представлены на рис. 2.22 – 2.59. На рис. 2.22 – 2.59 синим цветом отложен график исходного временного ряда для данного типа груза, красным, зеленым, бирюзовым и фиолетовым цветами – прогноз временного ряда, полученные различными алгоритмами, по оси абсцисс – отсчеты временного ряда в днях, по оси ординат – значения исходного временного ряда (синим цветом) и

значения прогноза временного ряда, полученные различными алгоритмами (красный, зеленый, бирюзовый и фиолетовый соответственно).

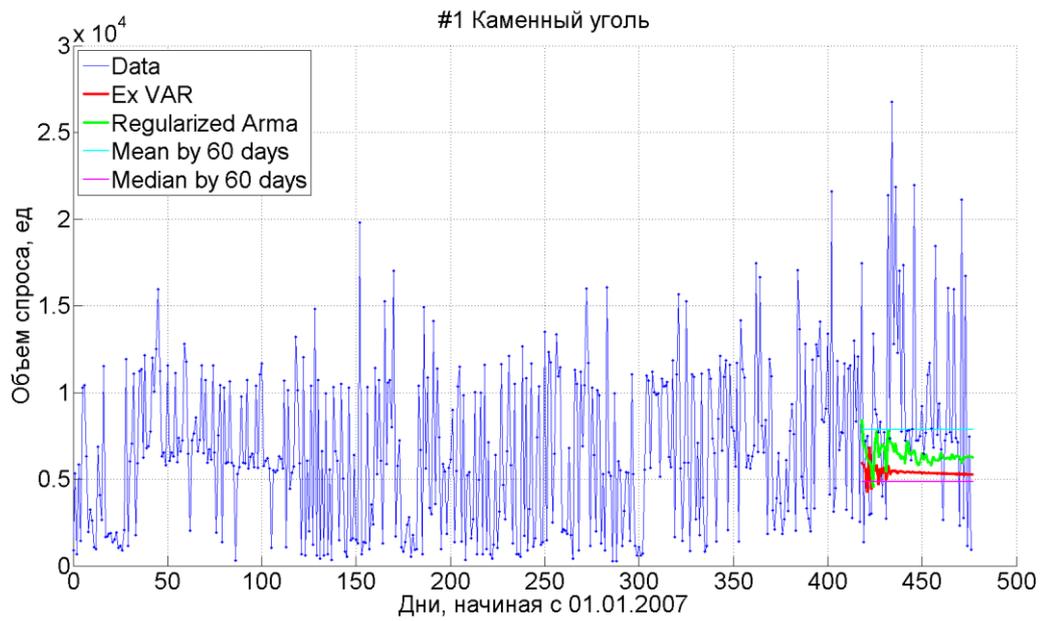


Рис. 2.22. Тип груза #1 Каменный уголь – Прогноз

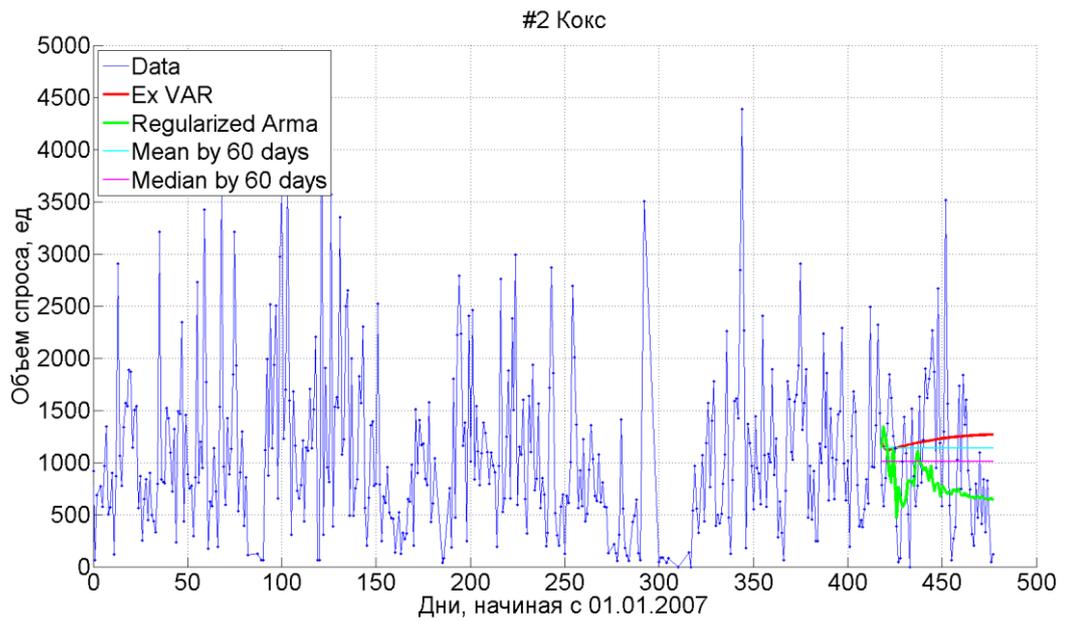


Рис. 2.23. Тип груза #2 Кокс – Прогноз

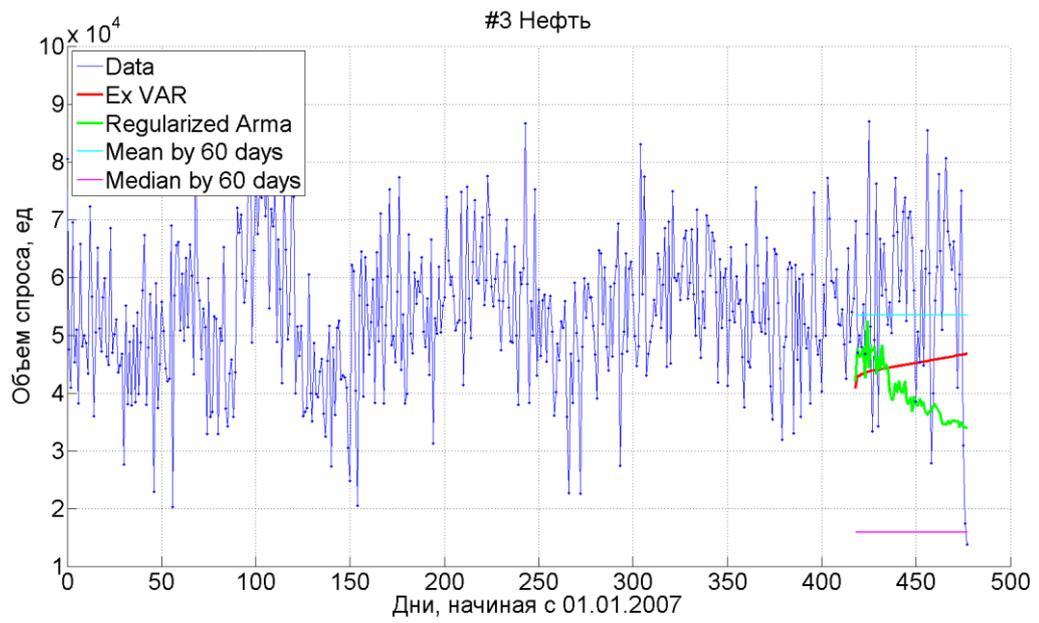


Рис. 2.24. Тип груза #3 Нефть – Прогноз

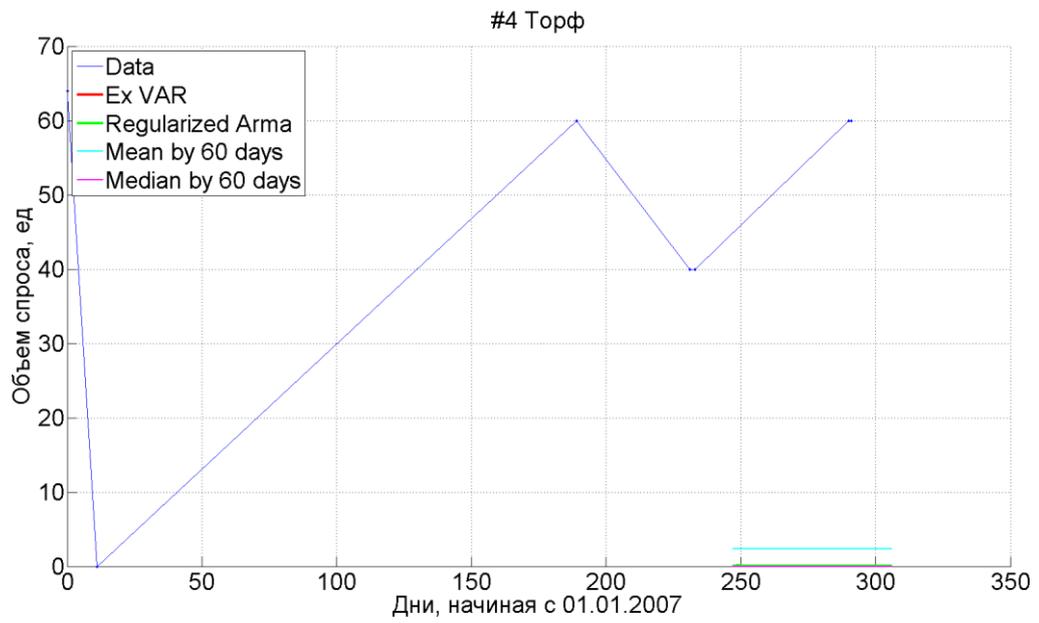


Рис. 2.25. Тип груза #4 Торф – Прогноз

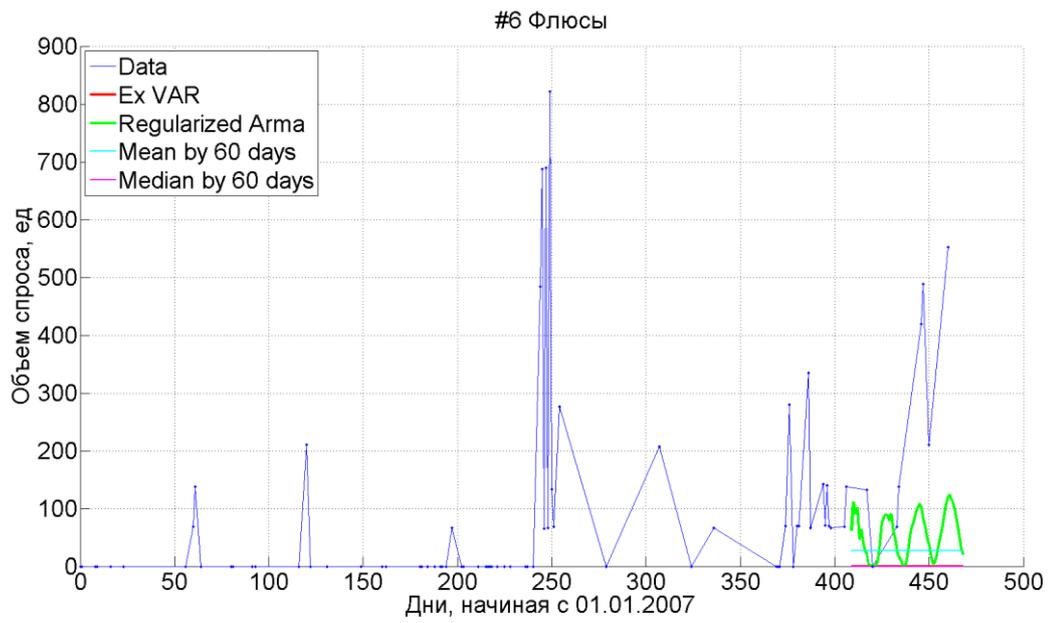


Рис. 2.26. Тип груза #6 Флюсы – Прогноз

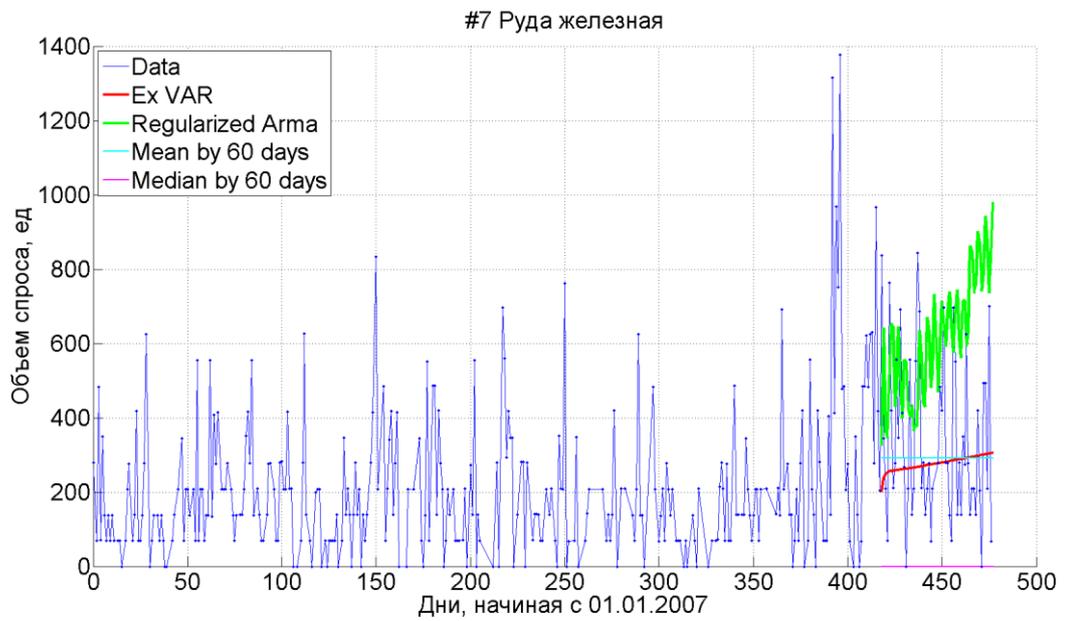


Рис. 2.27. Тип груза #7 Руда железная – Прогноз

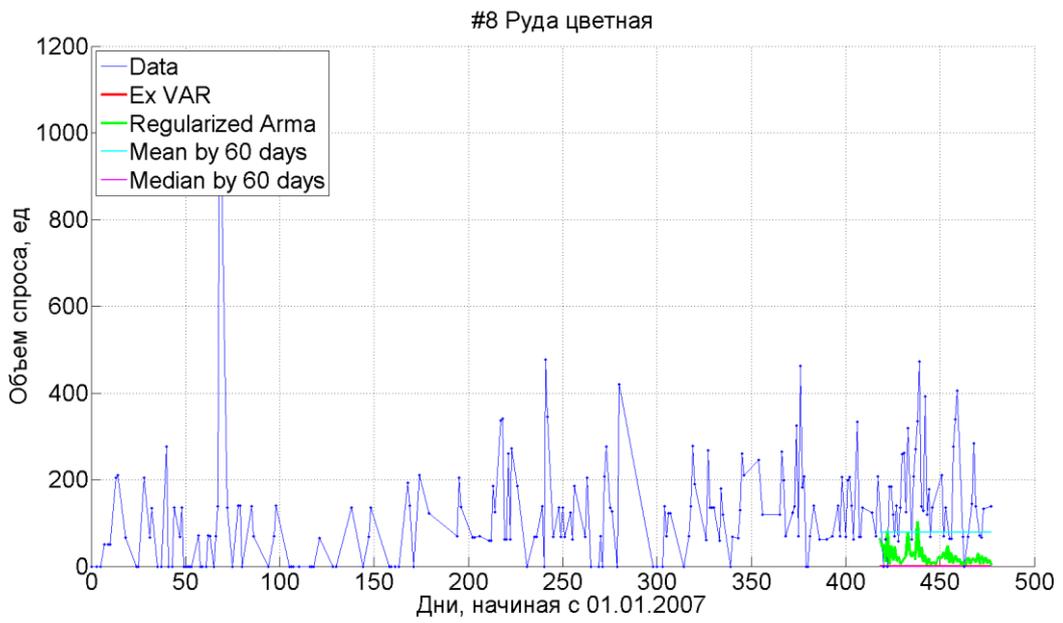


Рис. 2.28. Тип груза #8 Руда цветная – Прогноз

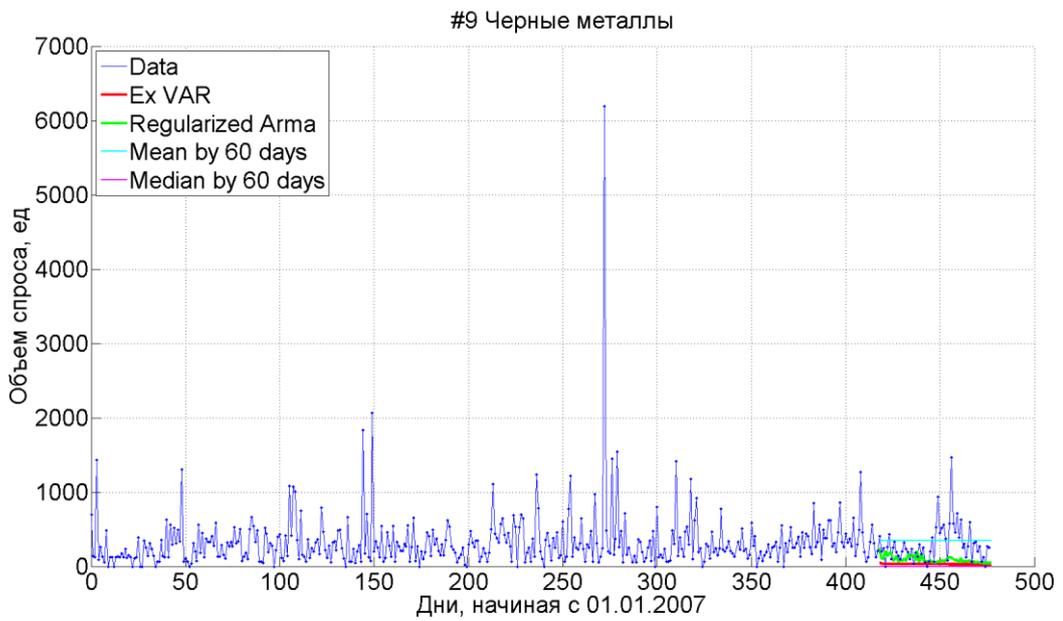


Рис. 2.29. Тип груза #9 Черные металлы – Прогноз

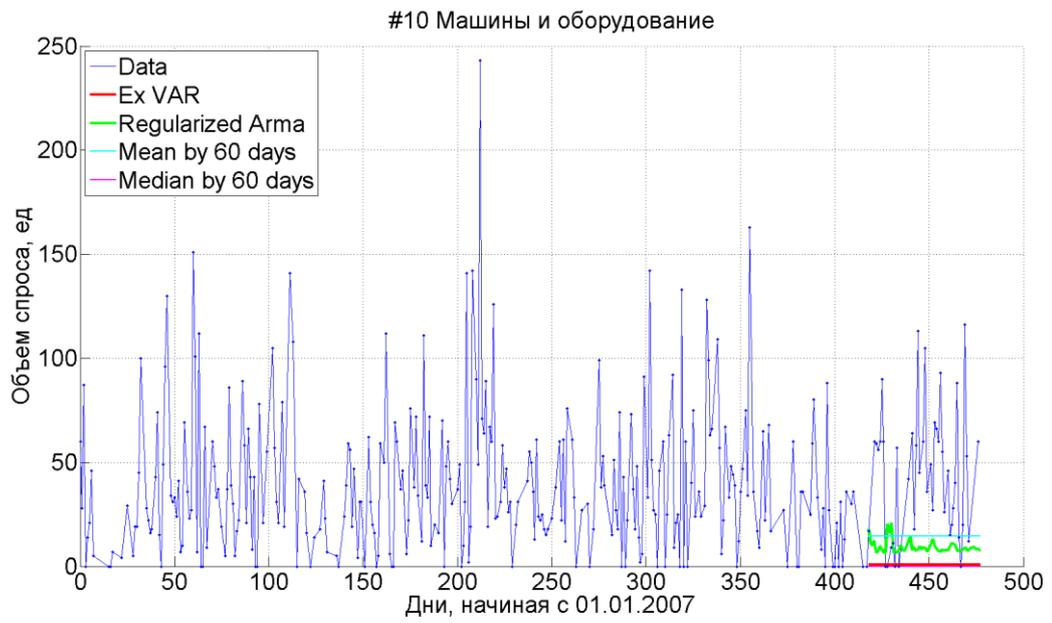


Рис. 2.30. Тип груза #10 Машины и оборудование – Прогноз

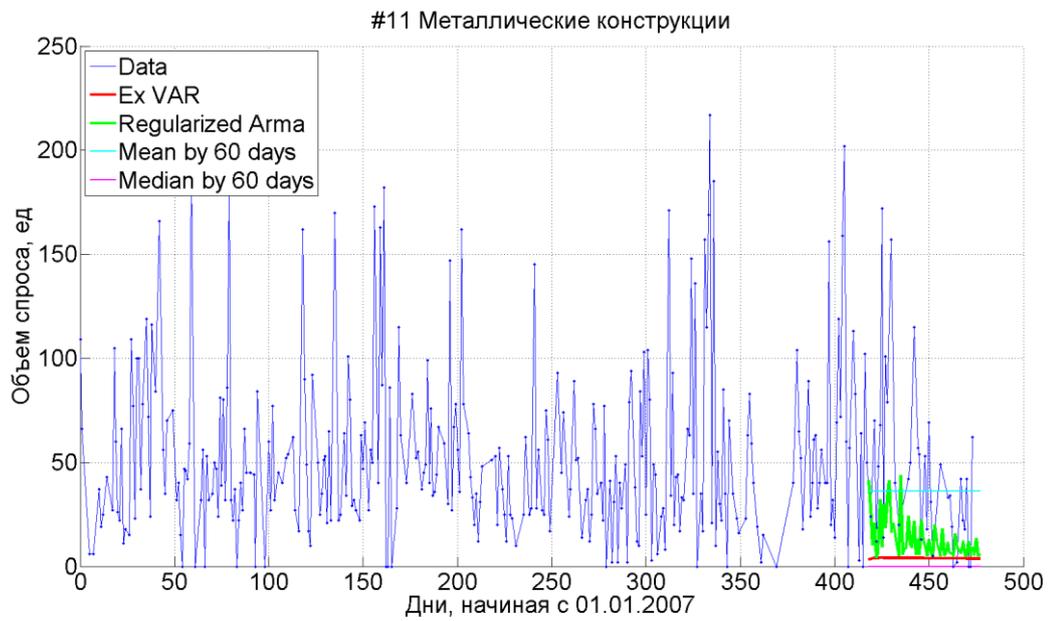


Рис. 2.31. Тип груза #11 Металлические конструкции – Прогноз

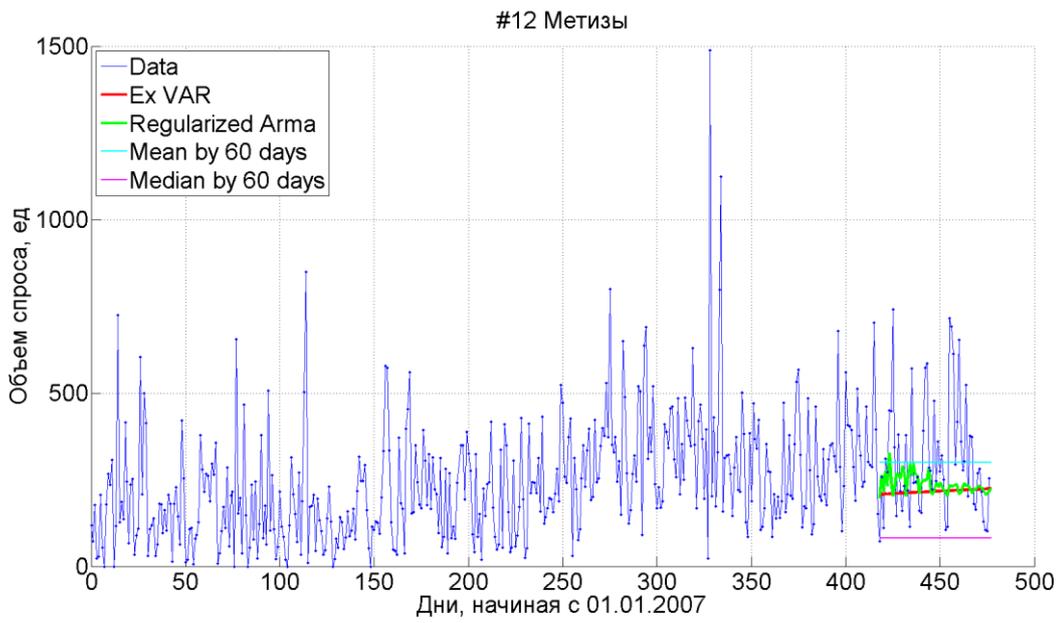


Рис. 2.32. Тип груза #12 Метизы – Прогноз

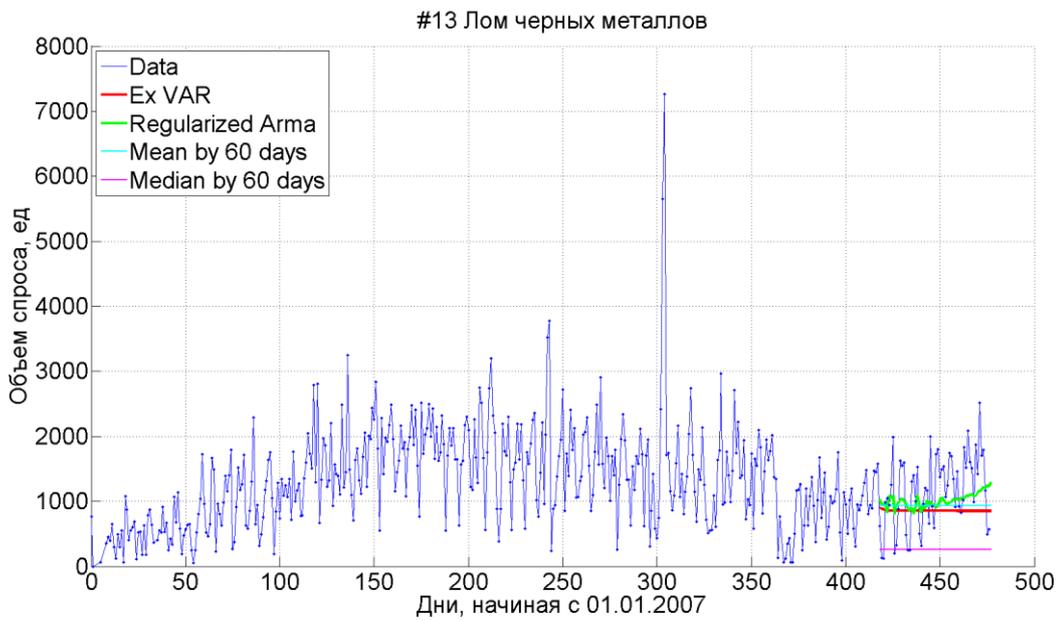


Рис. 2.33. Тип груза #13 Лом черных металлов – Прогноз

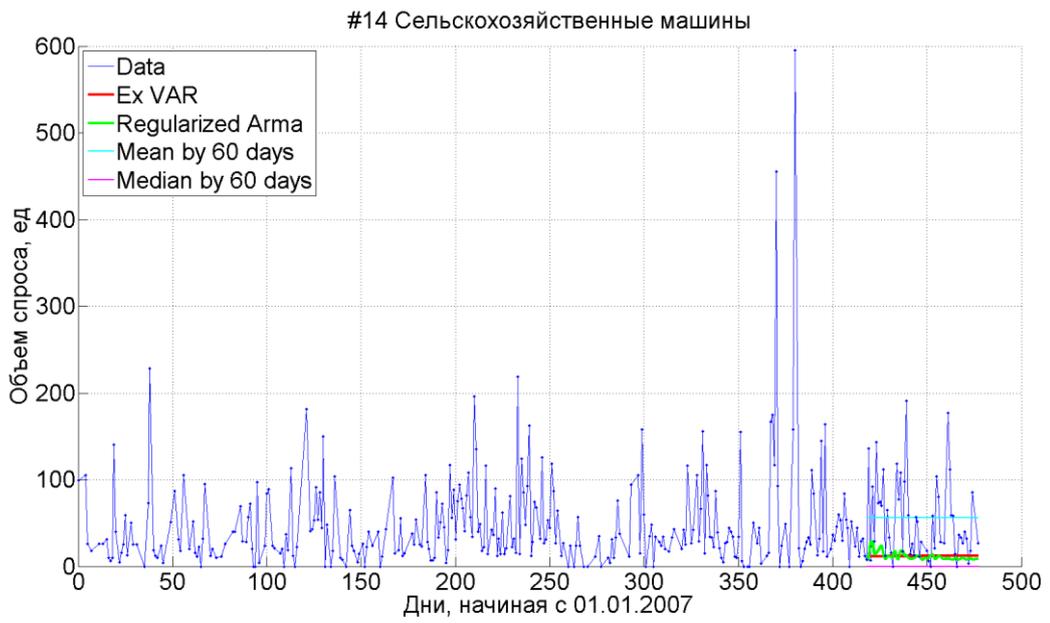


Рис. 2.34. Тип груза #14 Сельскохозяйственные машины – Прогноз

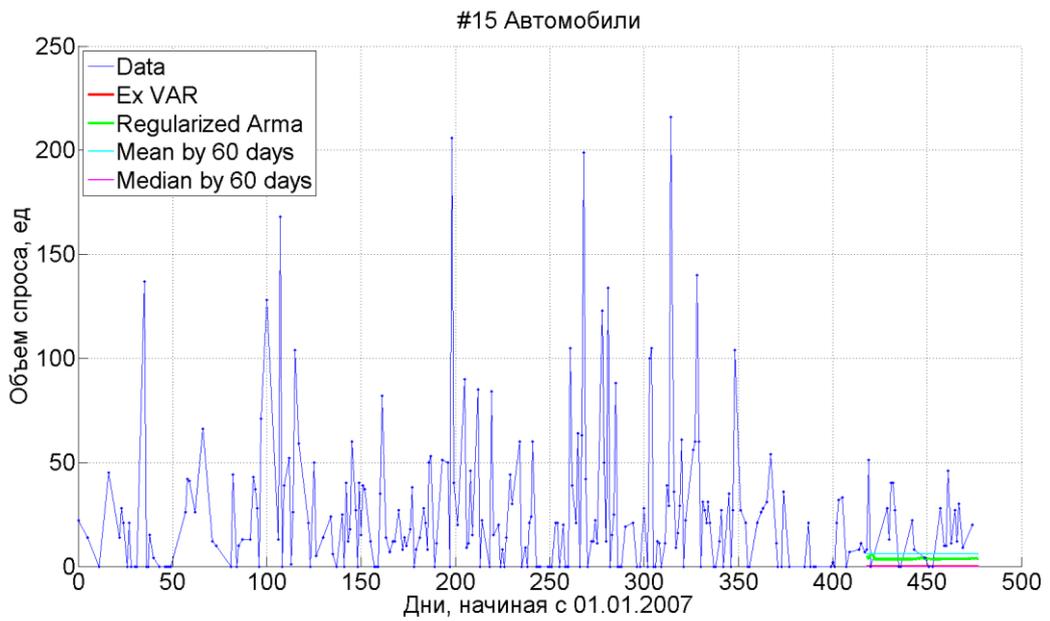


Рис. 2.35. Тип груза #15 Автомобили – Прогноз

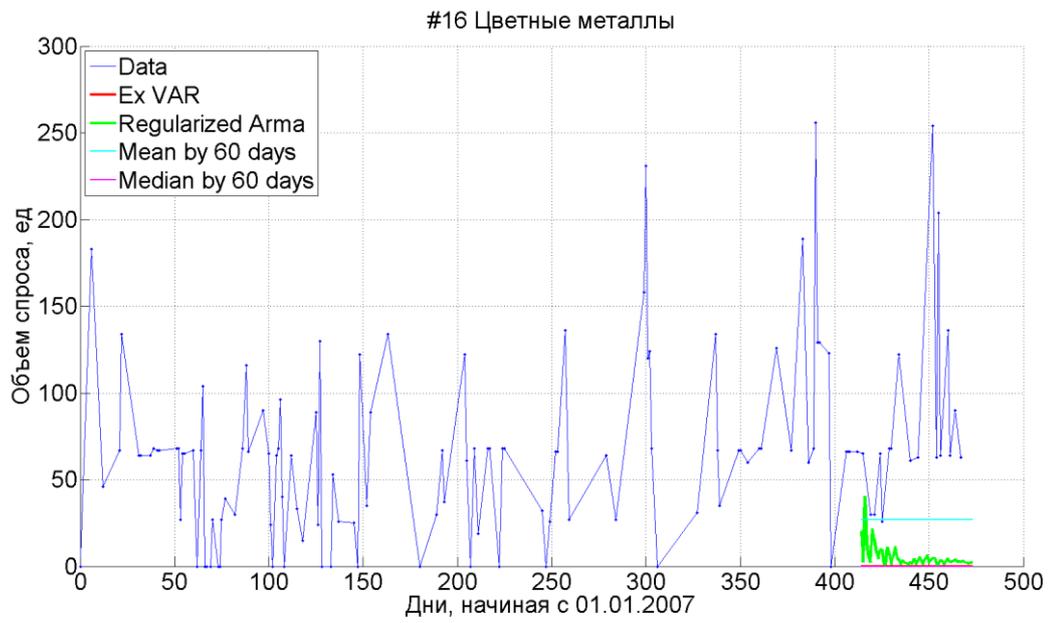


Рис. 2.36. Тип груза #16 Цветные металлы – Прогноз

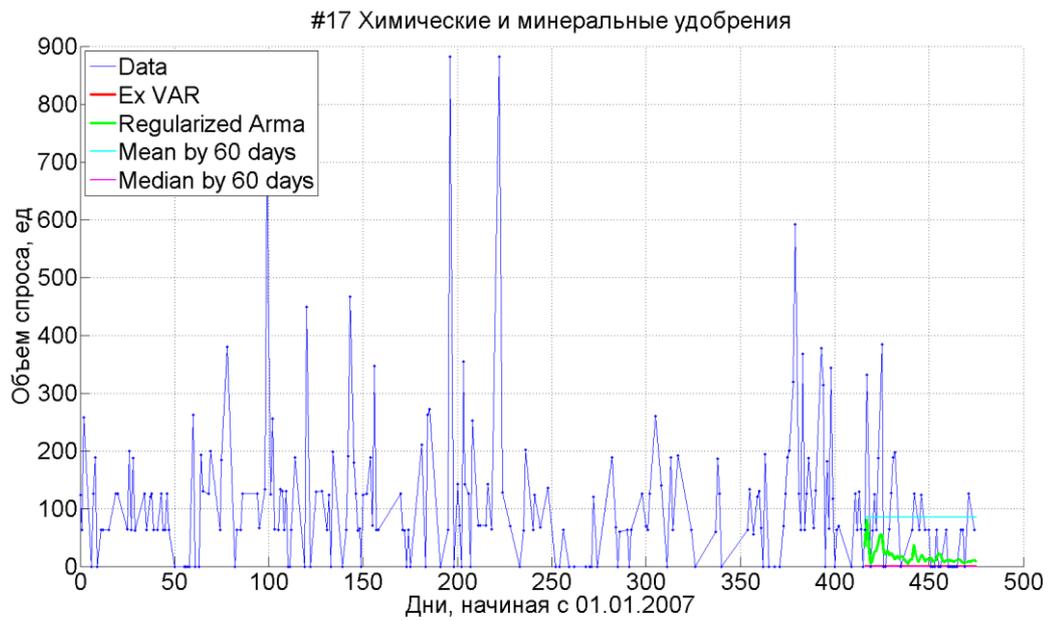


Рис. 2.37. Тип груза #17 Химические и минеральные удобрения – Прогноз

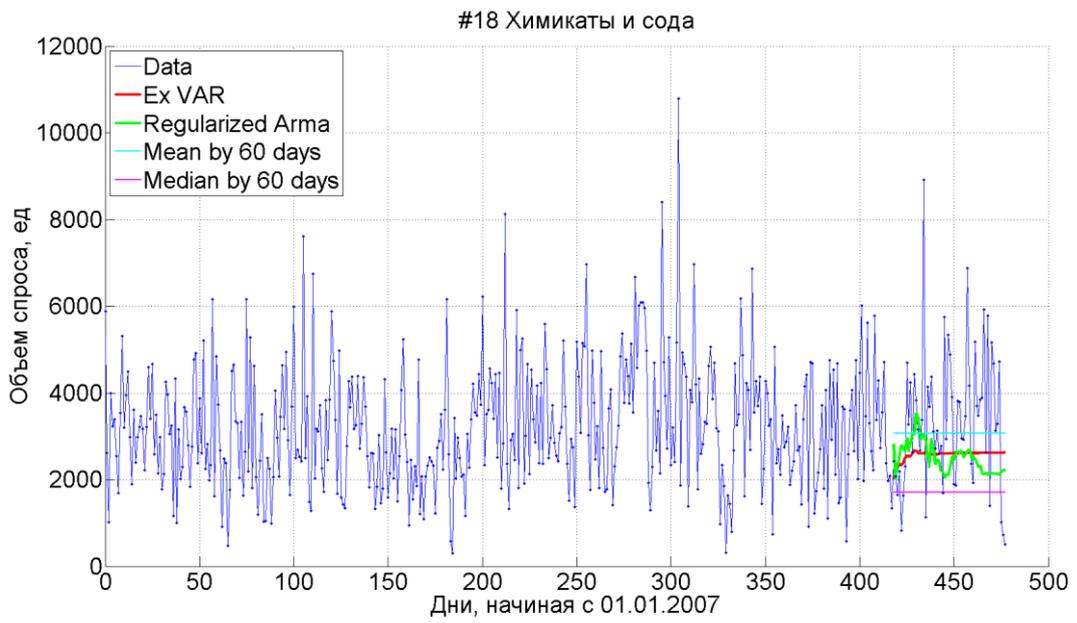


Рис. 2.38. Тип груза #18 Химикаты и сода – Прогноз

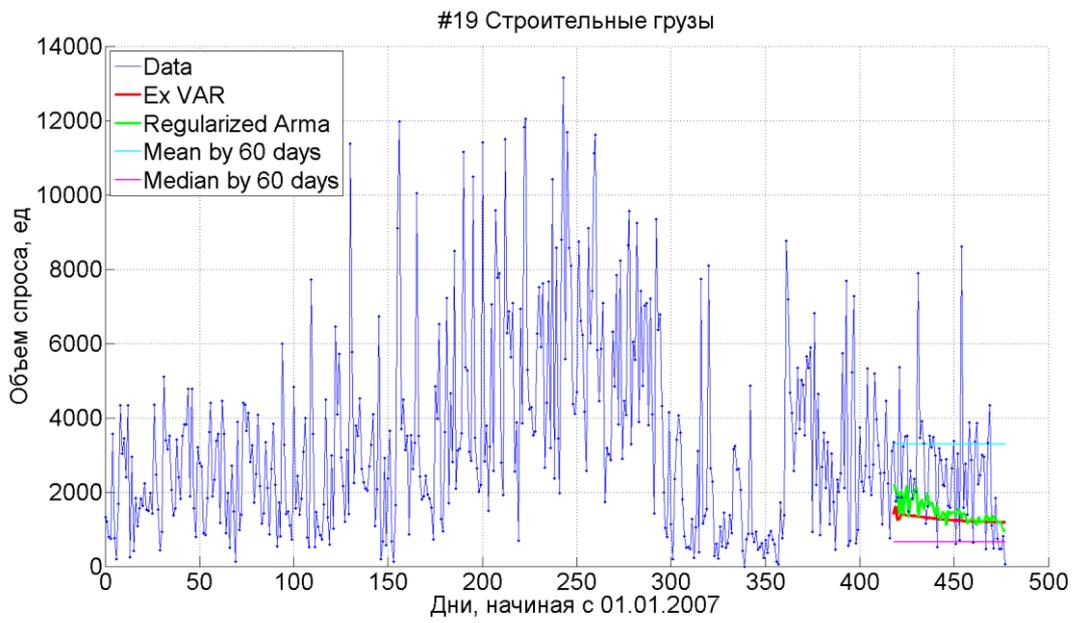


Рис. 2.39. Тип груза #19 Строительные грузы – Прогноз

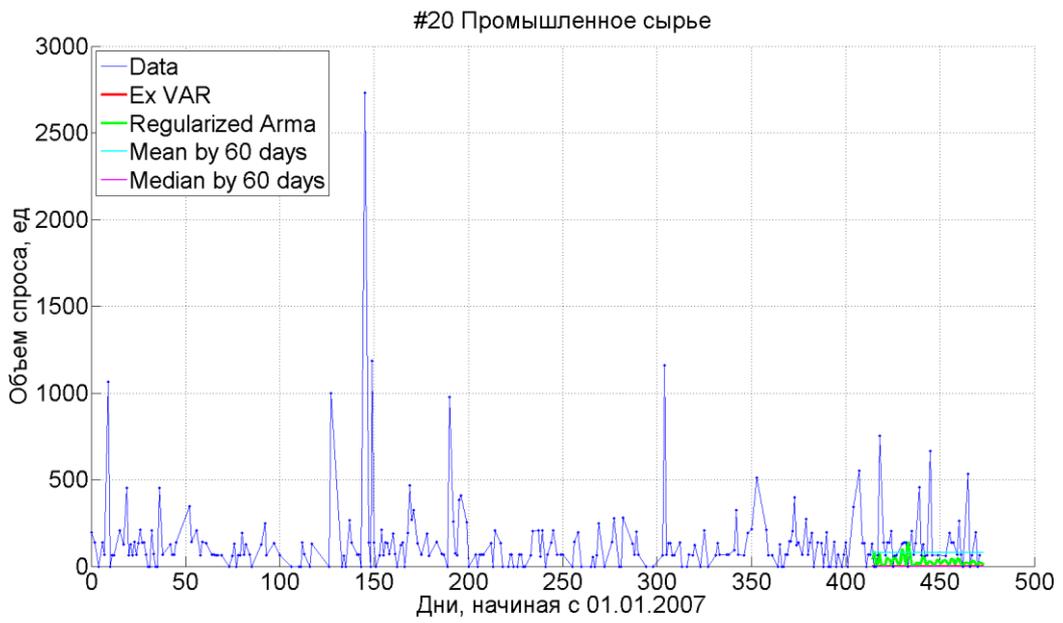


Рис. 2.40. Тип груза #20 Промышленное сырье – Прогноз



Рис. 2.41. Тип груза #21 Шлаки гранулированные – Прогноз

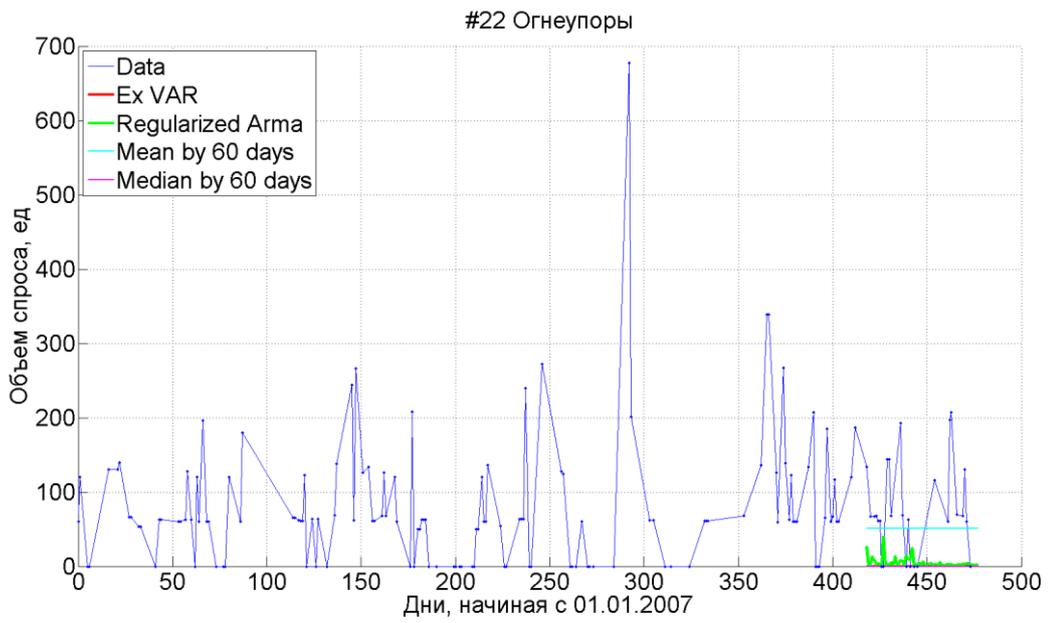


Рис. 2.42. Тип груза #22 Огнеупоры – Прогноз

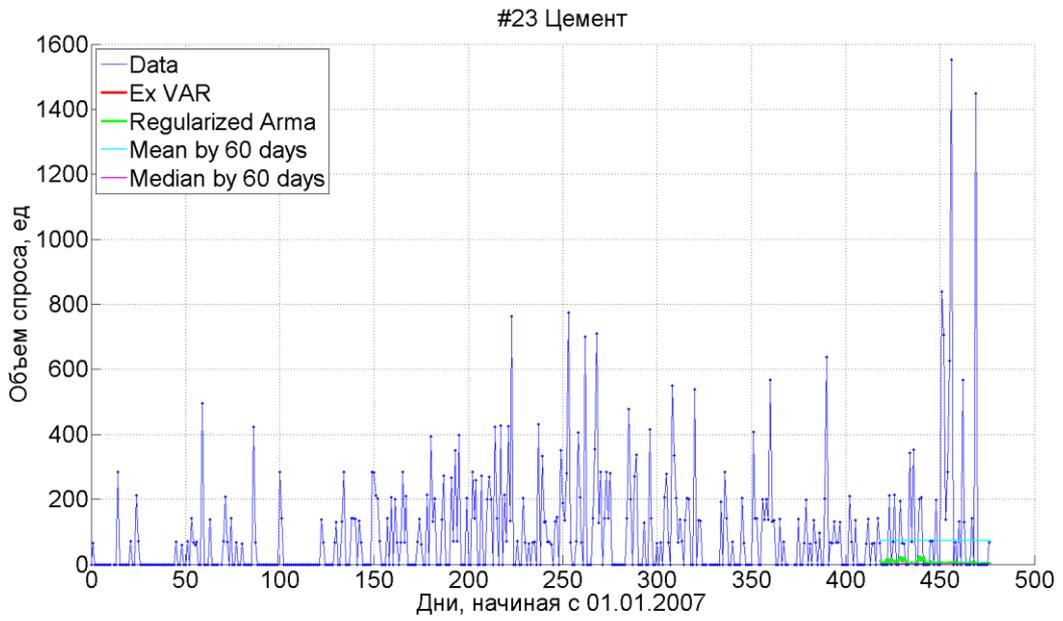


Рис. 2.43. Тип груза #23 Цемент – Прогноз

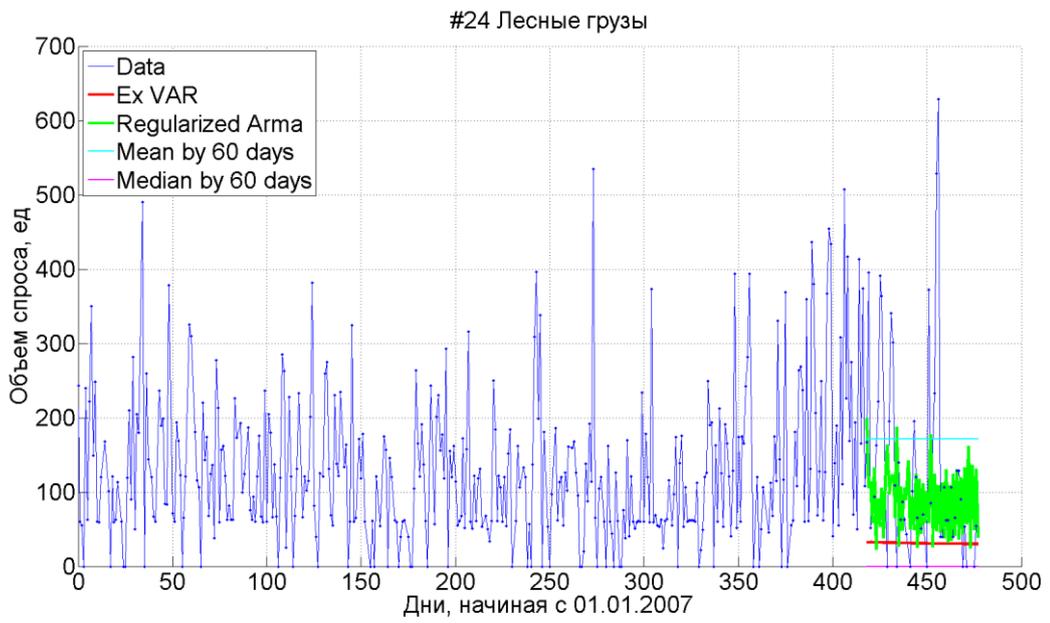


Рис. 2.44. Тип груза #24 Лесные грузы – Прогноз

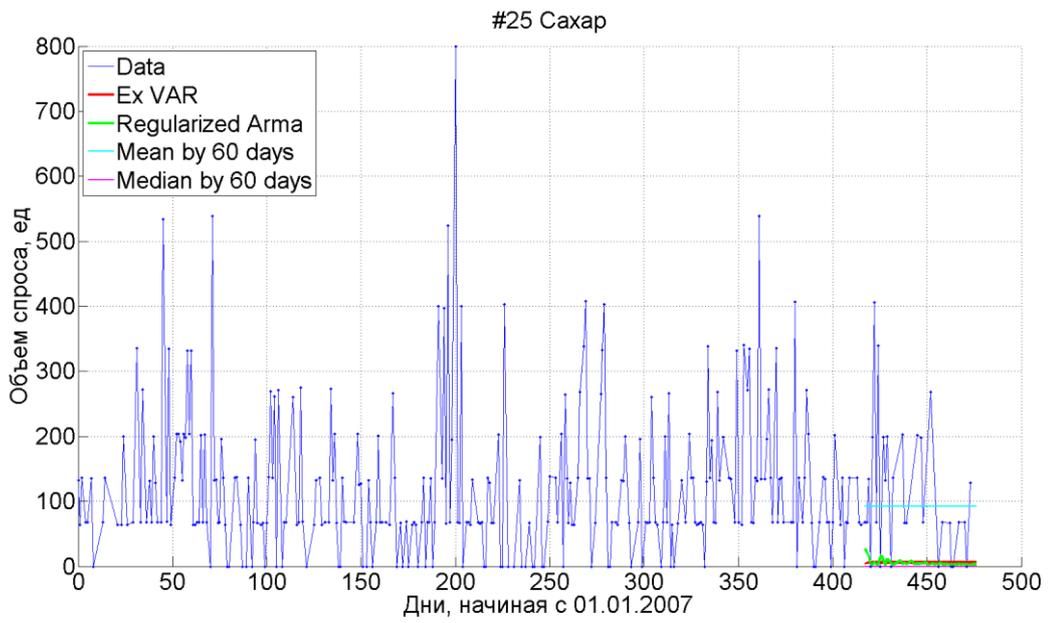


Рис. 2.45. Тип груза #25 Сахар – Прогноз

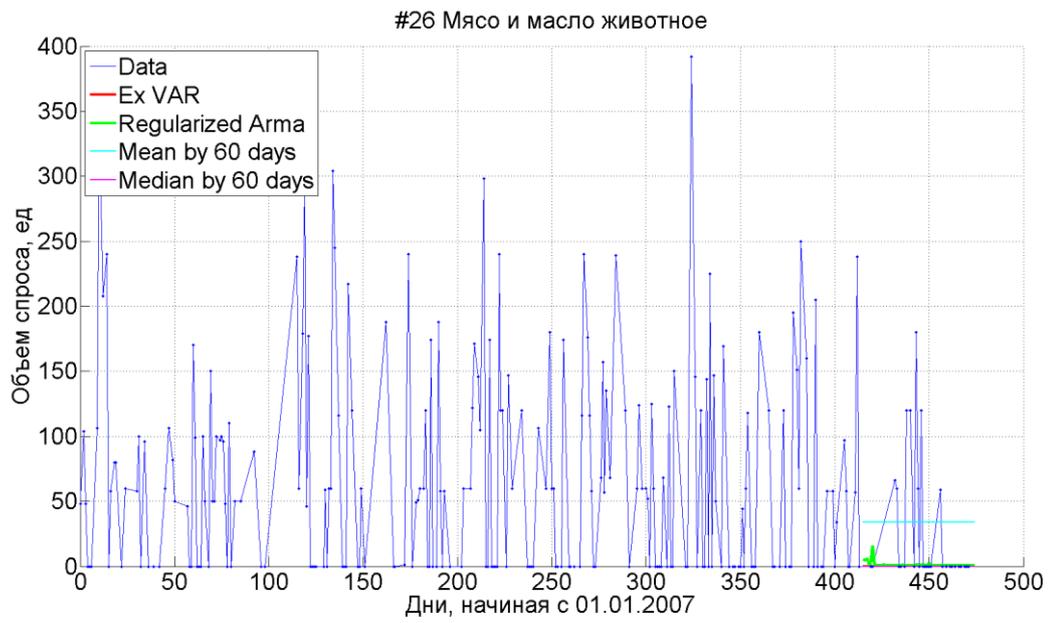


Рис. 2.46. Тип груза #26 Мясо и масло животное – Прогноз

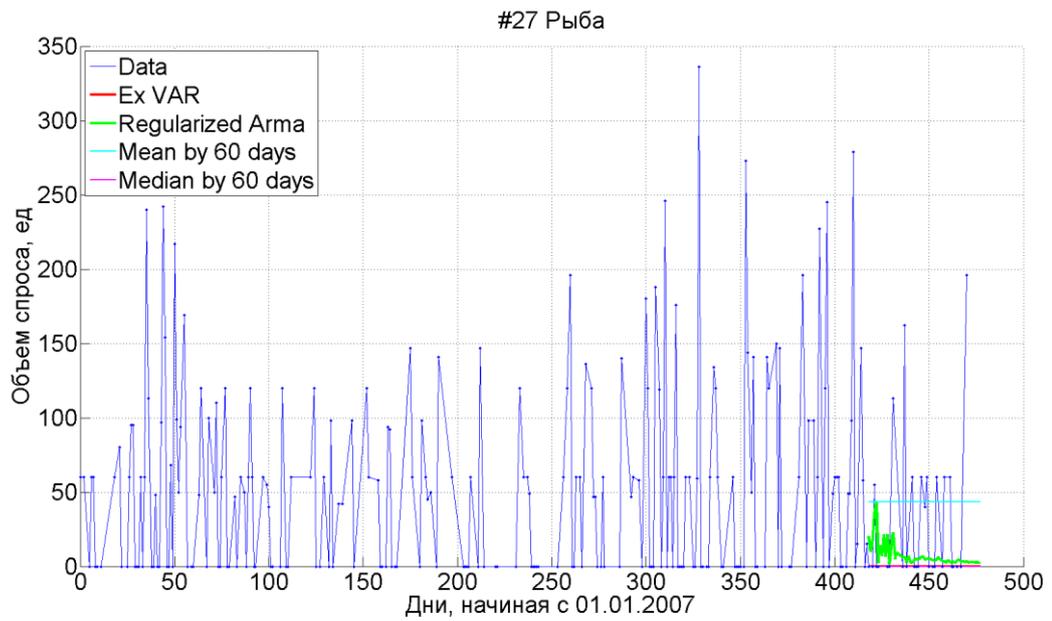


Рис. 2.47. Тип груза #27 Рыба – Прогноз

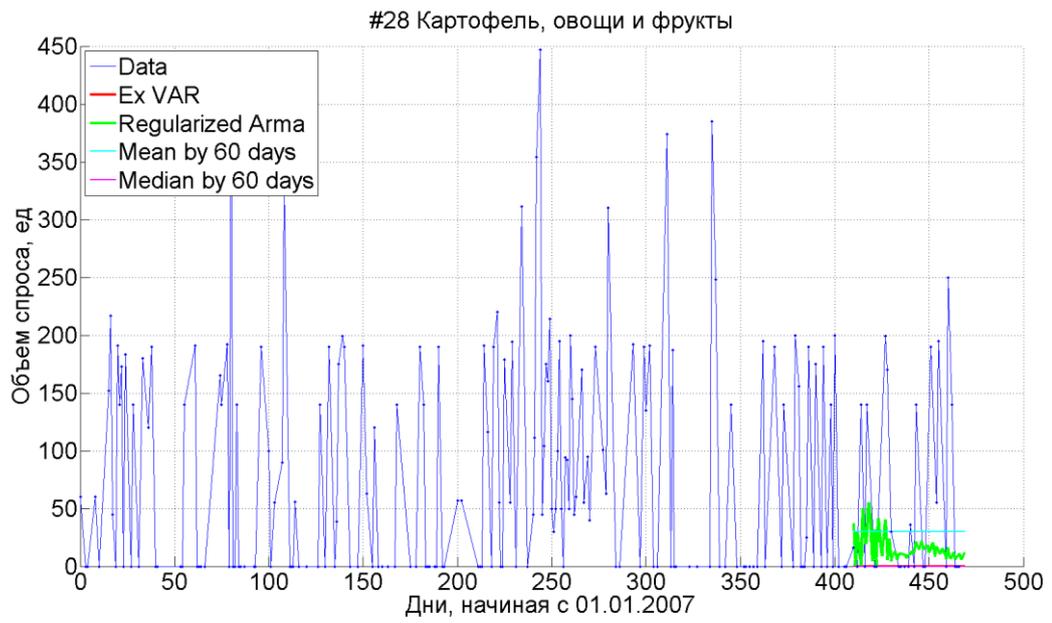


Рис. 2.48. Тип груза #28 Картофель, овощи и фрукты – Прогноз

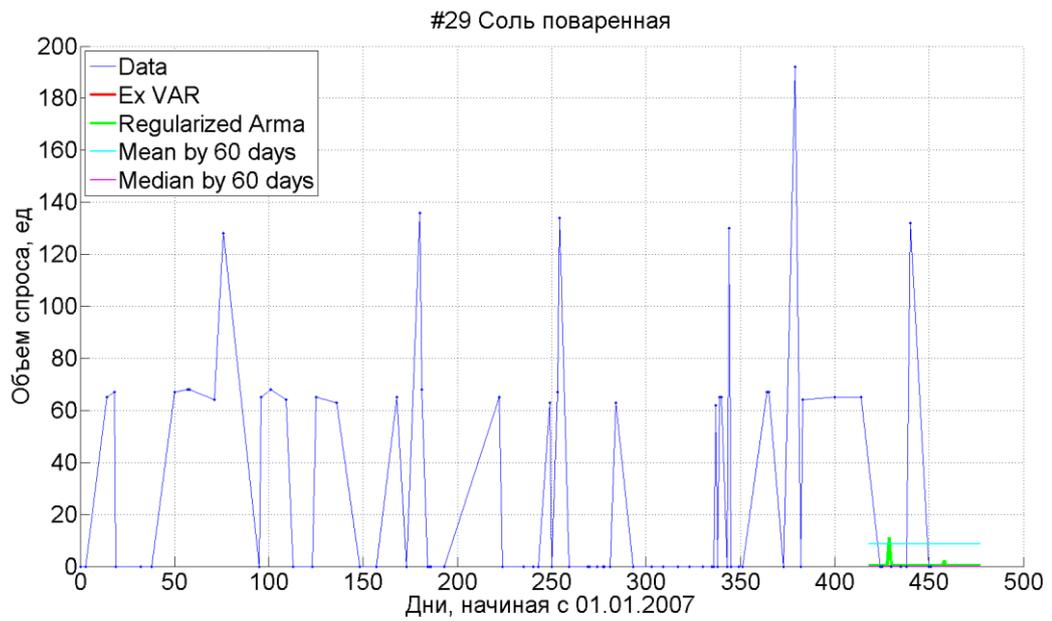


Рис. 2.49. Тип груза #29 Соль поваренная – Прогноз



Рис. 2.50. Тип груза #30 Остальные продовольственные товары – Прогноз

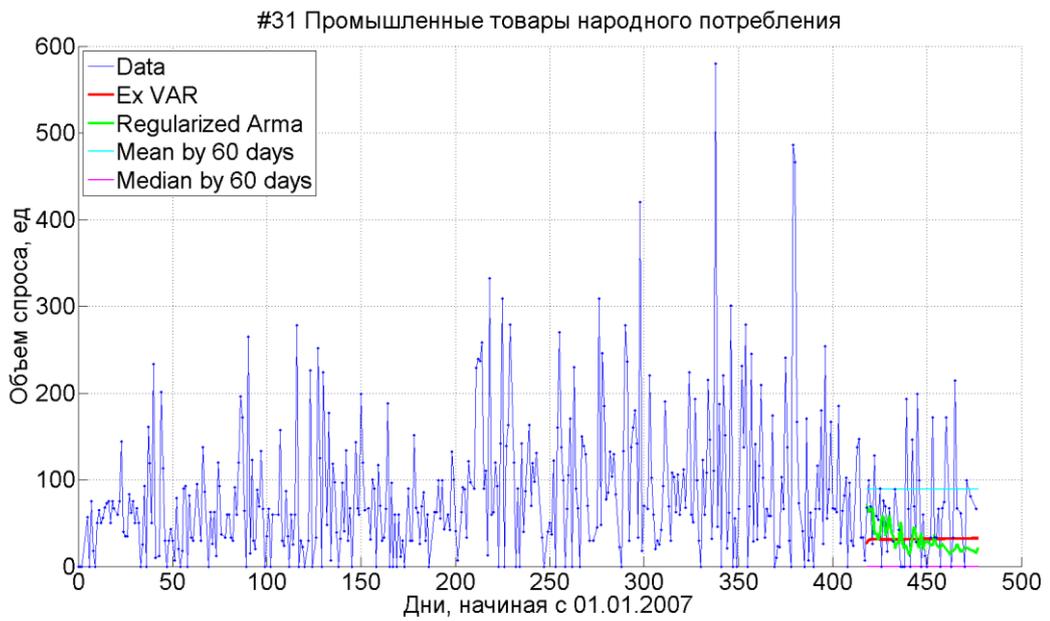


Рис. 2.51. Тип груза #31 Промышленные товары народного потребления – Прогноз

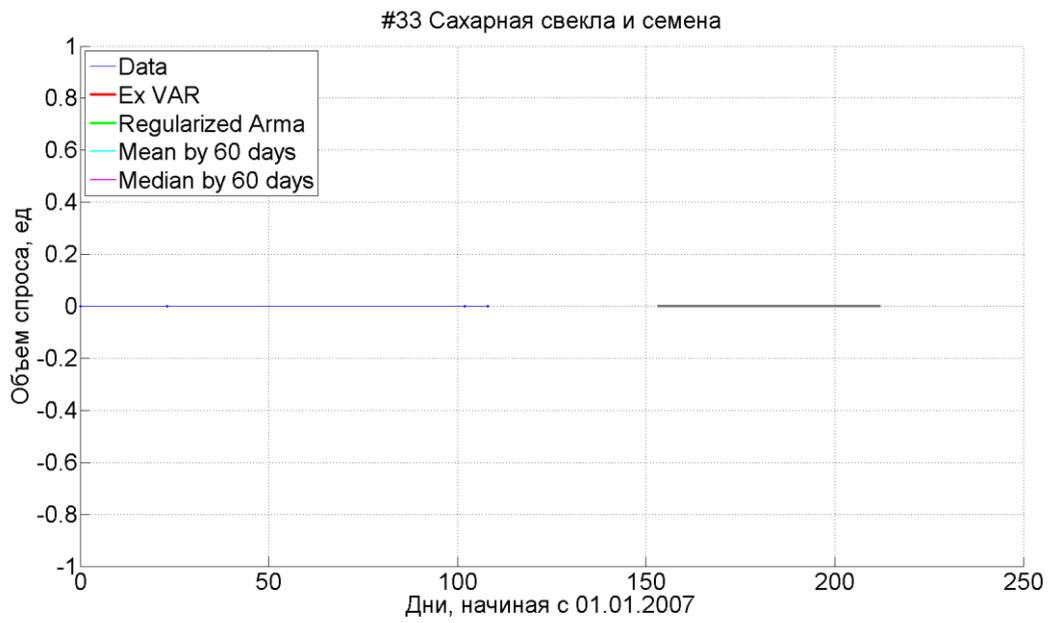


Рис.52. Тип груза #33 Сахарная свекла и семена – Прогноз

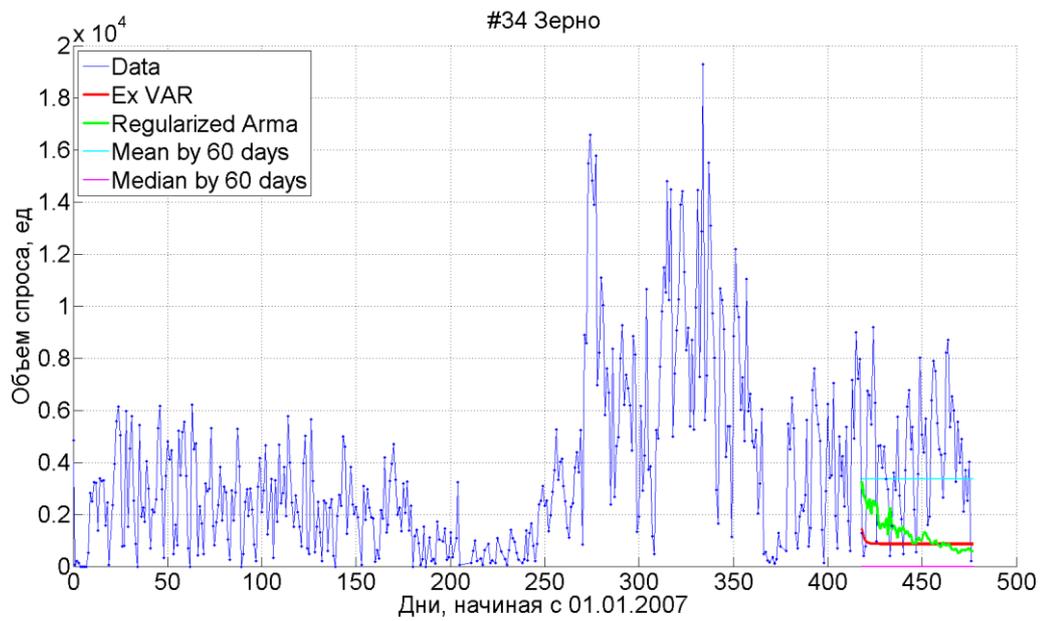


Рис. 2.53. Тип груза #34 Зерно – Прогноз

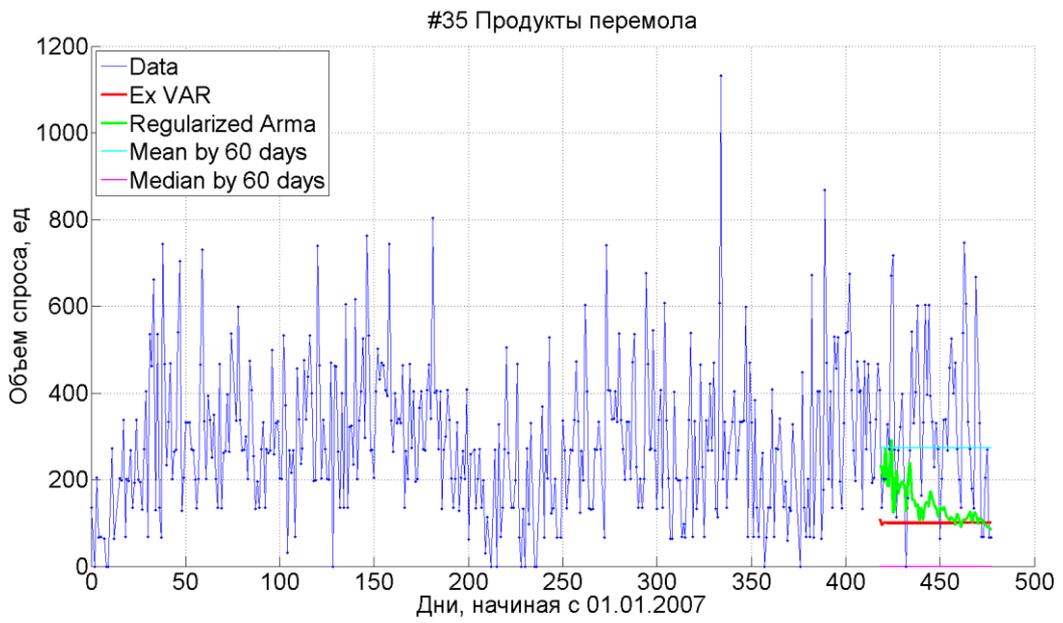


Рис. 2.54. Тип груза #35 Продукты перемола – Прогноз

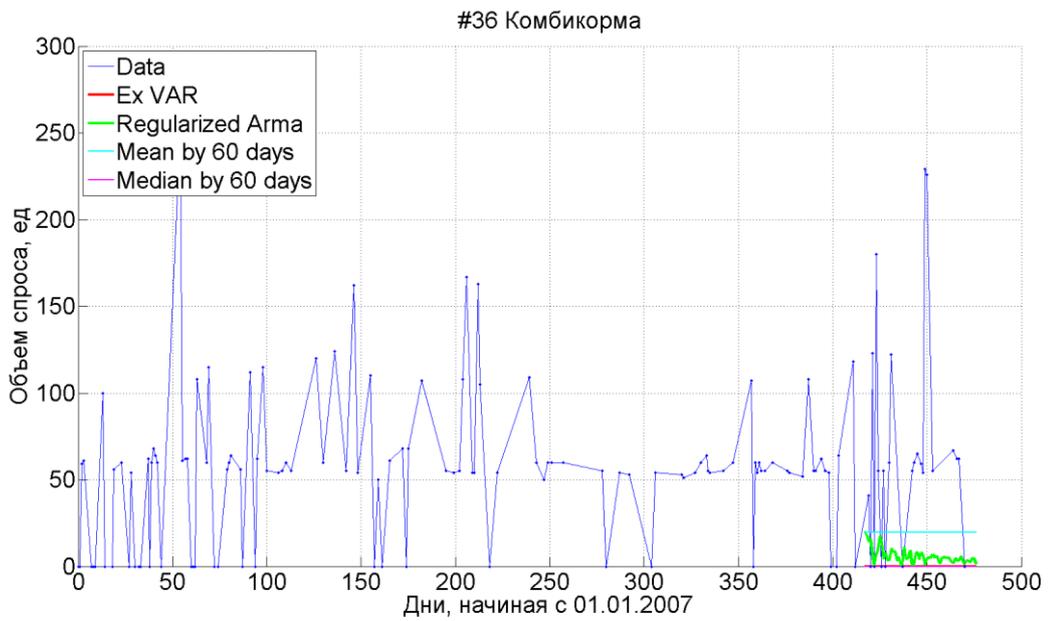


Рис. 2.55. Тип груза #36 Комбикорма – Прогноз

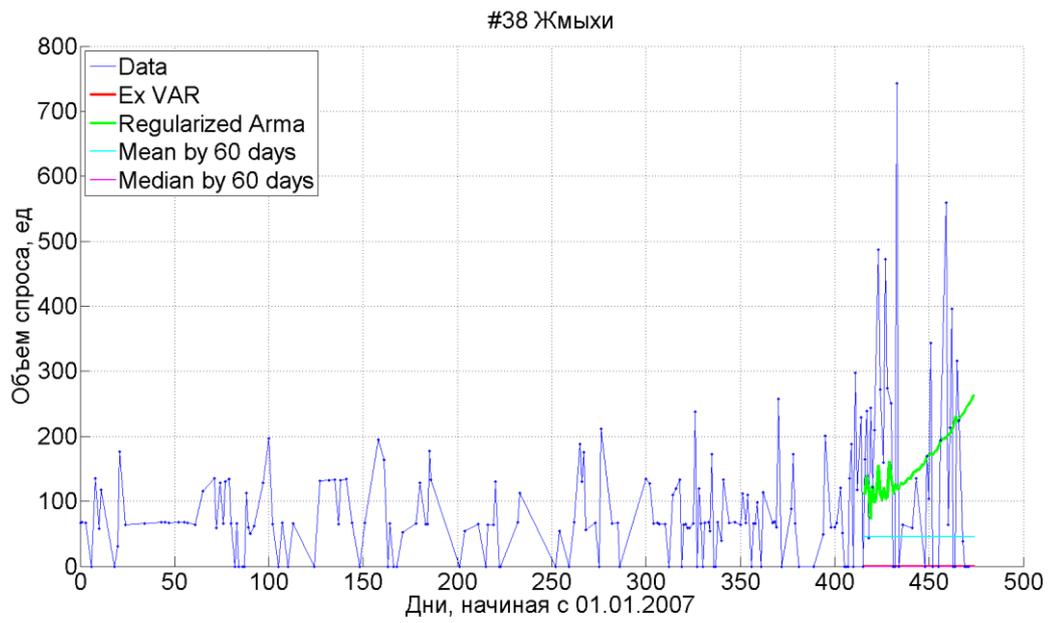


Рис. 2.56. Тип груза #38 Жмыхи – Прогноз

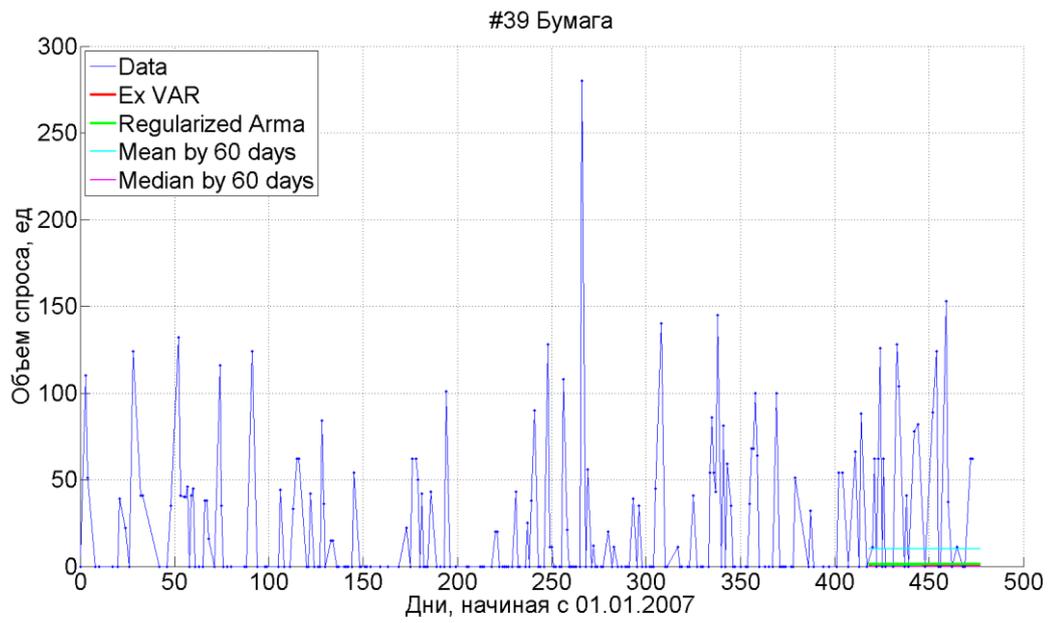


Рис. 2.57. Тип груза #39 Бумага – Прогноз

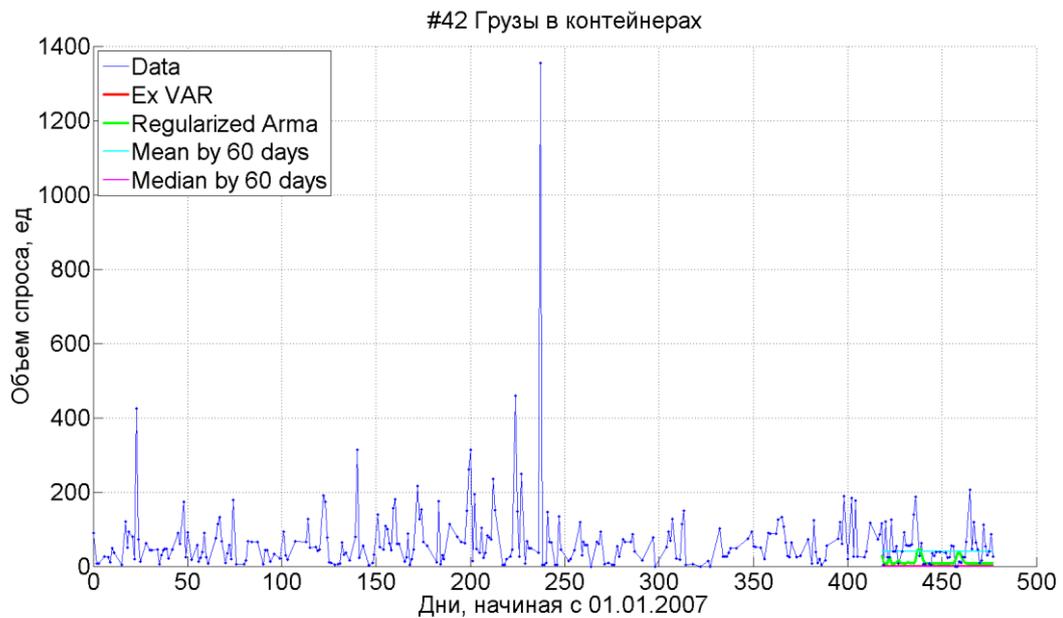


Рис. 2.58. Тип груза #42 Грузы в контейнерах – Прогноз



Рис. 2.59. Тип груза #43 Остальные и сборные грузы – Прогноз

5) Диаграммы значений ошибок прогнозирования MAE и MAPE с детализацией по дням, неделям, месяцам, агрегированных по парам станций и регионов для данного типа груза, вычисленных по формулам (10, 12, 14, 16, 18, 20) и (22, 24, 26, 28, 30, 32), соответственно, представлены на рис. 2.60 – 2.97; по оси абсцисс отложена выбранная детализация по времени, по оси ординат – значение ошибки MAE или MAPE для пар станций или регионов.

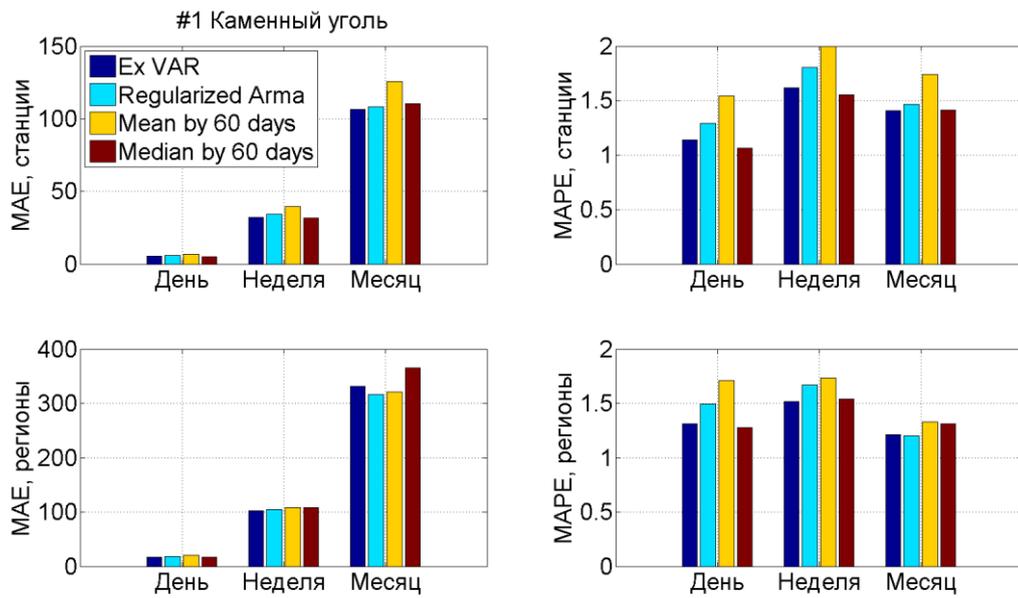


Рис. 2.60. Тип груза #1 Каменный уголь - Ошибка прогнозирования

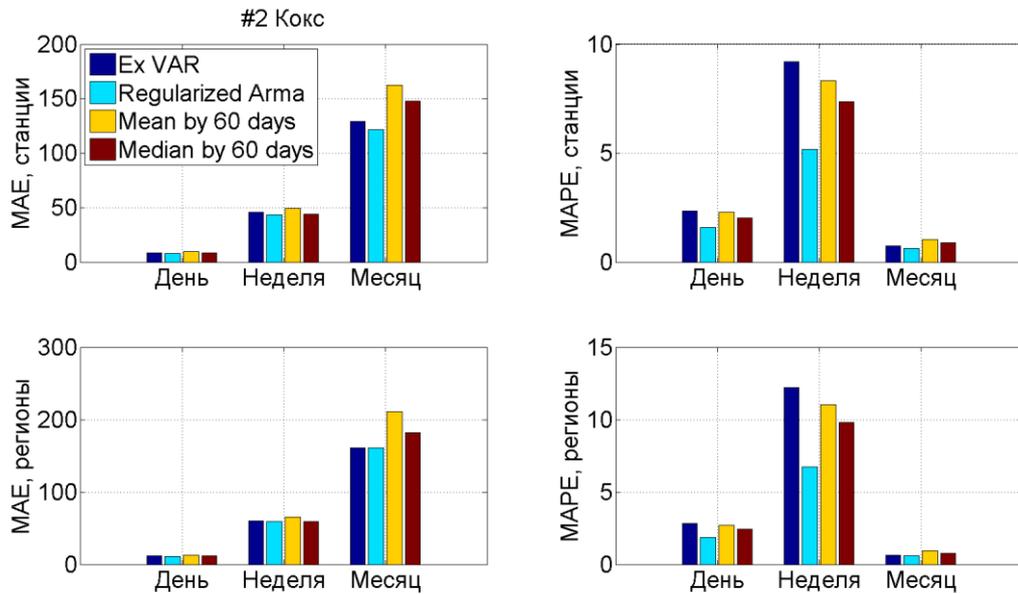


Рис. 2.61. Тип груза #2 Кокс - Ошибка прогнозирования

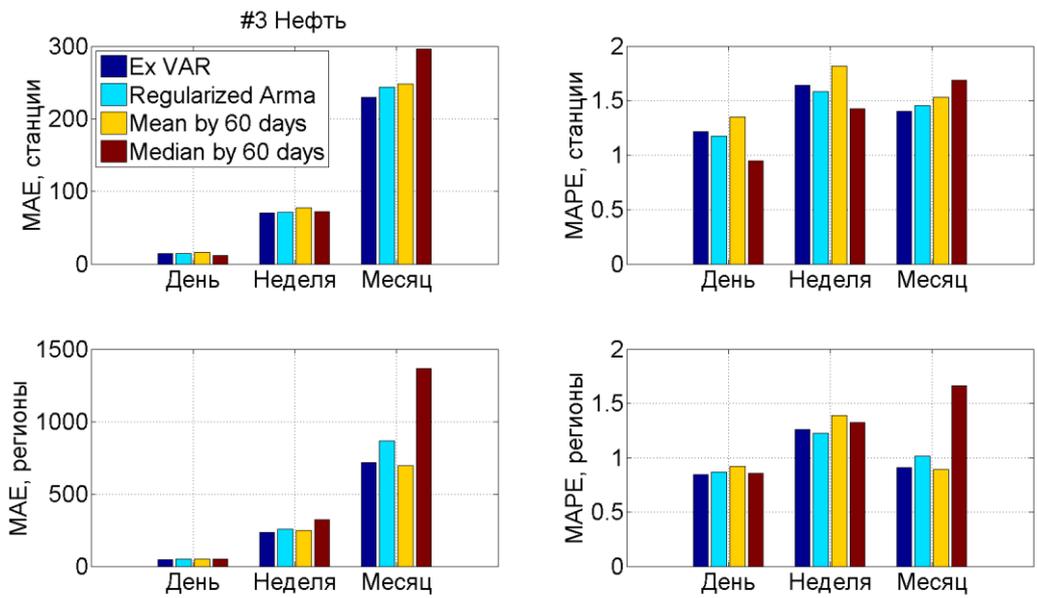


Рис. 2.62. Тип груза #3 Нефть - Ошибка прогнозирования

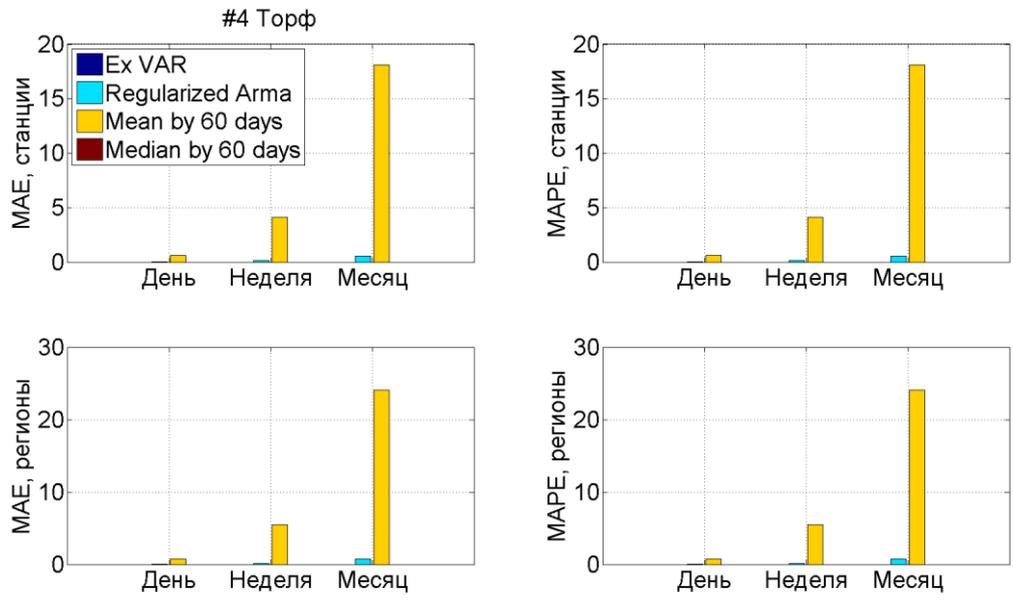


Рис. 2.63. Тип груза #4 Торф - Ошибка прогнозирования

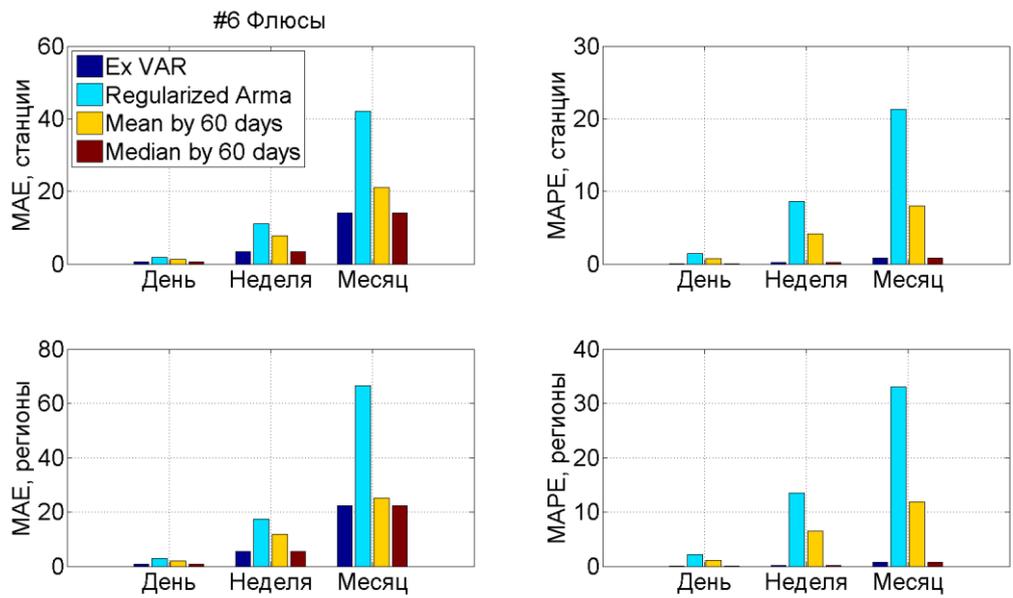


Рис. 2.64. Тип груза #6 Флюоресценция - Ошибка прогнозирования

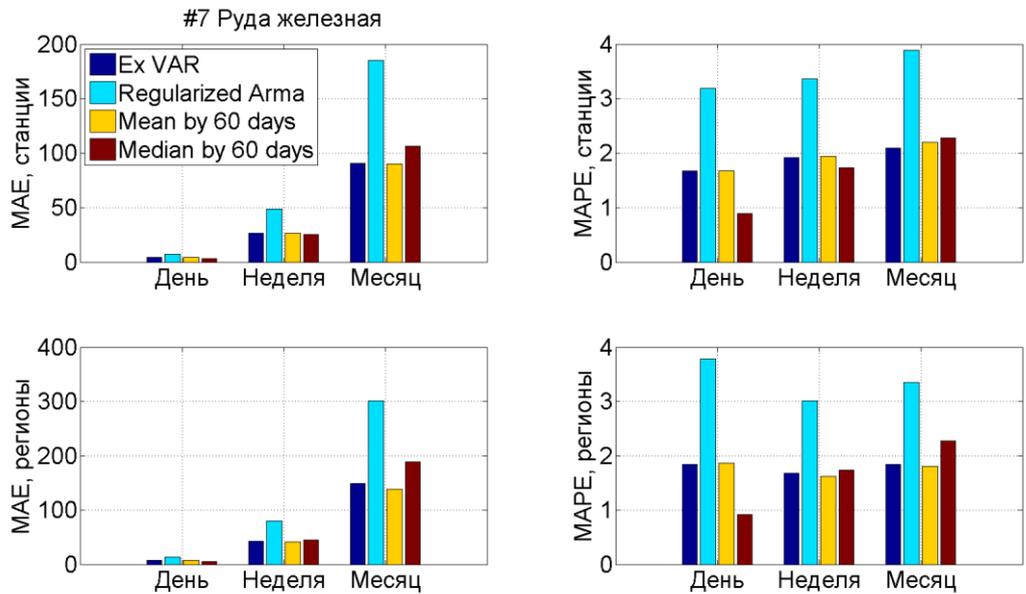


Рис. 2.65. Тип груза #7 Руда железная - Ошибка прогнозирования

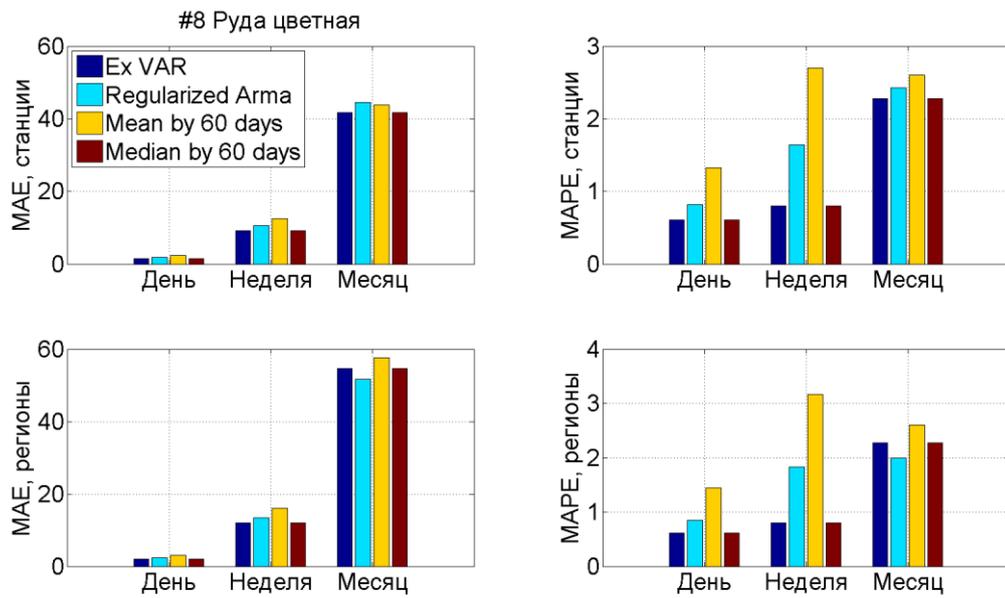


Рис. 2.66. Тип груза #8 Руда цветная - Ошибка прогнозирования

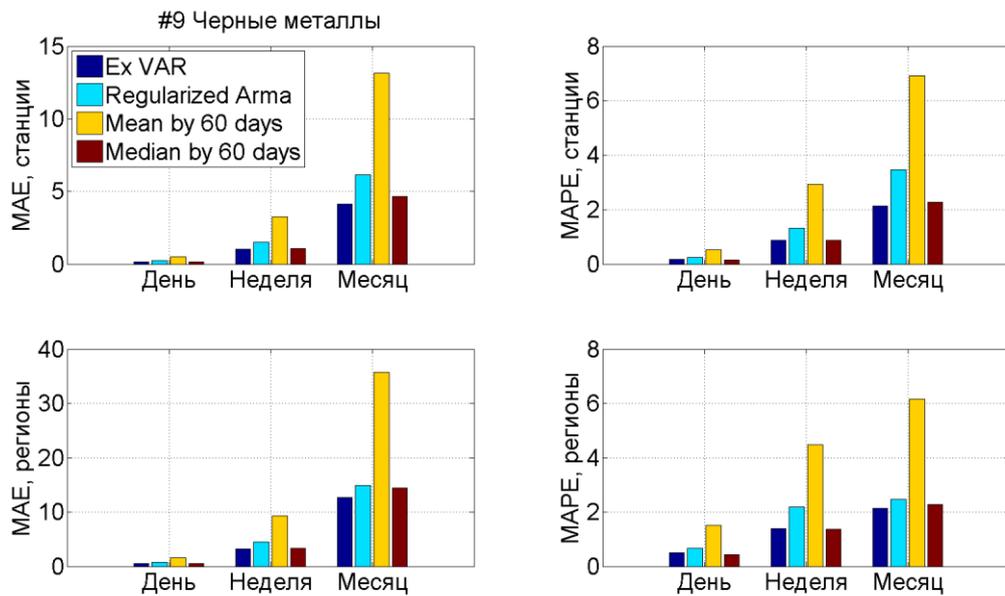


Рис. 2.67. Тип груза #9 Черные металлы - Ошибка прогнозирования

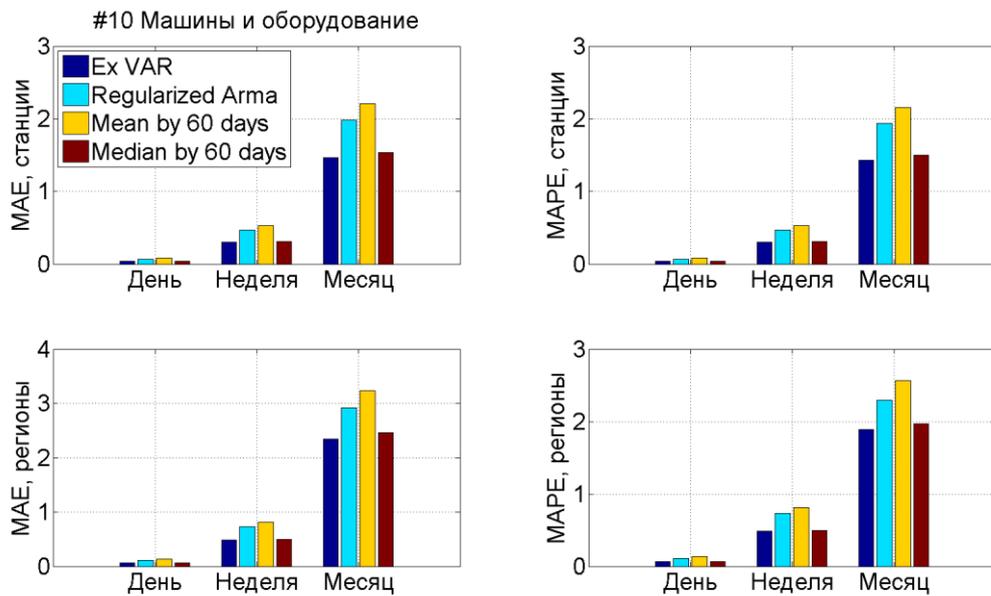


Рис. 2.68. Тип груза #10 Машины и оборудование - Ошибка прогнозирования

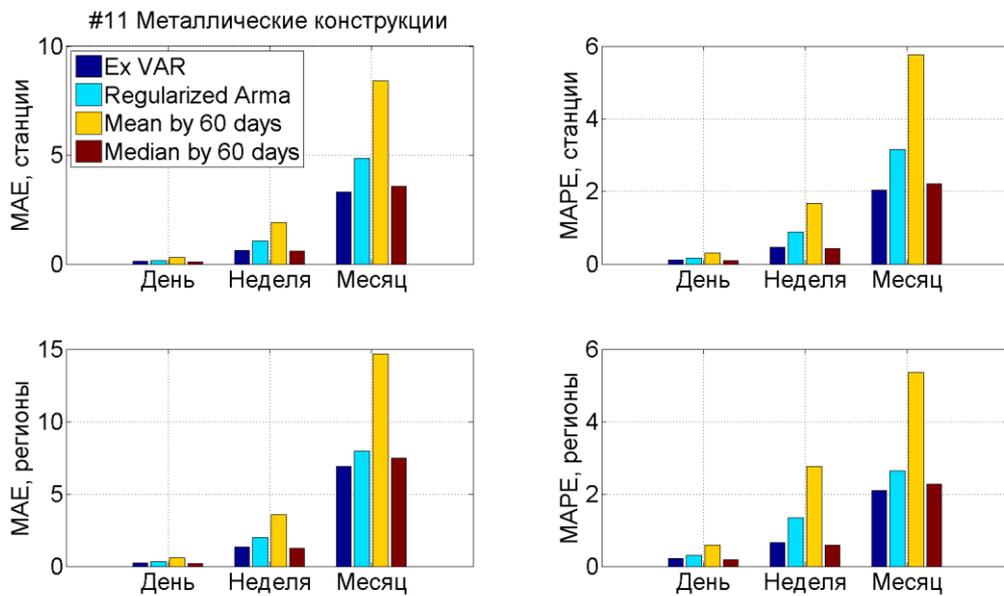


Рис. 2.69. Тип груза #11 Металлические конструкции - Ошибка прогнозирования

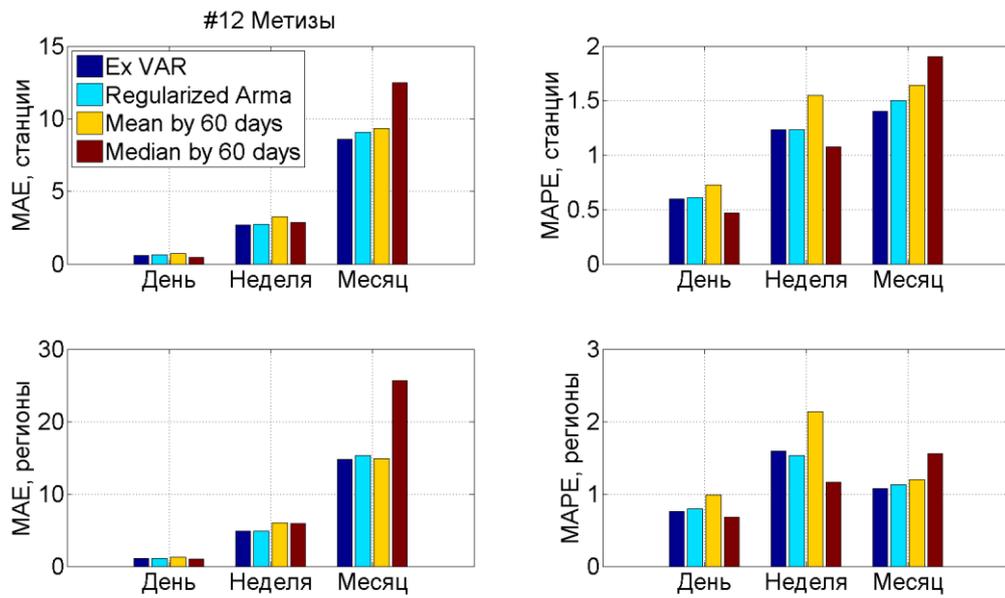


Рис. 2.70. Тип груза #12 Метизы - Ошибка прогнозирования

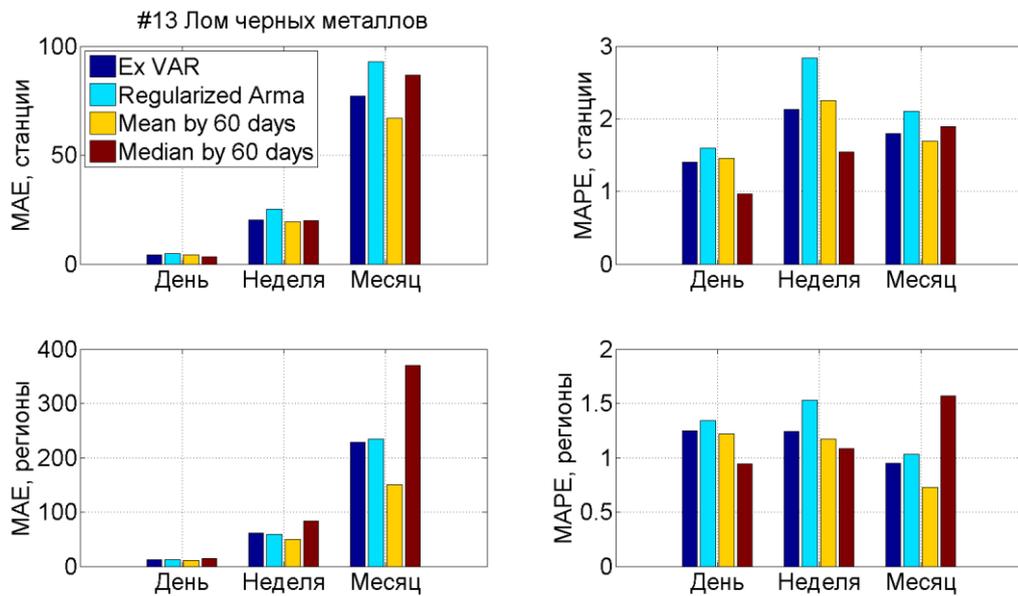


Рис. 2.71. Тип груза #13 Лом черных металлов - Ошибка прогнозирования

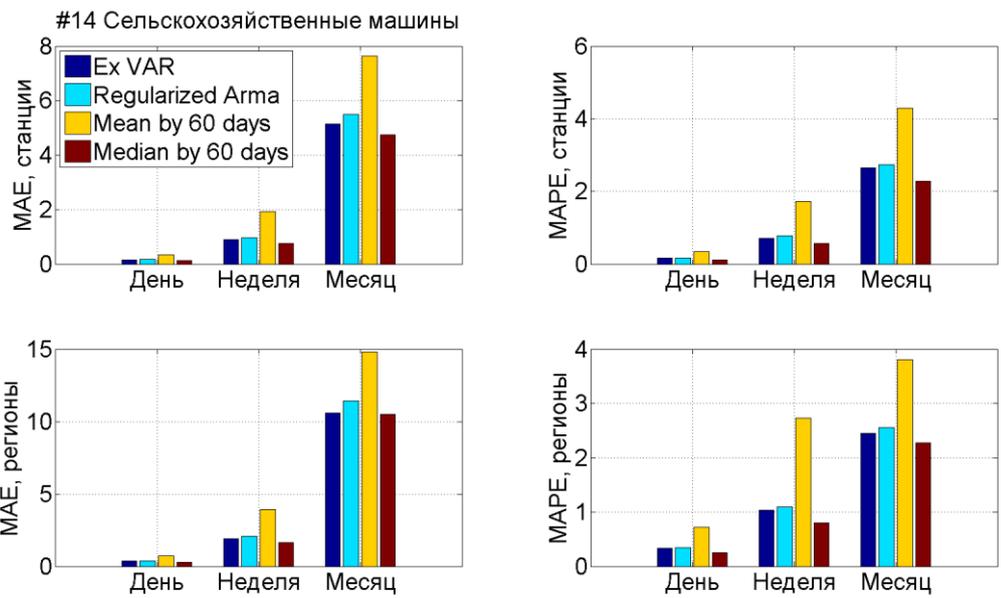


Рис. 2.72. Тип груза #14 Сельскохозяйственные машины – Ошибка прогнозирования

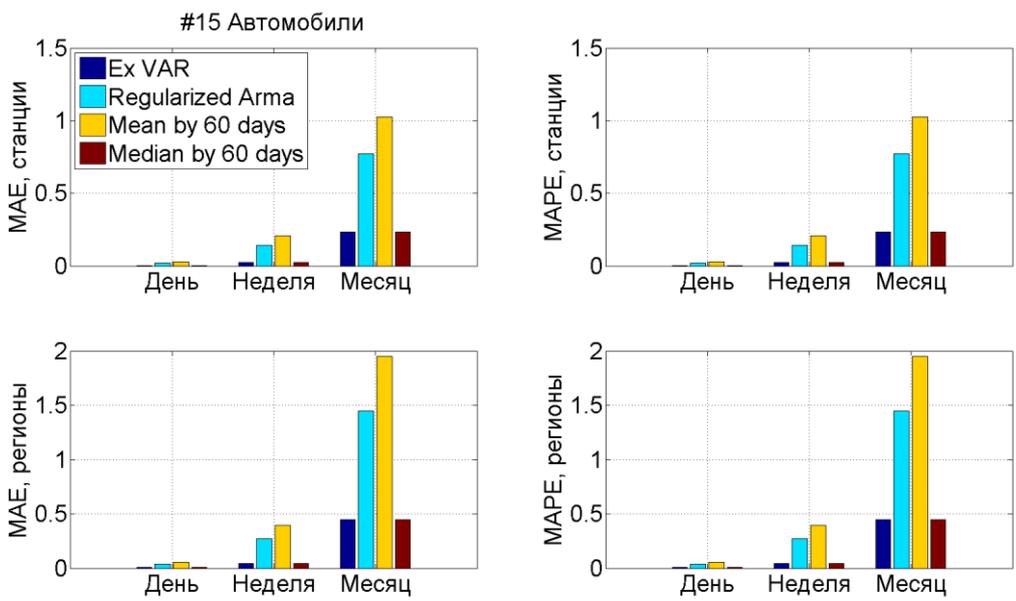


Рис. 2.73. Тип груза #15 Автомобили - Ошибка прогнозирования

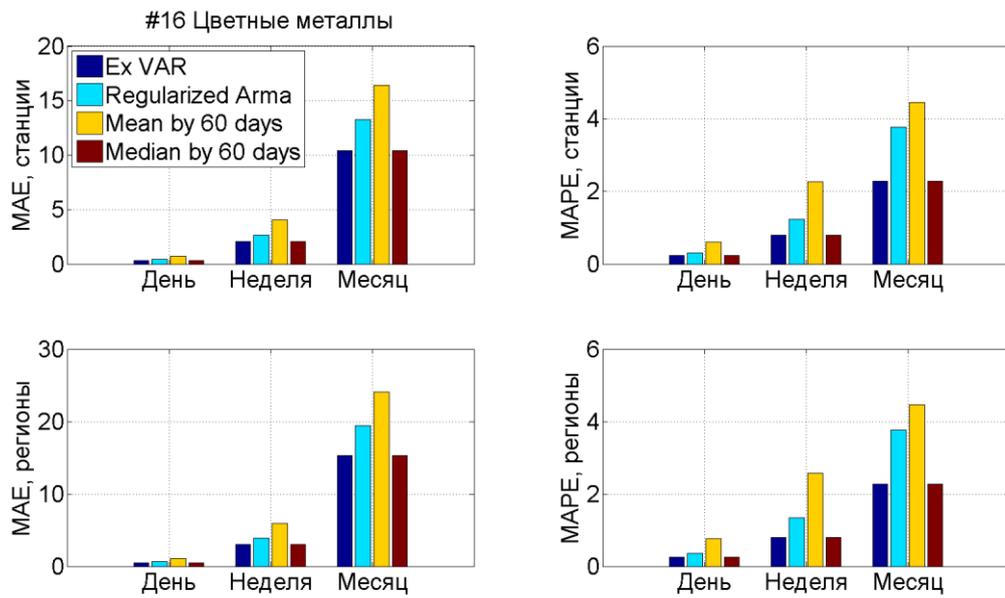


Рис. 2.74. Тип груза #16 Цветные металлы - Ошибка прогнозирования

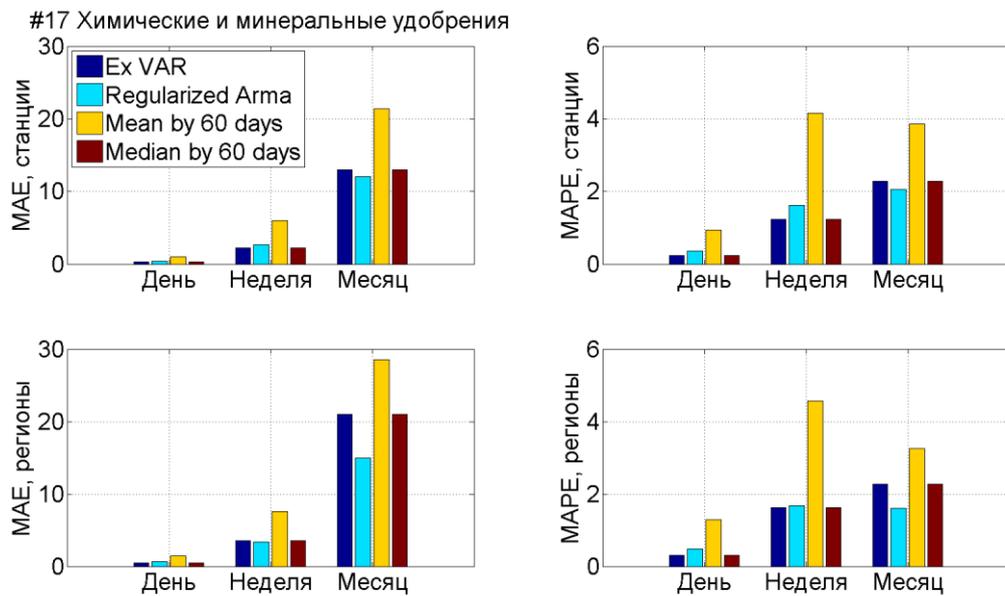


Рис. 2.75. Тип груза #17 Химические и минеральные удобрения – Ошибка прогнозирования

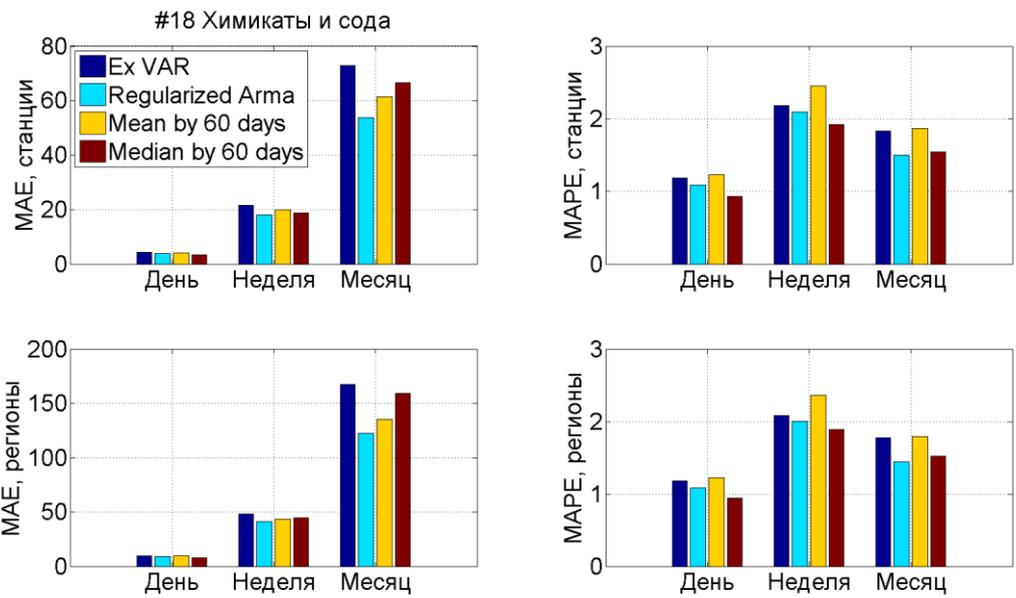


Рис. 2.76. Тип груза #18 Химикаты и сода - Ошибка прогнозирования

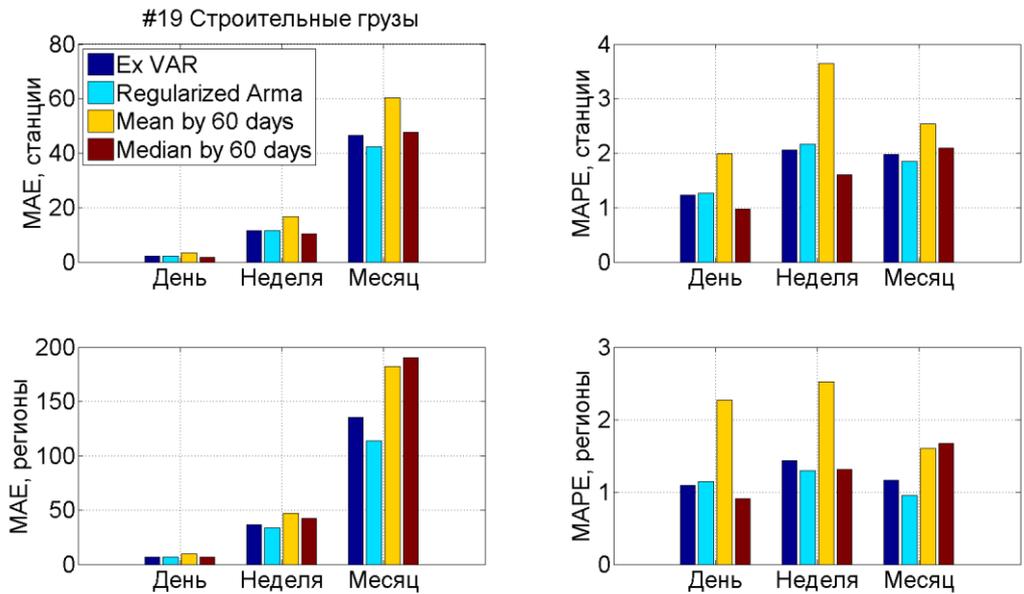


Рис. 2.77. Тип груза #19 Строительные грузы - Ошибка прогнозирования

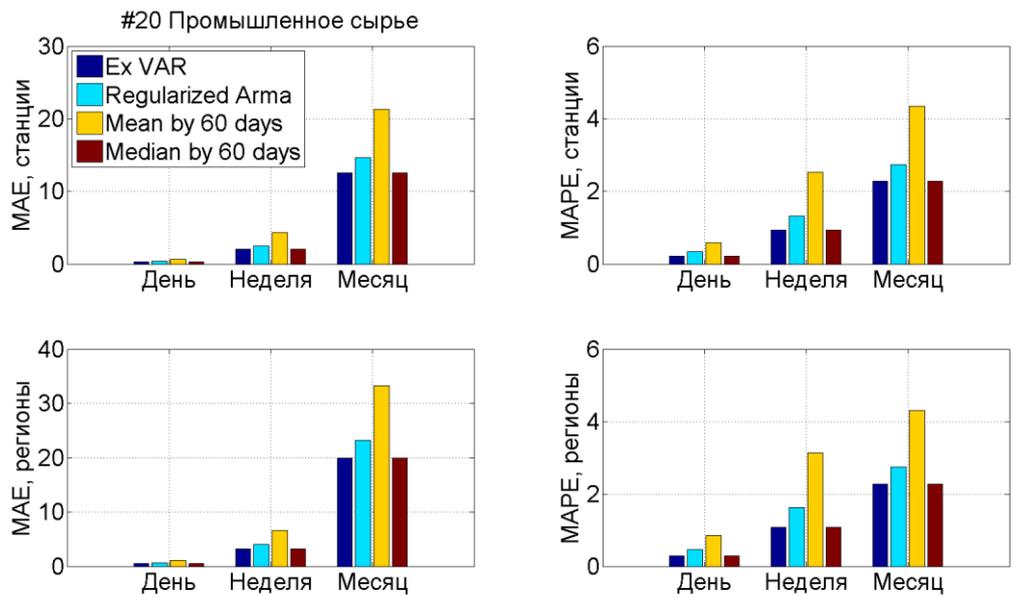


Рис. 2.78. Тип груза #20 Промышленное сырье - Ошибка прогнозирования

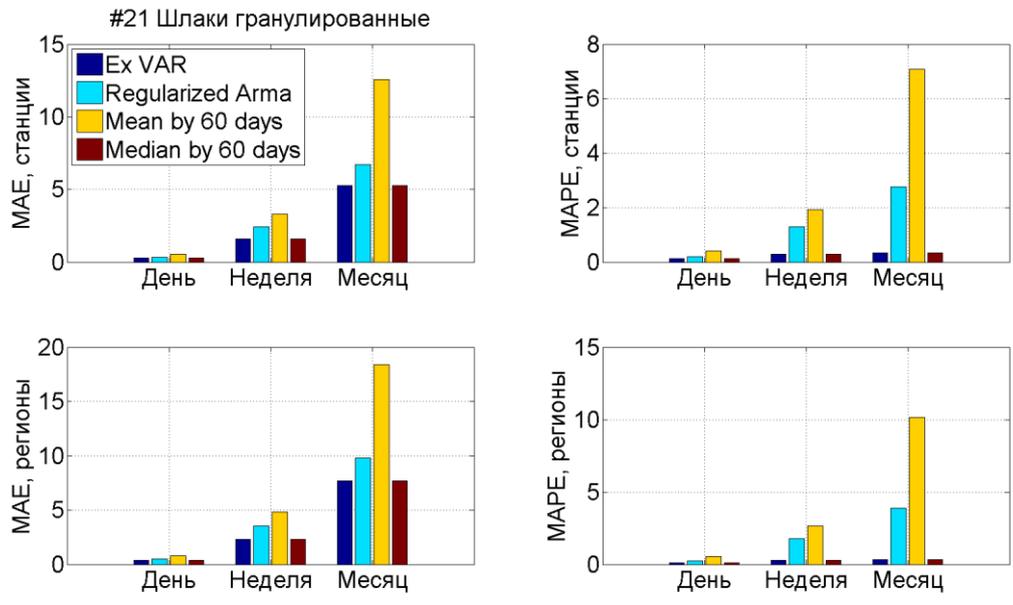


Рис. 2.79. Тип груза #21 Шлаки гранулированные - Ошибка прогнозирования

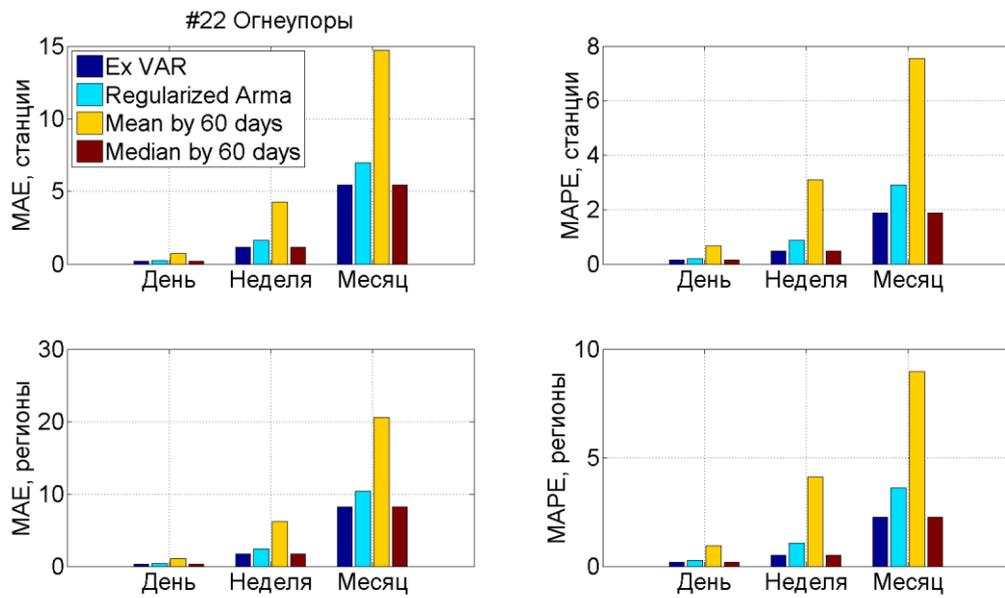


Рис. 2.80. Тип груза #22 Огнеупоры - Ошибка прогнозирования

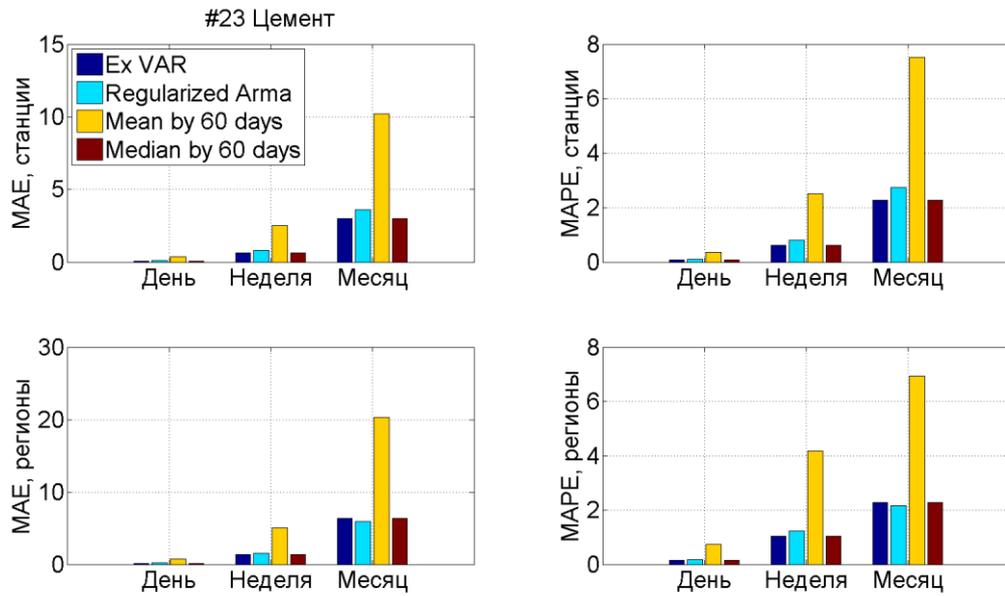


Рис. 2.81. Тип груза #23 Цемент - Ошибка прогнозирования

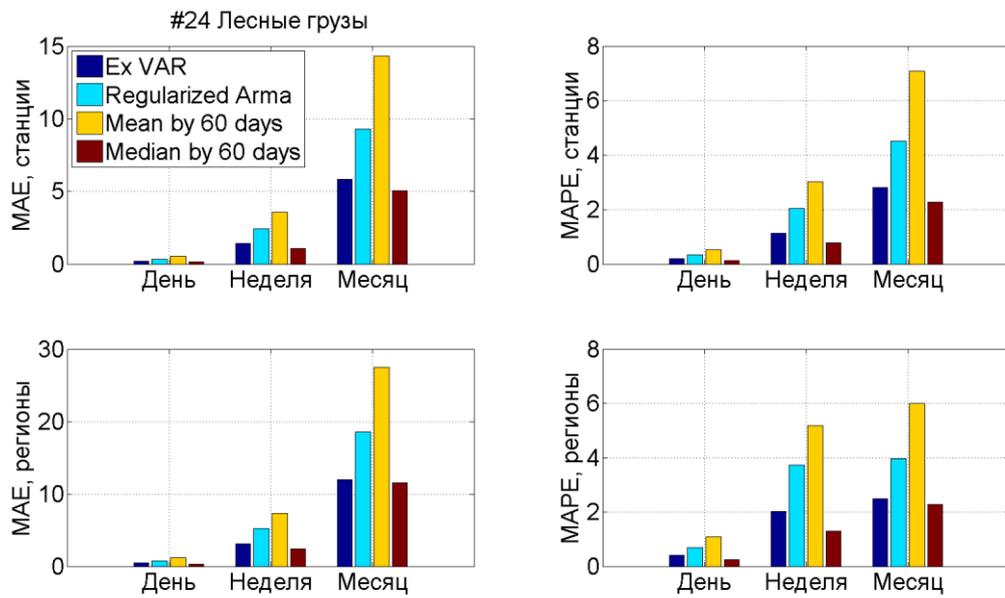


Рис. 2.82. Тип груза #24 Лесные грузы - Ошибка прогнозирования

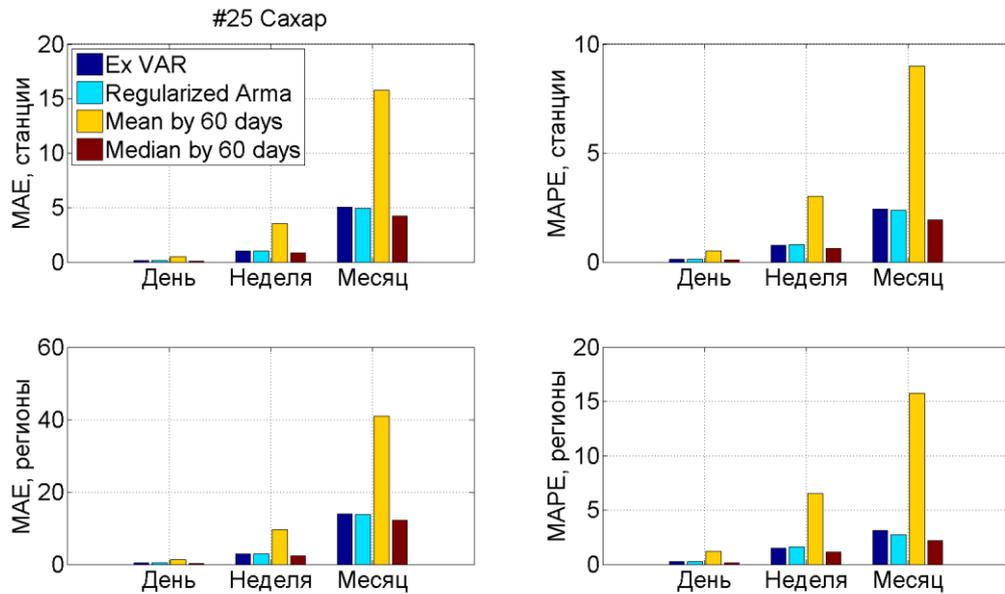


Рис. 2.83. Тип груза #25 Сахар - Ошибка прогнозирования

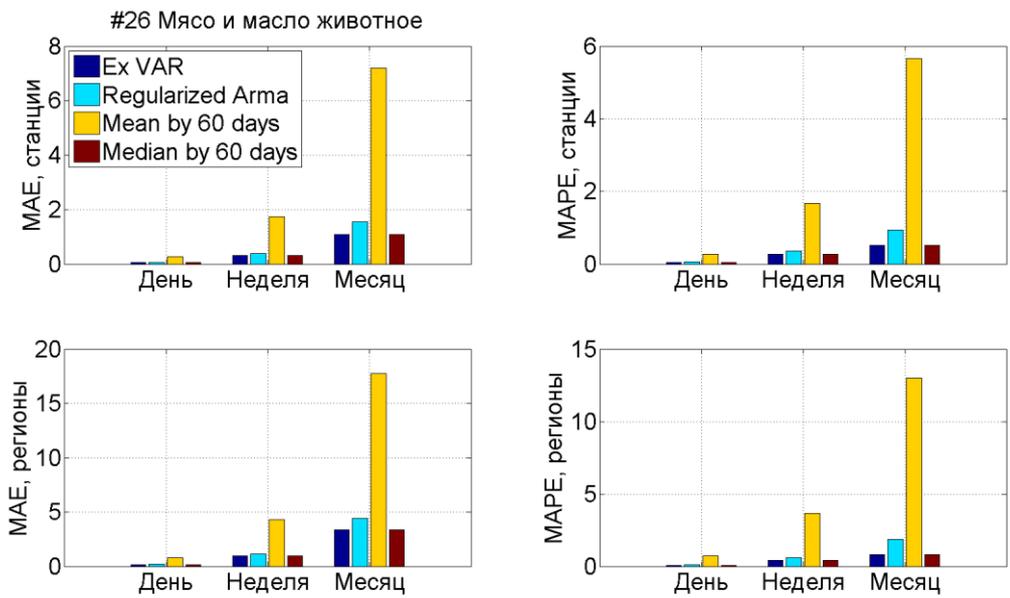


Рис. 2.84. Тип груза #26 Мясо и масло животное - Ошибка прогнозирования

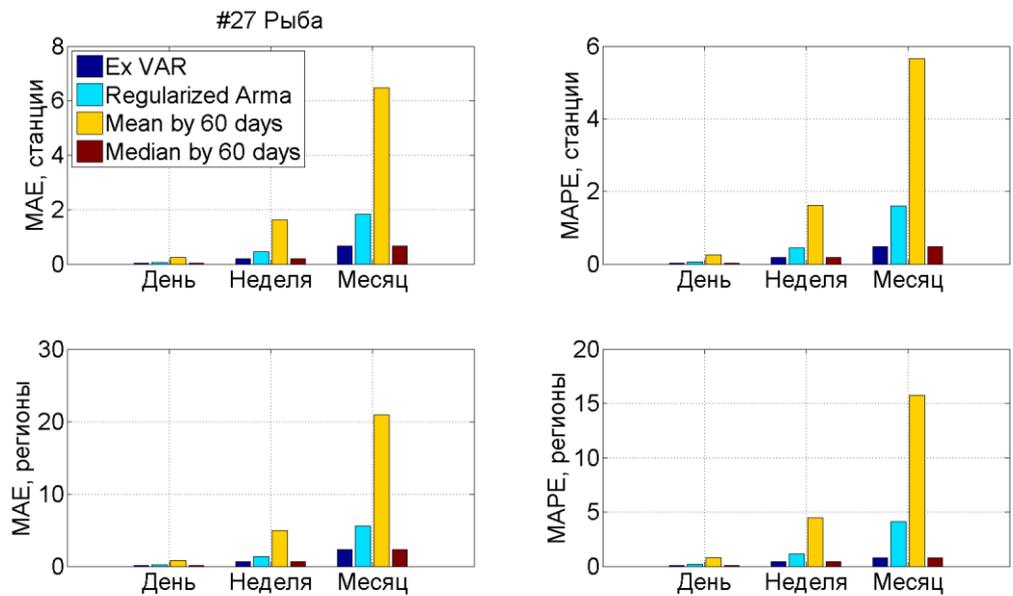


Рис. 2.85. Тип груза #27 Рыба - Ошибка прогнозирования

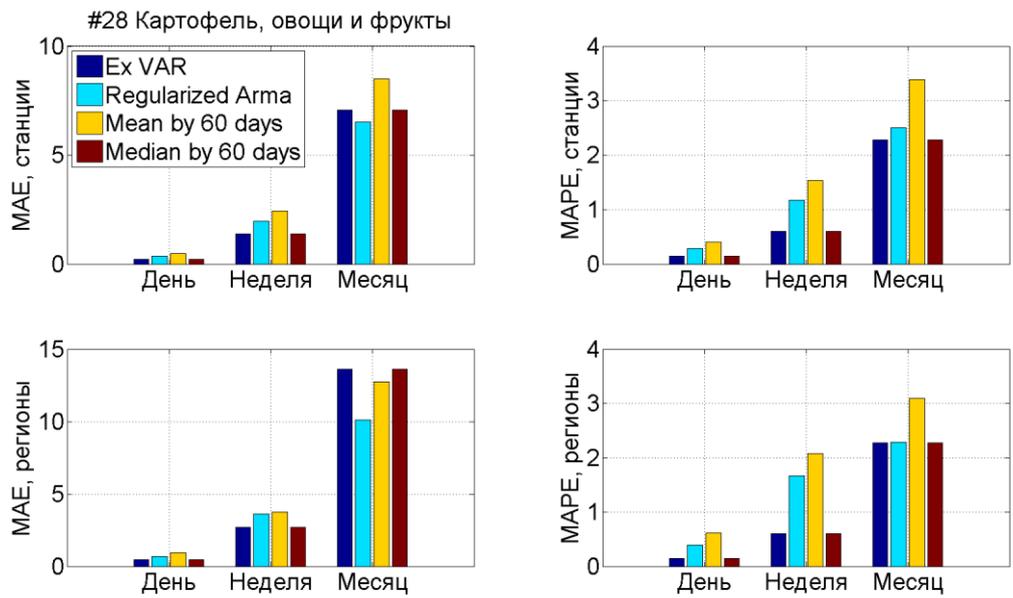


Рис. 2.86. Тип груза #28 Картофель, овощи и фрукты - Ошибка прогнозирования

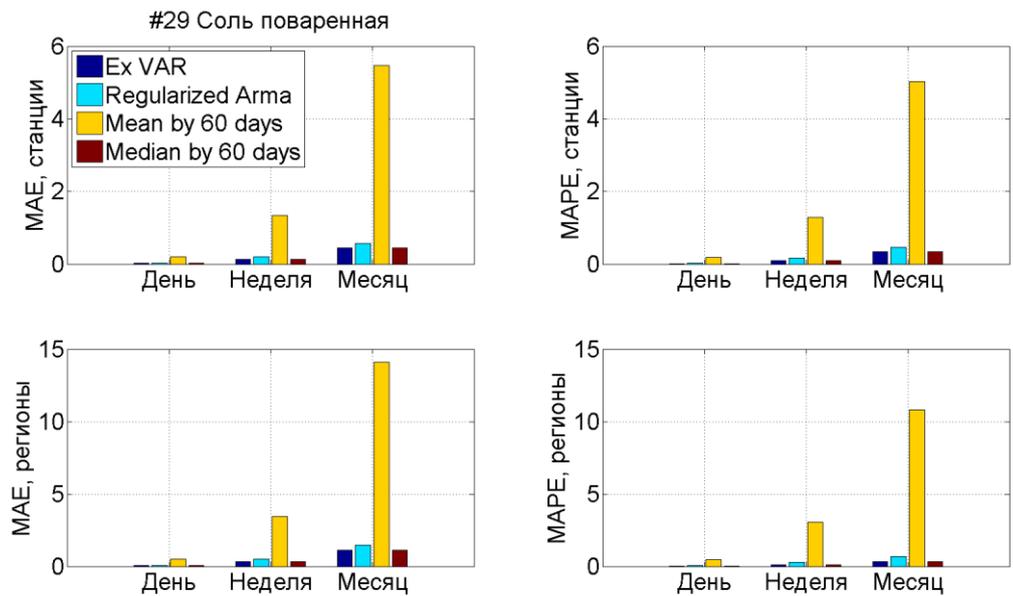


Рис. 2.87. Тип груза #29 Соль поваренная - Ошибка прогнозирования

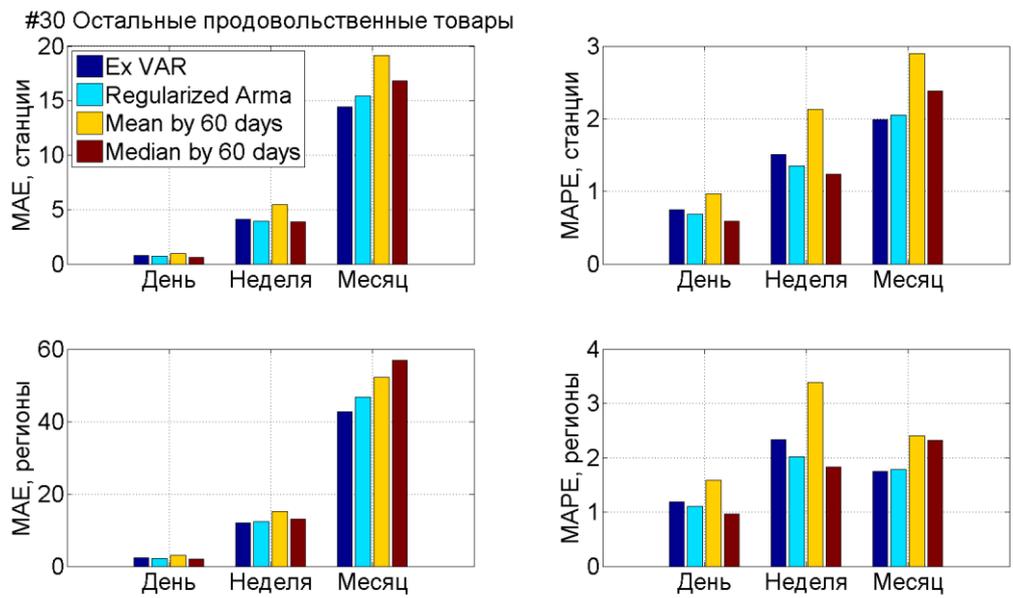


Рис. 2.88. Тип груза #30 Остальные продовольственные товары – Ошибка прогнозирования

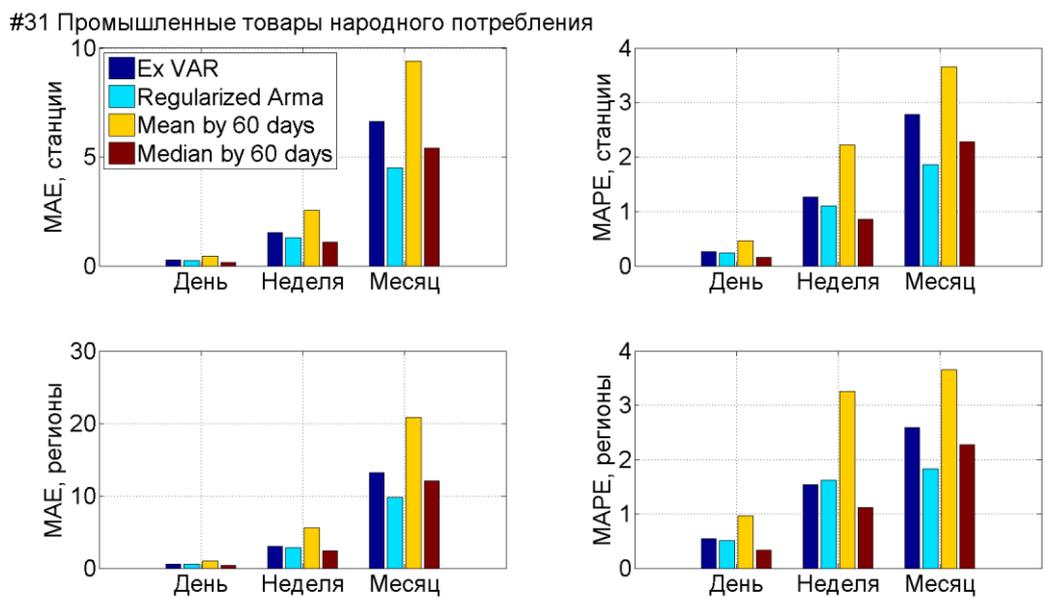


Рис. 2.89. Тип груза #31 Промышленные товары народного потребления - Ошибка прогнозирования

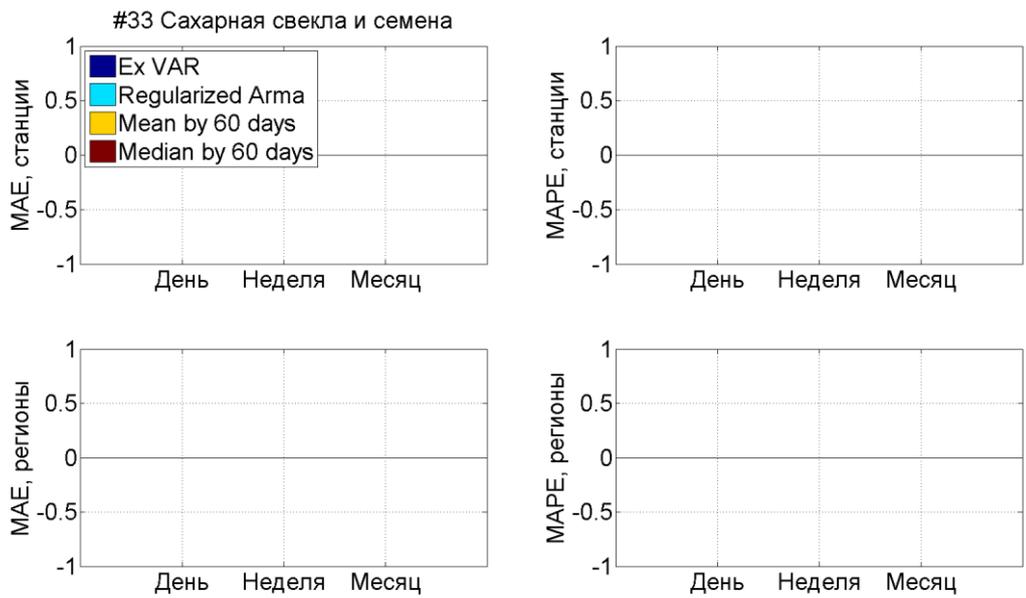


Рис. 2.90. Тип груза #33 Сахарная свекла и семена - Ошибка прогнозирования

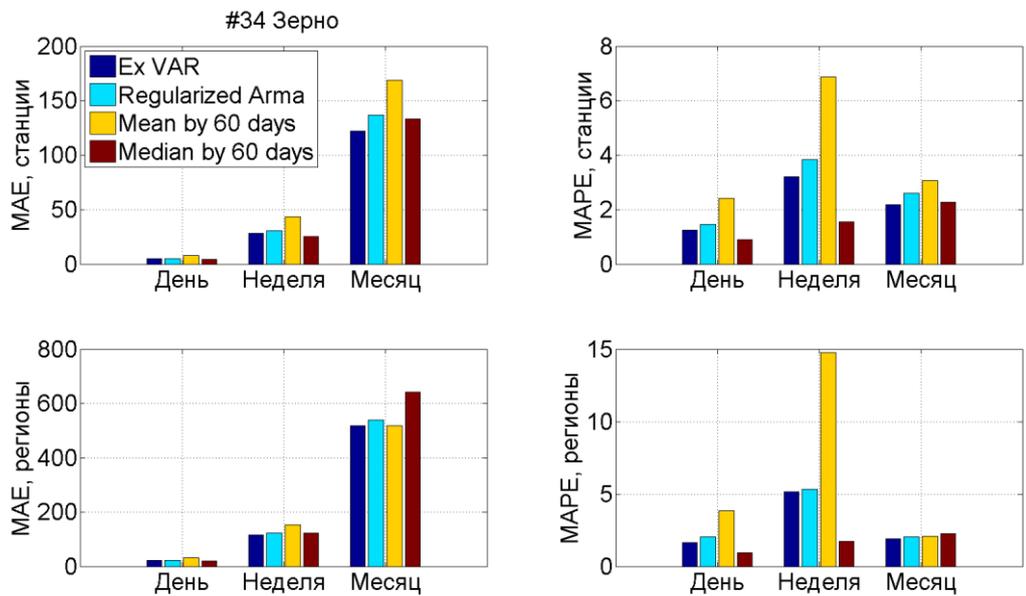


Рис. 2.91. Тип груза #34 Зерно - Ошибка прогнозирования

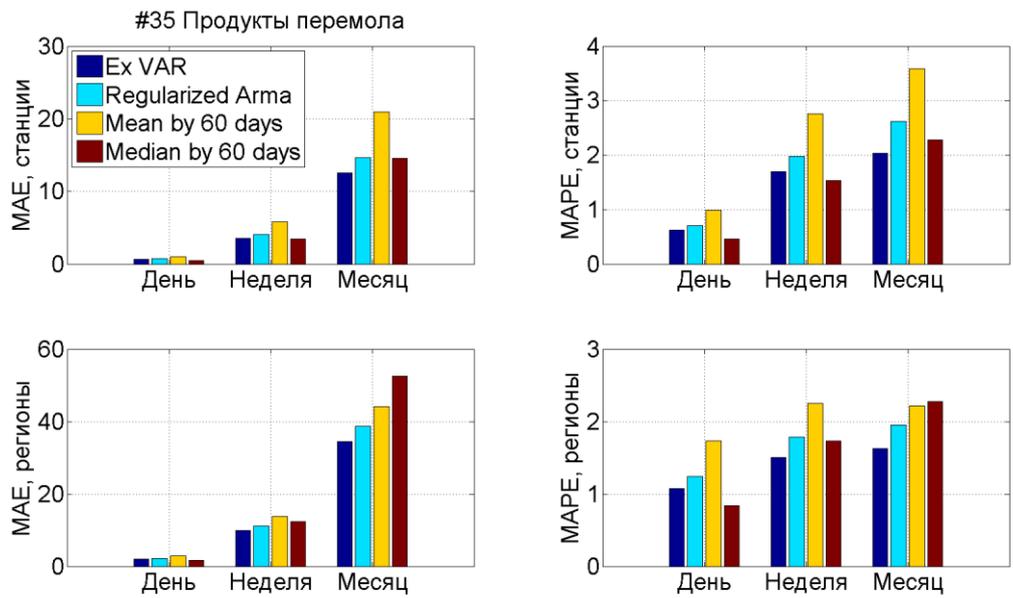


Рис. 2.92. Тип груза #35 Продукты перемола - Ошибка прогнозирования

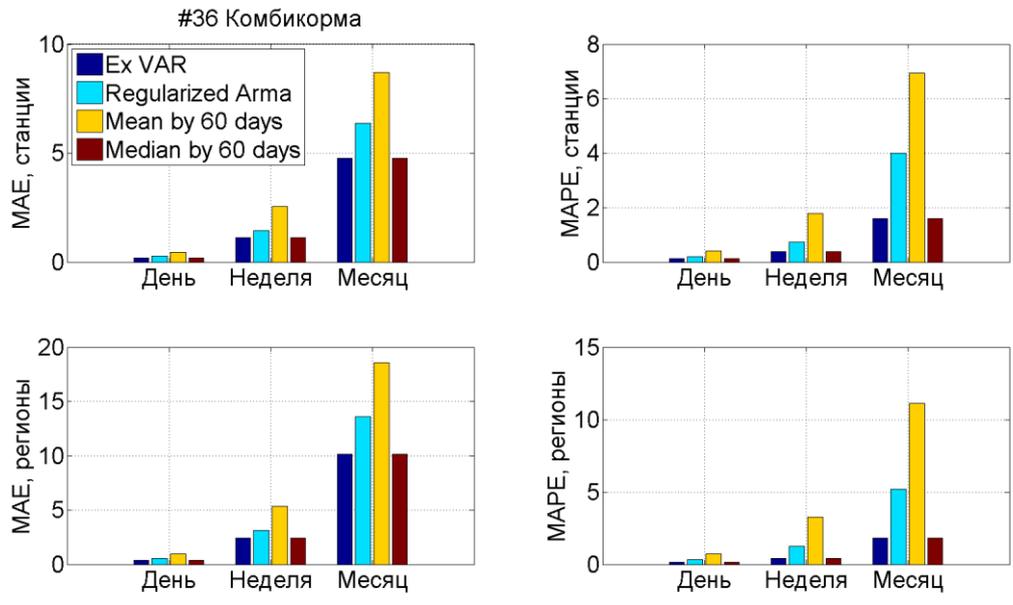


Рис. 2.93. Тип груза #36 Комбикорма - Ошибка прогнозирования

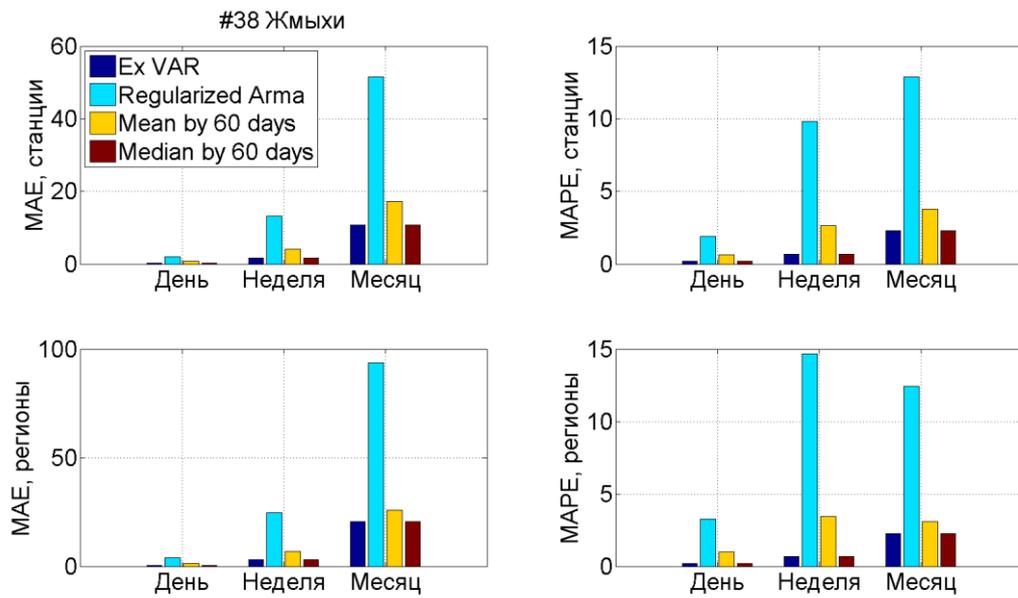


Рис. 2.94. Тип груза #38 Жмыхи - Ошибка прогнозирования

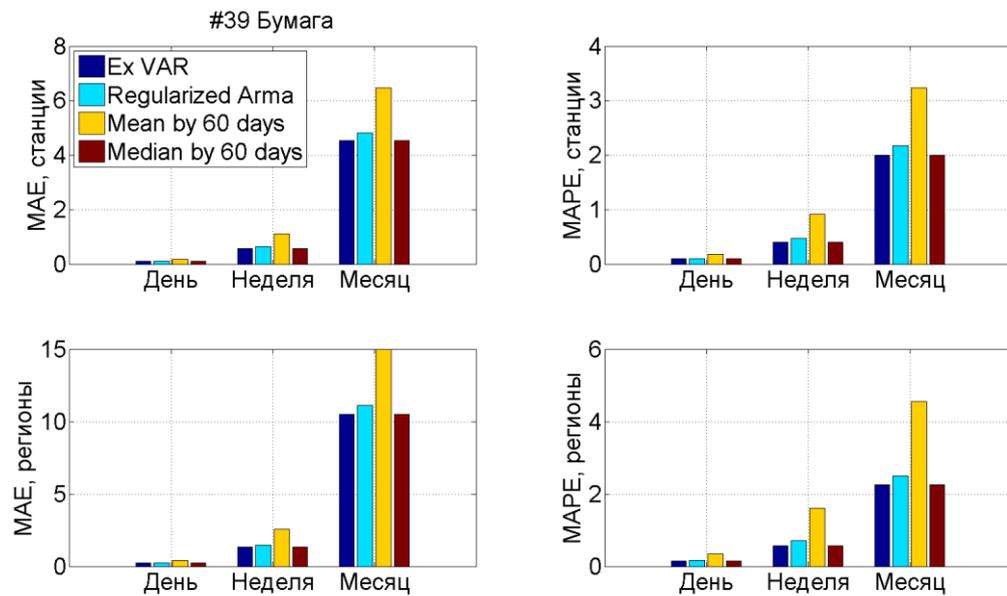


Рис. 2.95. Тип груза #39 Бумага - Ошибка прогнозирования

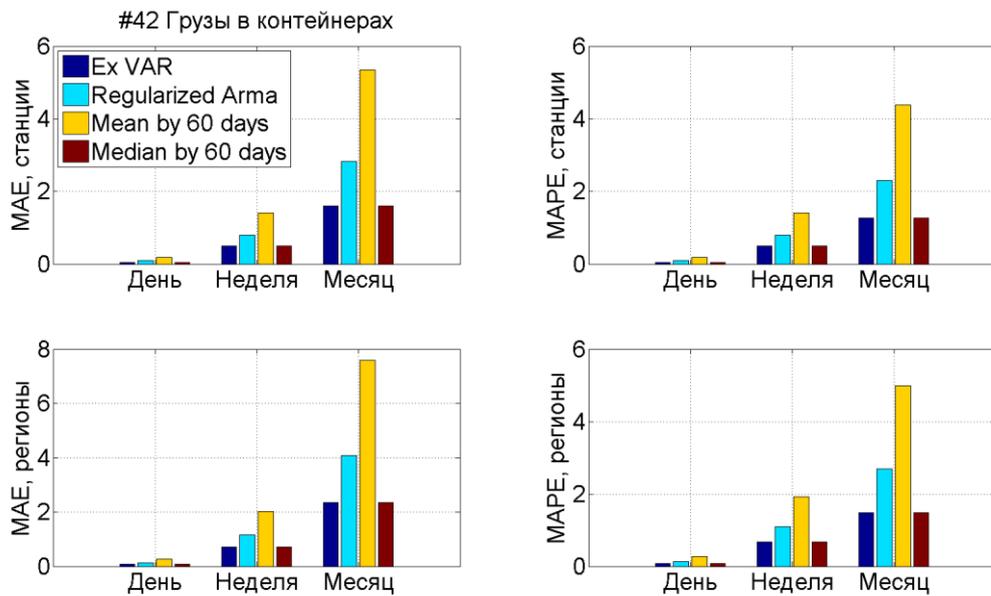


Рис. 2.96. Тип груза #42 Грузы в контейнерах - Ошибка прогнозирования

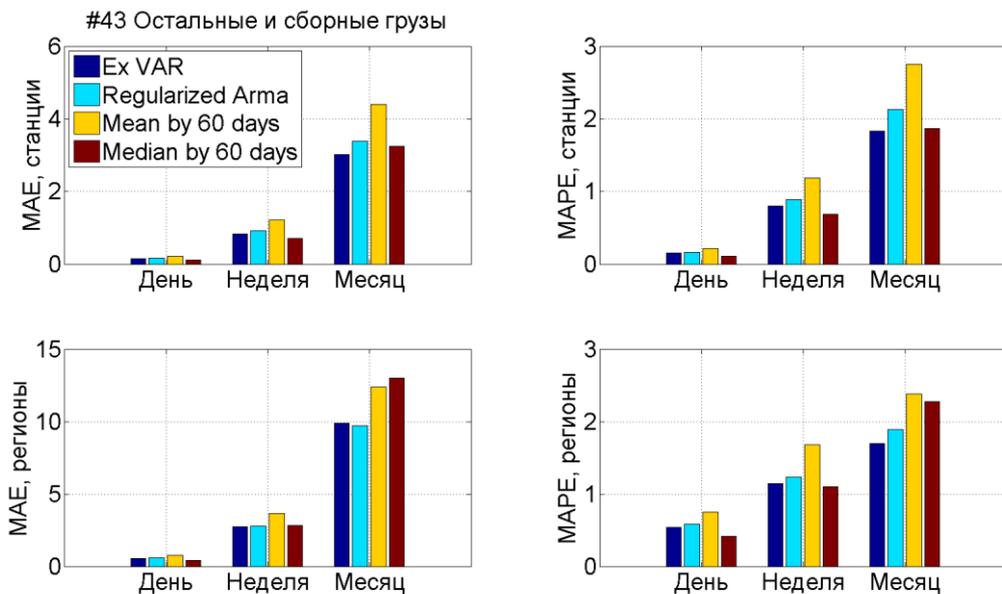


Рис. 2.97. Тип груза #43 Остальные и сборные грузы - Ошибка прогнозирования

б) Ошибки прогнозирования MAE и MARE с детализацией по дням (Д), неделям (Н), месяцам (М), агрегированные по парам станций и регионов для всех типов грузов, вычисленных по формулам (10, 12, 14, 16, 18, 20) и (22, 24, 26, 28, 30, 32), соответственно, представлены в виде сводной таблицы – табл. 2.2;

Таблица 2.2 – Сводная таблица ошибок прогнозов объемов перевозок для всех типов грузов

#1 Каменный уголь							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	5,25	32,20	106,32	Ex VAR	1,14	1,62	1,41
Regularized Arma	5,80	34,13	108,40	Regularized Arma	1,29	1,80	1,47
Mean by 60 days	6,79	39,64	125,66	Mean by 60 days	1,54	1,99	1,74
Median by 60 days	4,97	31,69	110,22	Median by 60 days	1,07	1,56	1,42
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	16,96	102,76	331,05	Ex VAR	1,31	1,52	1,21
Regularized Arma	18,40	104,90	316,60	Regularized Arma	1,49	1,67	1,20
Mean by 60 days	20,12	107,99	321,61	Mean by 60 days	1,71	1,73	1,33
Median by 60 days	16,92	108,50	365,73	Median by 60 days	1,27	1,54	1,31
#2 Кокс							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	8,73	46,04	129,11	Ex VAR	2,35	9,20	0,74
Regularized Arma	8,15	43,66	121,48	Regularized Arma	1,58	5,18	0,63
Mean by 60 days	9,35	49,04	162,48	Mean by 60 days	2,28	8,32	1,02
Median by 60 days	8,46	44,20	147,67	Median by 60 days	2,02	7,36	0,89
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	11,83	60,20	160,53	Ex VAR	2,82	12,22	0,64
Regularized Arma	11,09	58,82	161,09	Regularized Arma	1,85	6,75	0,61
Mean by 60 days	12,59	64,91	210,76	Mean by 60 days	2,71	11,03	0,94
Median by 60 days	11,53	59,00	181,98	Median by 60 days	2,42	9,78	0,76
#3 Нефть							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	14,80	70,02	229,75	Ex VAR	1,22	1,64	1,40
Regularized Arma	14,49	71,19	243,73	Regularized Arma	1,17	1,59	1,45
Mean by 60 days	16,35	77,01	248,14	Mean by 60 days	1,35	1,82	1,53
Median by 60 days	12,11	71,99	296,33	Median by 60 days	0,95	1,43	1,69
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	47,82	235,42	717,26	Ex VAR	0,85	1,26	0,91
Regularized Arma	50,31	256,51	864,15	Regularized Arma	0,87	1,23	1,01
Mean by 60 days	51,47	247,24	693,99	Mean by 60 days	0,92	1,39	0,89
Median by 60 days	51,96	320,62	1367,81	Median by 60 days	0,86	1,32	1,66
#4 Торф							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,00	0,00	0,00	Ex VAR	0,00	0,00	0,00
Regularized Arma	0,02	0,13	0,56	Regularized Arma	0,02	0,13	0,56
Mean by 60 days	0,58	4,08	18,08	Mean by 60 days	0,58	4,08	18,08
Median by 60 days	0,00	0,00	0,00	Median by 60 days	0,00	0,00	0,00
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	0,00	0,00	0,00	Ex VAR	0,00	0,00	0,00
Regularized Arma	0,02	0,17	0,74	Regularized Arma	0,02	0,17	0,74

Mean by 60 days	0,78	5,44	24,11	Mean by 60 days	0,78	5,44	24,11
Median by 60 days	0,00	0,00	0,00	Median by 60 days	0,00	0,00	0,00
#6 Флюсы							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,58	3,48	14,12	Ex VAR	0,08	0,20	0,80
Regularized Arma	1,83	11,05	42,07	Regularized Arma	1,41	8,58	21,31
Mean by 60 days	1,24	7,76	21,14	Mean by 60 days	0,73	4,19	8,00
Median by 60 days	0,58	3,48	14,12	Median by 60 days	0,08	0,20	0,80
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	0,92	5,52	22,35	Ex VAR	0,08	0,20	0,80
Regularized Arma	2,89	17,49	66,62	Regularized Arma	2,18	13,45	33,00
Mean by 60 days	1,94	11,89	25,08	Mean by 60 days	1,10	6,45	11,90
Median by 60 days	0,92	5,52	22,35	Median by 60 days	0,08	0,20	0,80
#7 Руда железная							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	4,49	26,40	90,55	Ex VAR	1,67	1,91	2,09
Regularized Arma	7,48	48,50	185,08	Regularized Arma	3,19	3,36	3,89
Mean by 60 days	4,49	26,76	90,20	Mean by 60 days	1,67	1,95	2,19
Median by 60 days	3,23	25,54	106,15	Median by 60 days	0,90	1,73	2,28
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	7,44	42,44	148,59	Ex VAR	1,84	1,68	1,84
Regularized Arma	12,97	80,10	300,63	Regularized Arma	3,78	3,01	3,35
Mean by 60 days	7,50	41,07	138,02	Mean by 60 days	1,87	1,62	1,80
Median by 60 days	5,75	45,50	189,14	Median by 60 days	0,92	1,73	2,28
#8 Руда цветная							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	1,52	9,13	41,66	Ex VAR	0,61	0,80	2,28
Regularized Arma	1,80	10,66	44,44	Regularized Arma	0,82	1,64	2,43
Mean by 60 days	2,41	12,59	43,86	Mean by 60 days	1,32	2,70	2,60
Median by 60 days	1,52	9,13	41,66	Median by 60 days	0,61	0,80	2,28
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	2,00	11,99	54,72	Ex VAR	0,62	0,80	2,28
Regularized Arma	2,32	13,40	51,65	Regularized Arma	0,84	1,84	1,99
Mean by 60 days	3,12	16,13	57,62	Mean by 60 days	1,45	3,16	2,60
Median by 60 days	2,00	11,99	54,72	Median by 60 days	0,62	0,80	2,28
#9 Черные металлы							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,17	1,04	4,14	Ex VAR	0,17	0,88	2,15
Regularized Arma	0,24	1,52	6,14	Regularized Arma	0,24	1,32	3,47
Mean by 60 days	0,52	3,27	13,13	Mean by 60 days	0,52	2,94	6,91
Median by 60 days	0,15	1,06	4,64	Median by 60 days	0,15	0,89	2,28
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	0,54	3,23	12,65	Ex VAR	0,50	1,39	2,13
Regularized Arma	0,72	4,45	14,89	Regularized Arma	0,67	2,19	2,48
Mean by 60 days	1,58	9,27	35,73	Mean by 60 days	1,51	4,48	6,16
Median by 60 days	0,48	3,30	14,40	Median by 60 days	0,43	1,37	2,28

#10 Машины и оборудование							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,04	0,31	1,46	Ex VAR	0,04	0,31	1,43
Regularized Arma	0,07	0,47	1,98	Regularized Arma	0,07	0,47	1,94
Mean by 60 days	0,08	0,53	2,21	Mean by 60 days	0,08	0,53	2,16
Median by 60 days	0,04	0,31	1,53	Median by 60 days	0,04	0,31	1,50
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	0,07	0,49	2,34	Ex VAR	0,07	0,49	1,89
Regularized Arma	0,11	0,74	2,92	Regularized Arma	0,11	0,74	2,29
Mean by 60 days	0,13	0,82	3,23	Mean by 60 days	0,13	0,82	2,56
Median by 60 days	0,07	0,50	2,46	Median by 60 days	0,07	0,50	1,97
#11 Металлические конструкции							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,12	0,63	3,32	Ex VAR	0,12	0,46	2,04
Regularized Arma	0,17	1,08	4,85	Regularized Arma	0,17	0,89	3,16
Mean by 60 days	0,30	1,92	8,41	Mean by 60 days	0,30	1,67	5,76
Median by 60 days	0,10	0,59	3,58	Median by 60 days	0,10	0,42	2,21
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	0,24	1,32	6,92	Ex VAR	0,23	0,67	2,09
Regularized Arma	0,33	1,98	7,94	Regularized Arma	0,31	1,35	2,63
Mean by 60 days	0,60	3,57	14,67	Mean by 60 days	0,58	2,76	5,35
Median by 60 days	0,21	1,24	7,46	Median by 60 days	0,19	0,59	2,28
#12 Метизы							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,61	2,69	8,59	Ex VAR	0,60	1,23	1,40
Regularized Arma	0,62	2,73	9,05	Regularized Arma	0,61	1,24	1,50
Mean by 60 days	0,74	3,26	9,35	Mean by 60 days	0,73	1,55	1,64
Median by 60 days	0,48	2,84	12,48	Median by 60 days	0,47	1,08	1,90
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	1,05	4,91	14,79	Ex VAR	0,76	1,59	1,08
Regularized Arma	1,10	4,90	15,34	Regularized Arma	0,79	1,53	1,13
Mean by 60 days	1,31	5,98	14,84	Mean by 60 days	0,99	2,13	1,20
Median by 60 days	1,00	5,90	25,67	Median by 60 days	0,68	1,16	1,55
#13 Лом черных металлов							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	4,19	20,16	77,19	Ex VAR	1,40	2,13	1,80
Regularized Arma	4,93	25,27	92,94	Regularized Arma	1,60	2,84	2,10
Mean by 60 days	4,35	19,40	66,80	Mean by 60 days	1,45	2,25	1,69
Median by 60 days	3,45	19,93	86,67	Median by 60 days	0,97	1,54	1,89
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	12,69	61,44	229,10	Ex VAR	1,25	1,24	0,95
Regularized Arma	12,22	59,54	234,33	Regularized Arma	1,34	1,53	1,03
Mean by 60 days	11,54	49,54	150,35	Mean by 60 days	1,22	1,17	0,73
Median by 60 days	14,74	83,48	370,18	Median by 60 days	0,95	1,09	1,57
#14 Сельскохозяйственные машины							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М

Ex VAR	0,16	0,90	5,15	Ex VAR	0,16	0,71	2,65
Regularized Arma	0,17	0,98	5,49	Regularized Arma	0,17	0,78	2,74
Mean by 60 days	0,34	1,93	7,64	Mean by 60 days	0,34	1,72	4,29
Median by 60 days	0,12	0,75	4,75	Median by 60 days	0,12	0,58	2,28
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	0,36	1,91	10,59	Ex VAR	0,34	1,04	2,45
Regularized Arma	0,36	2,07	11,44	Regularized Arma	0,34	1,10	2,55
Mean by 60 days	0,73	3,92	14,82	Mean by 60 days	0,71	2,73	3,80
Median by 60 days	0,27	1,65	10,53	Median by 60 days	0,25	0,80	2,28
#15 Автомобили							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,00	0,02	0,23	Ex VAR	0,00	0,02	0,23
Regularized Arma	0,02	0,14	0,77	Regularized Arma	0,02	0,14	0,77
Mean by 60 days	0,03	0,21	1,03	Mean by 60 days	0,03	0,21	1,03
Median by 60 days	0,00	0,02	0,23	Median by 60 days	0,00	0,02	0,23
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	0,01	0,04	0,45	Ex VAR	0,01	0,04	0,45
Regularized Arma	0,04	0,27	1,45	Regularized Arma	0,04	0,27	1,45
Mean by 60 days	0,06	0,40	1,95	Mean by 60 days	0,06	0,40	1,95
Median by 60 days	0,01	0,04	0,45	Median by 60 days	0,01	0,04	0,45
#16 Цветные металлы							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,35	2,07	10,43	Ex VAR	0,23	0,79	2,28
Regularized Arma	0,42	2,66	13,28	Regularized Arma	0,31	1,23	3,77
Mean by 60 days	0,72	4,07	16,42	Mean by 60 days	0,60	2,27	4,46
Median by 60 days	0,35	2,07	10,43	Median by 60 days	0,23	0,79	2,28
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	0,51	3,04	15,29	Ex VAR	0,25	0,80	2,28
Regularized Arma	0,62	3,89	19,43	Regularized Arma	0,35	1,35	3,77
Mean by 60 days	1,06	5,96	24,08	Mean by 60 days	0,77	2,57	4,46
Median by 60 days	0,51	3,04	15,29	Median by 60 days	0,25	0,80	2,28
#17 Химические и минеральные удобрения							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,30	2,20	13,03	Ex VAR	0,24	1,23	2,28
Regularized Arma	0,43	2,66	12,07	Regularized Arma	0,36	1,62	2,06
Mean by 60 days	1,01	6,01	21,42	Mean by 60 days	0,93	4,15	3,85
Median by 60 days	0,30	2,20	13,03	Median by 60 days	0,24	1,23	2,28
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	0,48	3,56	21,03	Ex VAR	0,31	1,62	2,28
Regularized Arma	0,64	3,39	14,97	Regularized Arma	0,47	1,67	1,60
Mean by 60 days	1,47	7,62	28,58	Mean by 60 days	1,28	4,56	3,25
Median by 60 days	0,48	3,56	21,03	Median by 60 days	0,31	1,62	2,28
#18 Химикаты и сода							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	4,23	21,60	72,92	Ex VAR	1,19	2,18	1,84
Regularized Arma	3,81	18,18	53,69	Regularized Arma	1,08	2,10	1,50

Mean by 60 days	4,18	19,89	61,49	Mean by 60 days	1,23	2,45	1,87
Median by 60 days	3,41	18,70	66,52	Median by 60 days	0,93	1,92	1,54
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	9,69	48,51	167,30	Ex VAR	1,18	2,08	1,77
Regularized Arma	8,81	40,96	122,80	Regularized Arma	1,08	2,01	1,44
Mean by 60 days	9,51	43,69	135,38	Mean by 60 days	1,22	2,36	1,79
Median by 60 days	8,11	44,55	159,34	Median by 60 days	0,94	1,89	1,52
#19 Строительные грузы							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	2,21	11,45	46,45	Ex VAR	1,23	2,06	1,98
Regularized Arma	2,29	11,56	42,28	Regularized Arma	1,26	2,17	1,85
Mean by 60 days	3,27	16,59	60,26	Mean by 60 days	1,99	3,65	2,53
Median by 60 days	1,84	10,39	47,67	Median by 60 days	0,98	1,60	2,09
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	6,84	36,34	135,15	Ex VAR	1,09	1,43	1,17
Regularized Arma	6,99	33,39	113,57	Regularized Arma	1,14	1,29	0,96
Mean by 60 days	9,60	46,81	182,11	Mean by 60 days	2,27	2,53	1,60
Median by 60 days	6,78	42,25	190,53	Median by 60 days	0,91	1,32	1,67
#20 Промышленное сырье							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,31	2,05	12,59	Ex VAR	0,22	0,94	2,28
Regularized Arma	0,44	2,53	14,66	Regularized Arma	0,34	1,32	2,74
Mean by 60 days	0,70	4,33	21,28	Mean by 60 days	0,59	2,53	4,35
Median by 60 days	0,31	2,05	12,59	Median by 60 days	0,22	0,94	2,28
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	0,49	3,25	19,97	Ex VAR	0,28	1,08	2,28
Regularized Arma	0,69	4,00	23,23	Regularized Arma	0,47	1,63	2,74
Mean by 60 days	1,10	6,66	33,31	Mean by 60 days	0,85	3,12	4,31
Median by 60 days	0,49	3,25	19,97	Median by 60 days	0,28	1,08	2,28
#21 Шлаки гранулированные							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,26	1,58	5,26	Ex VAR	0,12	0,30	0,33
Regularized Arma	0,33	2,44	6,71	Regularized Arma	0,20	1,30	2,76
Mean by 60 days	0,56	3,30	12,59	Mean by 60 days	0,41	1,91	7,08
Median by 60 days	0,26	1,58	5,26	Median by 60 days	0,12	0,30	0,33
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	0,38	2,30	7,67	Ex VAR	0,12	0,30	0,33
Regularized Arma	0,48	3,55	9,78	Regularized Arma	0,24	1,77	3,90
Mean by 60 days	0,81	4,81	18,37	Mean by 60 days	0,54	2,64	10,15
Median by 60 days	0,38	2,30	7,67	Median by 60 days	0,12	0,30	0,33
#22 Огнеупоры							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,19	1,16	5,45	Ex VAR	0,16	0,47	1,88
Regularized Arma	0,24	1,64	6,97	Regularized Arma	0,21	0,88	2,90
Mean by 60 days	0,71	4,24	14,70	Mean by 60 days	0,66	3,09	7,55
Median by 60 days	0,19	1,16	5,45	Median by 60 days	0,16	0,47	1,88

MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	0,29	1,74	8,17	Ex VAR	0,20	0,50	2,28
Regularized Arma	0,37	2,45	10,39	Regularized Arma	0,27	1,07	3,60
Mean by 60 days	1,06	6,17	20,56	Mean by 60 days	0,94	4,10	8,97
Median by 60 days	0,29	1,74	8,17	Median by 60 days	0,20	0,50	2,28
#23 Цемент							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,08	0,62	2,98	Ex VAR	0,08	0,62	2,28
Regularized Arma	0,10	0,79	3,62	Regularized Arma	0,10	0,79	2,74
Mean by 60 days	0,37	2,50	10,21	Mean by 60 days	0,37	2,50	7,52
Median by 60 days	0,08	0,62	2,98	Median by 60 days	0,08	0,62	2,28
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	0,17	1,34	6,40	Ex VAR	0,14	1,05	2,28
Regularized Arma	0,21	1,54	5,90	Regularized Arma	0,18	1,23	2,16
Mean by 60 days	0,78	5,01	20,30	Mean by 60 days	0,75	4,18	6,92
Median by 60 days	0,17	1,34	6,40	Median by 60 days	0,14	1,05	2,28
#24 Лесные грузы							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,20	1,42	5,85	Ex VAR	0,20	1,14	2,81
Regularized Arma	0,34	2,45	9,27	Regularized Arma	0,34	2,05	4,52
Mean by 60 days	0,53	3,58	14,33	Mean by 60 days	0,53	3,01	7,07
Median by 60 days	0,14	1,05	5,06	Median by 60 days	0,14	0,78	2,28
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	0,46	3,15	11,96	Ex VAR	0,40	2,01	2,50
Regularized Arma	0,75	5,26	18,54	Regularized Arma	0,69	3,72	3,98
Mean by 60 days	1,17	7,31	27,51	Mean by 60 days	1,10	5,19	6,01
Median by 60 days	0,31	2,41	11,58	Median by 60 days	0,25	1,30	2,28
#25 Сахар							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,14	1,02	5,02	Ex VAR	0,13	0,78	2,42
Regularized Arma	0,13	1,05	4,93	Regularized Arma	0,13	0,81	2,39
Mean by 60 days	0,51	3,53	15,76	Mean by 60 days	0,50	3,01	9,01
Median by 60 days	0,11	0,84	4,23	Median by 60 days	0,11	0,62	1,95
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	0,40	2,89	13,98	Ex VAR	0,24	1,50	3,14
Regularized Arma	0,39	2,97	13,79	Regularized Arma	0,24	1,60	2,72
Mean by 60 days	1,40	9,50	41,01	Mean by 60 days	1,20	6,54	15,74
Median by 60 days	0,32	2,44	12,26	Median by 60 days	0,17	1,16	2,21
#26 Мясо и масло животное							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,05	0,31	1,10	Ex VAR	0,05	0,28	0,51
Regularized Arma	0,06	0,39	1,54	Regularized Arma	0,06	0,35	0,93
Mean by 60 days	0,27	1,74	7,19	Mean by 60 days	0,27	1,67	5,65
Median by 60 days	0,05	0,31	1,10	Median by 60 days	0,05	0,28	0,51
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	0,16	0,96	3,35	Ex VAR	0,08	0,40	0,80

Regularized Arma	0,19	1,15	4,41	Regularized Arma	0,11	0,59	1,85
Mean by 60 days	0,78	4,29	17,74	Mean by 60 days	0,71	3,66	13,02
Median by 60 days	0,16	0,96	3,35	Median by 60 days	0,08	0,40	0,80
#27 Рыба							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,03	0,19	0,67	Ex VAR	0,03	0,19	0,47
Regularized Arma	0,07	0,45	1,83	Regularized Arma	0,07	0,45	1,60
Mean by 60 days	0,25	1,62	6,48	Mean by 60 days	0,25	1,62	5,66
Median by 60 days	0,03	0,19	0,67	Median by 60 days	0,03	0,19	0,47
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	0,11	0,65	2,30	Ex VAR	0,08	0,47	0,80
Regularized Arma	0,22	1,36	5,53	Regularized Arma	0,19	1,13	4,13
Mean by 60 days	0,82	4,95	20,95	Mean by 60 days	0,78	4,49	15,73
Median by 60 days	0,11	0,65	2,30	Median by 60 days	0,08	0,47	0,80
#28 Картофель, овощи и фрукты							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,23	1,39	7,06	Ex VAR	0,15	0,60	2,28
Regularized Arma	0,37	1,96	6,51	Regularized Arma	0,28	1,18	2,51
Mean by 60 days	0,49	2,42	8,51	Mean by 60 days	0,40	1,53	3,39
Median by 60 days	0,23	1,39	7,06	Median by 60 days	0,15	0,60	2,28
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	0,45	2,68	13,62	Ex VAR	0,15	0,60	2,28
Regularized Arma	0,69	3,63	10,13	Regularized Arma	0,39	1,66	2,29
Mean by 60 days	0,92	3,75	12,74	Mean by 60 days	0,62	2,07	3,10
Median by 60 days	0,45	2,68	13,62	Median by 60 days	0,15	0,60	2,28
#29 Соль поваренная							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,02	0,13	0,44	Ex VAR	0,02	0,10	0,33
Regularized Arma	0,03	0,20	0,57	Regularized Arma	0,03	0,17	0,46
Mean by 60 days	0,20	1,34	5,47	Mean by 60 days	0,19	1,28	5,02
Median by 60 days	0,02	0,13	0,44	Median by 60 days	0,02	0,10	0,33
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	0,06	0,34	1,14	Ex VAR	0,02	0,10	0,33
Regularized Arma	0,08	0,52	1,46	Regularized Arma	0,04	0,27	0,70
Mean by 60 days	0,51	3,46	14,10	Mean by 60 days	0,47	3,04	10,79
Median by 60 days	0,06	0,34	1,14	Median by 60 days	0,02	0,10	0,33
#30 Остальные продовольственные товары							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,77	4,11	14,46	Ex VAR	0,75	1,51	1,99
Regularized Arma	0,71	3,96	15,44	Regularized Arma	0,69	1,35	2,05
Mean by 60 days	0,99	5,44	19,17	Mean by 60 days	0,97	2,13	2,90
Median by 60 days	0,61	3,87	16,84	Median by 60 days	0,59	1,24	2,38
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	2,36	11,99	42,65	Ex VAR	1,19	2,34	1,75
Regularized Arma	2,28	12,29	46,84	Regularized Arma	1,10	2,02	1,78
Mean by 60 days	3,00	15,16	52,21	Mean by 60 days	1,58	3,39	2,40

Median by 60 days	2,06	13,04	56,90	Median by 60 days	0,96	1,83	2,32
#31 Промышленные товары народного потребления							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,27	1,53	6,62	Ex VAR	0,27	1,26	2,78
Regularized Arma	0,24	1,29	4,50	Regularized Arma	0,24	1,10	1,86
Mean by 60 days	0,46	2,54	9,39	Mean by 60 days	0,46	2,22	3,66
Median by 60 days	0,16	1,08	5,41	Median by 60 days	0,16	0,86	2,28
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	0,58	3,03	13,18	Ex VAR	0,54	1,54	2,60
Regularized Arma	0,54	2,85	9,79	Regularized Arma	0,51	1,62	1,83
Mean by 60 days	1,01	5,56	20,84	Mean by 60 days	0,97	3,25	3,65
Median by 60 days	0,36	2,41	12,04	Median by 60 days	0,33	1,11	2,28
#33 Сахарная свекла и семена							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,00	0,00	0,00	Ex VAR	0,00	0,00	0,00
Regularized Arma	0,00	0,00	0,00	Regularized Arma	0,00	0,00	0,00
Mean by 60 days	0,00	0,00	0,00	Mean by 60 days	0,00	0,00	0,00
Median by 60 days	0,00	0,00	0,00	Median by 60 days	0,00	0,00	0,00
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	0,00	0,00	0,00	Ex VAR	0,00	0,00	0,00
Regularized Arma	0,00	0,00	0,00	Regularized Arma	0,00	0,00	0,00
Mean by 60 days	0,00	0,00	0,00	Mean by 60 days	0,00	0,00	0,00
Median by 60 days	0,00	0,00	0,00	Median by 60 days	0,00	0,00	0,00
#34 Зерно							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	4,90	28,34	122,39	Ex VAR	1,26	3,21	2,18
Regularized Arma	5,25	30,38	137,02	Regularized Arma	1,45	3,84	2,60
Mean by 60 days	7,69	43,40	168,78	Mean by 60 days	2,40	6,86	3,07
Median by 60 days	4,10	25,56	133,01	Median by 60 days	0,89	1,56	2,28
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	21,56	116,81	517,25	Ex VAR	1,63	5,15	1,90
Regularized Arma	22,49	123,26	539,70	Regularized Arma	2,04	5,34	2,05
Mean by 60 days	30,73	153,18	517,78	Mean by 60 days	3,83	14,74	2,08
Median by 60 days	19,75	123,17	641,09	Median by 60 days	0,94	1,73	2,28
#35 Продукты перемола							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,64	3,56	12,55	Ex VAR	0,63	1,69	2,04
Regularized Arma	0,72	4,10	14,68	Regularized Arma	0,71	1,97	2,62
Mean by 60 days	1,00	5,84	20,94	Mean by 60 days	0,98	2,76	3,58
Median by 60 days	0,47	3,42	14,52	Median by 60 days	0,46	1,54	2,28
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	1,98	9,84	34,46	Ex VAR	1,08	1,51	1,63
Regularized Arma	2,24	11,20	38,63	Regularized Arma	1,24	1,78	1,95
Mean by 60 days	2,88	13,80	44,18	Mean by 60 days	1,73	2,25	2,22
Median by 60 days	1,71	12,41	52,60	Median by 60 days	0,83	1,73	2,28
#36 Комбикорма							

MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,19	1,13	4,76	Ex VAR	0,12	0,39	1,60
Regularized Arma	0,27	1,46	6,38	Regularized Arma	0,20	0,75	4,00
Mean by 60 days	0,46	2,54	8,70	Mean by 60 days	0,40	1,79	6,93
Median by 60 days	0,19	1,13	4,76	Median by 60 days	0,12	0,39	1,60
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	0,40	2,42	10,15	Ex VAR	0,13	0,40	1,81
Regularized Arma	0,58	3,10	13,58	Regularized Arma	0,31	1,25	5,19
Mean by 60 days	0,99	5,38	18,57	Mean by 60 days	0,71	3,28	11,13
Median by 60 days	0,40	2,42	10,15	Median by 60 days	0,13	0,40	1,81
#38 Жмыхи							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,27	1,62	10,83	Ex VAR	0,18	0,67	2,28
Regularized Arma	2,03	13,14	51,46	Regularized Arma	1,88	9,83	12,89
Mean by 60 days	0,73	4,07	17,27	Mean by 60 days	0,63	2,63	3,78
Median by 60 days	0,27	1,62	10,83	Median by 60 days	0,18	0,67	2,28
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	0,51	3,08	20,53	Ex VAR	0,20	0,70	2,28
Regularized Arma	3,85	24,75	93,80	Regularized Arma	3,28	14,66	12,44
Mean by 60 days	1,36	6,75	25,76	Mean by 60 days	1,00	3,46	3,09
Median by 60 days	0,51	3,08	20,53	Median by 60 days	0,20	0,70	2,28
#39 Бумага							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,09	0,57	4,53	Ex VAR	0,09	0,41	2,00
Regularized Arma	0,11	0,64	4,82	Regularized Arma	0,10	0,47	2,17
Mean by 60 days	0,18	1,11	6,46	Mean by 60 days	0,18	0,91	3,24
Median by 60 days	0,09	0,57	4,53	Median by 60 days	0,09	0,41	2,00
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	0,22	1,32	10,50	Ex VAR	0,15	0,58	2,26
Regularized Arma	0,25	1,49	11,13	Regularized Arma	0,17	0,71	2,50
Mean by 60 days	0,42	2,57	14,99	Mean by 60 days	0,34	1,60	4,55
Median by 60 days	0,22	1,32	10,50	Median by 60 days	0,15	0,58	2,26
#42 Грузы в контейнерах							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,05	0,49	1,61	Ex VAR	0,05	0,49	1,26
Regularized Arma	0,09	0,80	2,83	Regularized Arma	0,09	0,80	2,30
Mean by 60 days	0,18	1,40	5,34	Mean by 60 days	0,18	1,40	4,39
Median by 60 days	0,05	0,49	1,61	Median by 60 days	0,05	0,49	1,26
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	0,07	0,72	2,35	Ex VAR	0,07	0,67	1,48
Regularized Arma	0,13	1,16	4,08	Regularized Arma	0,13	1,10	2,69
Mean by 60 days	0,27	2,02	7,58	Mean by 60 days	0,27	1,92	5,00
Median by 60 days	0,07	0,72	2,35	Median by 60 days	0,07	0,67	1,48
#43 Остальные и сборные грузы							
MAE - Станции	Д	Н	М	MAPE - Станции	Д	Н	М
Ex VAR	0,15	0,82	3,03	Ex VAR	0,15	0,80	1,83

Regularized Arma	0,16	0,91	3,39	Regularized Arma	0,16	0,89	2,13
Mean by 60 days	0,21	1,21	4,39	Mean by 60 days	0,21	1,18	2,75
Median by 60 days	0,11	0,71	3,24	Median by 60 days	0,11	0,69	1,87
MAE - Регионы	Д	Н	М	MAPE - Регионы	Д	Н	М
Ex VAR	0,56	2,72	9,87	Ex VAR	0,54	1,14	1,70
Regularized Arma	0,61	2,80	9,70	Regularized Arma	0,59	1,23	1,89
Mean by 60 days	0,77	3,66	12,41	Mean by 60 days	0,75	1,68	2,38
Median by 60 days	0,43	2,83	13,00	Median by 60 days	0,41	1,11	2,28

7) Графики значений ошибок прогнозирования MAE и MAPE в ретроспективном разрезе с детализацией по дням, неделям, месяцам, агрегированных по парам станций и регионов и усредненных по всем типам грузов по формулам (33-34), представлены на рис. 2.98 и рис. 2.99 соответственно. На рис. 2.98-2.99 (а-в) приведены графики зависимости значений ошибок MAE от горизонта прогнозирования для пар станций и регионов соответственно, усредненных по всем типам грузов, по оси ординат отложены значения ошибок MAE, по оси абсцисс – горизонт прогнозирования в днях, неделях и месяцах соответственно; на рис. 2.98-2.99 (г-е) приведен график зависимости значений ошибок MAPE от горизонта прогнозирования для пар станций и регионов соответственно, усредненных по всем типам грузов, по оси абсцисс отложены значения ошибок MAPE, по оси ординат – горизонт прогнозирования в днях, неделях и месяцах соответственно.

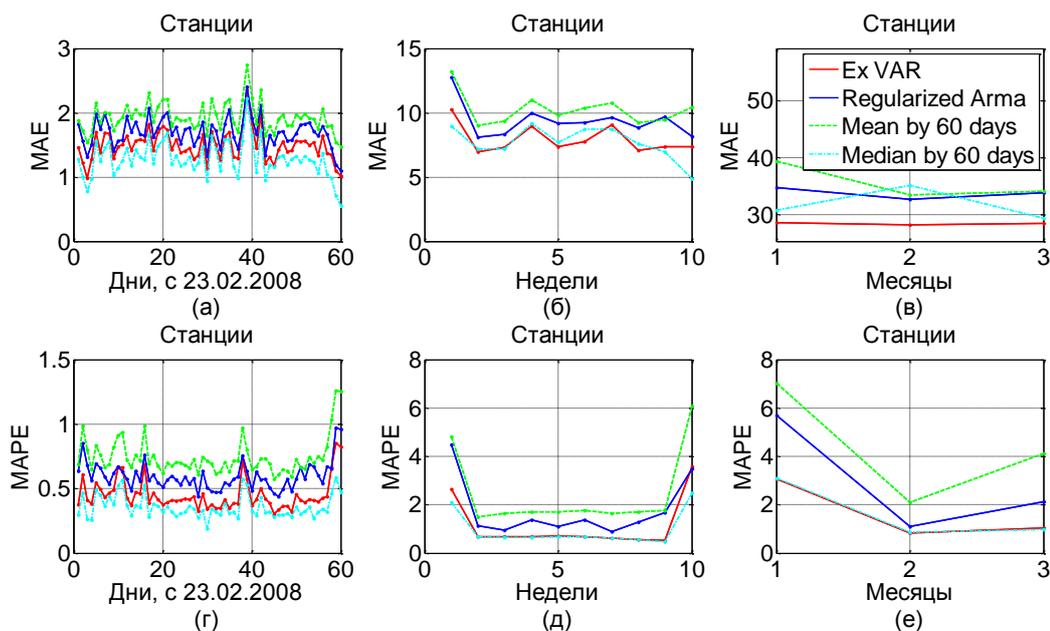


Рис. 2.98. Значения ошибок прогнозирования MAE и MAPE в ретроспективном разрезе, усредненные по всем типам грузов для пар станций

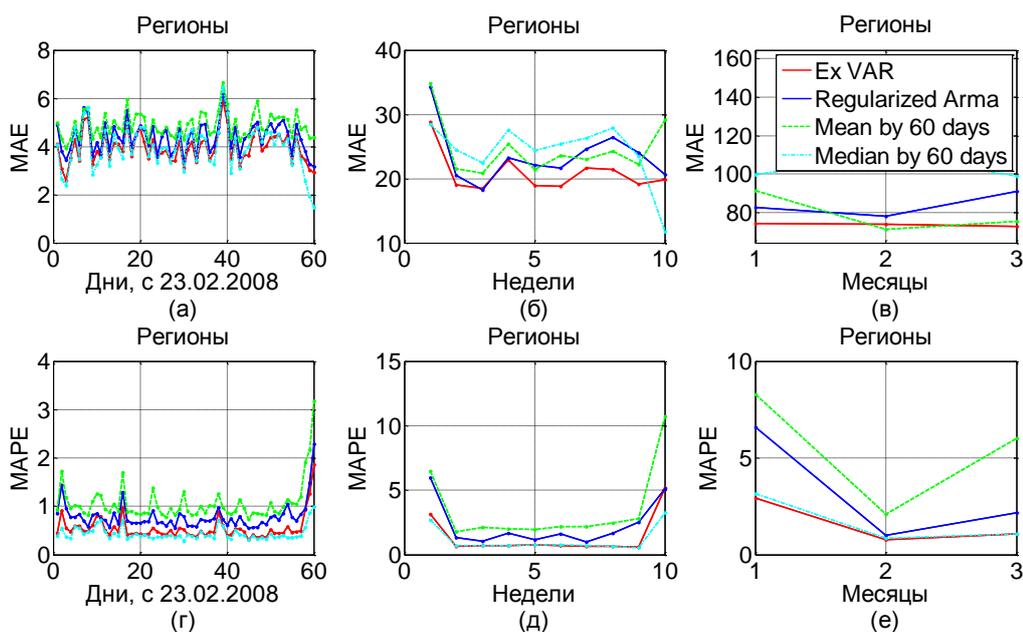


Рис. 2.99. Значения ошибок прогнозирования MAE и MAPE в ретроспективном разрезе, усредненные по всем типам грузов для пар регионов

2.2 Оценка адекватности и ожидаемости результатов прогнозов экспертной оценке

В данном подразделе приводятся результаты оценки в соответствии с подразделом 1.1.2 Программы и методики проведения вычислительного эксперимента.

Из результатов, представленных в табл. 2.2 и рис. 2.60 – 2.97 следует, что:

- в 57 из 79 случаев значение ошибки меньше значения ошибки для алгоритма ARMA для заданных исходных данных (значение ошибки MAE для пар станций и регионов с детализацией по дням);
- в 55 из 79 случаев значение ошибки меньше значения ошибки для алгоритма ARMA для заданных исходных данных (значение ошибки MAE для пар станций и регионов с детализацией по неделям);
- в 51 из 79 случаев значение ошибки меньше значения ошибки для алгоритма ARMA для заданных исходных данных (значение ошибки MAE для пар станций и регионов с детализацией по месяцам);
- в 58 из 79 случаев значение ошибки меньше значения ошибки для алгоритма ARMA для заданных исходных данных (значение ошибки MAPE для пар станций и регионов с детализацией по дням);
- в 56 из 79 случаев значение ошибки меньше значения ошибки для алгоритма ARMA для заданных исходных данных (значение ошибки MAPE для пар станций и регионов с детализацией по неделям);
- в 52 из 79 случаев значение ошибки меньше значения ошибки для алгоритма ARMA для заданных исходных данных (значение ошибки MAPE для пар станций и регионов с детализацией по месяцам).

2.3 Выводы

В этом разделе, выполненном в соответствии с п. 3.14 Технического задания и пп. 3.2 Календарного плана, представлены результаты проведения серии вычислительных экспериментов по прогнозированию объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки на модельных исходных данных объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки и экзогенных факторов с помощью макета модуля прогнозирования для подтверждения адекватности и ожидаемости результатов прогноза экспертной оценке.

Результаты прогнозов на модельных исходных данных адекватны и соответствуют ожиданиям экспертов. Значения ошибок прогнозирования статистически не превосходят значения ошибок прогнозирования по модели ARMA.

Из сравнения результатов прогнозирования следует, что целесообразно использовать временные ряды экзогенных факторов, связанных с прогнозируемыми временными рядами.

Таким образом, все работы данного раздела, предусмотренные Календарным планом и Техническим заданием, выполнены полностью.

В основу методов анализа и сравнения прогностических моделей, а также разработанной математической модели и макета модуля прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки, учитывающей влияние экзогенных факторов на объемы спроса на грузовые железнодорожные перевозки были положены теоретические результаты, полученные на предыдущих этапах (разделы 1 и 3, подраздел 2.1 Отчета о ПНИ за первый этап: «Аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей исследуемую научно-техническую проблему, исследуемую в рамках ПНИ», «Постановка и анализ проблемы прогнозирования объемов спроса на ГЖДП с учетом влияния экзогенных факторов» и «Выявление и исследование экзогенных факторов, а также исследования их влияния на объемы спроса на грузовые железнодорожные перевозки», соответственно), (раздел 1 и подраздел 1.5.5 Отчета о ПНИ за второй этап: «Исследования по разработке математической модели прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки, учитывающей влияние экзогенных факторов на объемы спроса на грузовые железнодорожные перевозки, а также специфику бизнес-процессов и нормативов индустриального партнера» и «Анализ качества алгоритмов прогнозирования при наличии нестационарности», соответственно) и представленные в статье: Методы прогнозирования временных рядов. На примере железнодорожных грузоперевозок. / Ю. И. Журавлев, К. В. Рудаков, А. Д. Корчагин и др. // Вестник РАН, 2016. № 2, сс. 33–38.

3 Проведение серии вычислительных экспериментов по прогнозированию объёмов спроса на грузовые железнодорожные перевозки с использованием макета модуля прогнозирования объёмов спроса на грузовые железнодорожные перевозки для сравнения значений спрогнозированных объёмов спроса на грузовые железнодорожные перевозки со значениями контрольной выборки данных об объемах спроса на грузовые железнодорожные перевозки и сравнения ошибки прогнозирования предложенной модели с ошибкой прогнозирования модели ARMA на контрольной выборке данных

Представленные в этом разделе результаты вычислительных экспериментов на макете модуля прогнозирования ОСГП и сравнения этих результатов со значениями контрольной выборки данных об ОСГП, а также сравнения ошибок полученных прогнозов с ошибками прогнозирования на модели ARMA выполнены в соответствии с п. 3.15 Технического задания и п. 3.3 Календарного плана.

Вычислительный эксперимент проведен в центре коллективного пользования (ЦКП) МСЦ РАН с использованием уникального научного оборудования (суперкомпьютер МВС-10П).

3.1 Результаты вычислительных экспериментов

1) Графики значений оценки точности относительно модели ARMA в ретроспективном разрезе для пар станций и регионов с детализацией по дням, неделям и месяцам, вычисленных по формулам (57-62), представлены на рис. 3.1 и рис. 3.2 соответственно. На рис. 3.1-3.2 (а-в) приведен график зависимости значений оценки точности MAE относительно модели ARMA в ретроспективном разрезе для пар станций и регионов с детализацией по дням, неделям и месяцам соответственно, по оси абсцисс отложен горизонт прогнозирования в днях, неделях и месяцах соответственно, по оси ординат – значения оценки точности относительно ARMA; на рис. 3.1-3.2 (г-е) приведен график зависимости значений оценки точности MAPE относительно модели ARMA в ретроспективном разрезе для пар станций и регионов с детализацией по дням, неделям и месяцам соответственно, по оси абсцисс отложен горизонт прогнозирования в днях, неделях и месяцах соответственно, по оси ординат – значения оценки точности относительно ARMA.

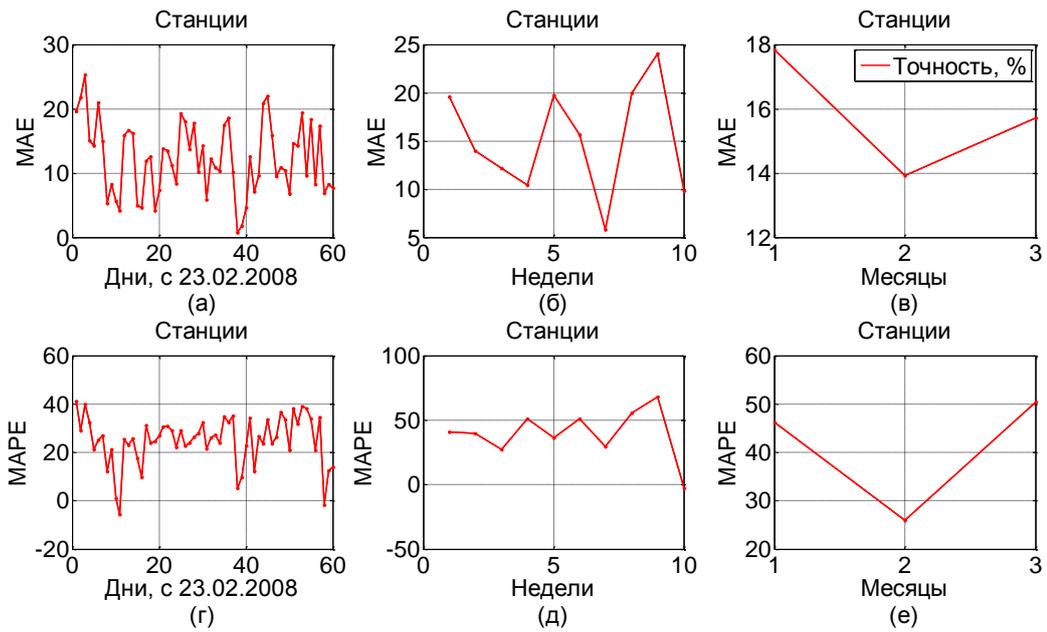


Рис. 3.1. Сравнение точности относительно ARMA для пар станций

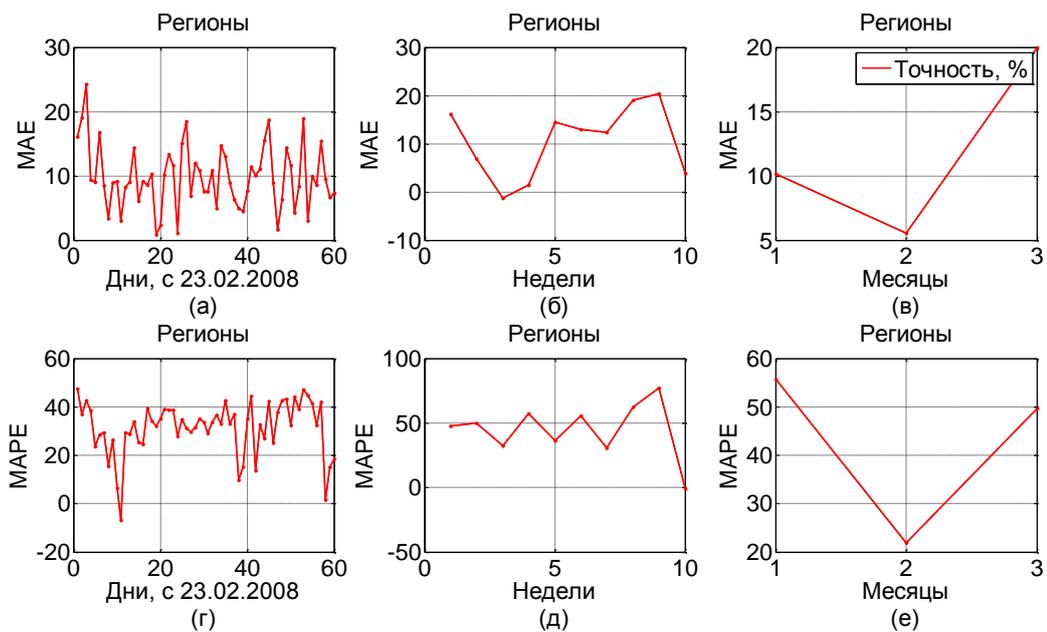


Рис. 3.2. Сравнение точности относительно ARMA для пар регионов

2) Табличные значения оценки точности относительно модели ARMA для пар станции и регионов с детализацией по дням (Д), неделям (Н), месяцам (М), вычисленные по формулам (75-80) представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1 – Оценка точности для пар станций и регионов (%).

Тип груза	Станции			Регионы		
	Д	Н	М	Д	Н	М
#1 Каменный уголь	9,44	5,66	1,92	7,83	2,04	-4,57
#2 Кокс	-7,04	-5,44	-6,28	-6,63	-2,35	0,35
#3 Нефть	-2,12	1,65	5,74	4,94	8,22	17,00
#4 Торф	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
#6 Флюсы	68,23	68,46	66,44	68,23	68,45	66,44
#7 Руда железная	39,93	45,56	51,07	42,63	47,02	50,57
#8 Руда цветная	15,26	14,37	6,26	13,72	10,50	-5,96
#9 Черные металлы	27,14	31,09	32,58	24,29	27,48	15,03
#10 Машины и оборудование	37,33	34,74	26,31	37,16	33,48	19,82
#11 Металлические конструкции	28,59	41,01	31,54	26,27	33,16	12,91
#12 Метизы	1,81	1,26	5,14	4,25	-0,09	3,57
#13 Лом черных металлов	15,00	20,20	16,94	-3,84	-3,19	2,23
#14 Сельскохозяйственные машины	2,02	8,22	6,25	1,45	7,68	7,44
#15 Автомобили	81,41	83,98	69,59	81,39	83,89	69,10
#16 Цветные металлы	18,08	21,94	21,51	18,05	21,83	21,31
#17 Химические и минеральные удобрения	29,73	17,26	-7,98	24,13	-5,00	40,45
#18 Химикаты и сода	10,91	18,77	35,81	10,00	18,44	36,24
#19 Строительные грузы	3,18	0,94	-9,86	2,19	-8,84	19,00
#20 Промышленное сырье	29,48	19,00	14,11	29,47	18,94	14,00
#21 Шлаки гранулированные	20,44	35,28	21,60	20,44	35,28	21,60
#22 Огнеупоры	20,99	29,32	21,92	20,95	29,12	21,36
#23 Цемент	24,02	21,43	17,77	20,90	12,84	-8,37
#24 Лесные грузы	39,58	42,05	36,95	38,82	40,16	35,47
#25 Сахар	-2,16	2,77	-1,90	-2,05	2,58	-1,37
#26 Мясо и масло животное	15,20	19,85	28,79	14,50	16,34	24,00
#27 Рыба	52,56	57,46	63,18	51,64	52,36	58,46
#28 Картофель, овощи и фрукты	36,78	29,16	-8,57	35,71	26,07	34,47
#29 Соль поваренная	32,70	34,29	21,87	32,70	34,29	21,87
#30 Остальные продовольственные товары	-8,54	-3,62	6,36	-3,77	2,44	8,95
#31 Промышленные товары народного потребления	-8,61	18,46	47,11	-6,09	-6,16	34,58
#34 Зерно	6,70	6,72	10,68	4,11	5,23	4,16
#35 Продукты перемола	11,25	13,19	14,50	11,42	12,15	10,79
#36 Комбикорма	30,25	22,25	25,46	30,23	22,16	25,24
#38 Жмыхи	86,71	87,65	78,95	86,69	87,57	78,11
#39 Бумага	10,44	11,44	6,00	10,42	11,27	5,66
#42 Грузы в контейнерах	43,64	38,27	43,21	43,56	37,99	42,29
#43 Остальные и сборные грузы	8,58	9,99	10,74	7,25	2,60	-1,74

3) Графики значений оценки точности относительно прогнозов модели ARMA, агрегированных для пар станций и регионов с детализацией по дням, неделям и месяцам для различных видов грузов, вычисленных по формулам (75-80) представлены на рис. 3.3-3.8 На рис. 3.3-3.8 приведены графики зависимости точности относительно модели ARMA для пар станций и регионов с детализацией по дням, неделям и месяцам соответственно; по оси абсцисс отложены значения кодов груза, по оси ординат – значения оценки точности относительно ARMA.

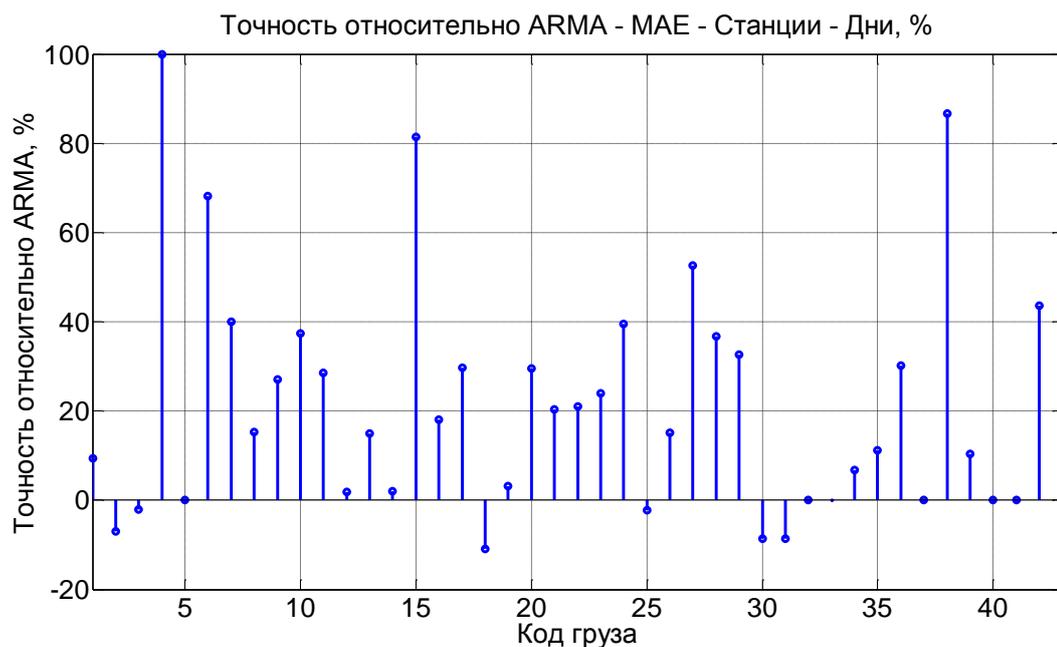


Рис. 3.3. Оценка точности относительно модели ARMA для пар станций с детализацией по дням, %



Рис. 3.4. Оценка точности относительно модели ARMA для пар станций с детализацией по неделям, %

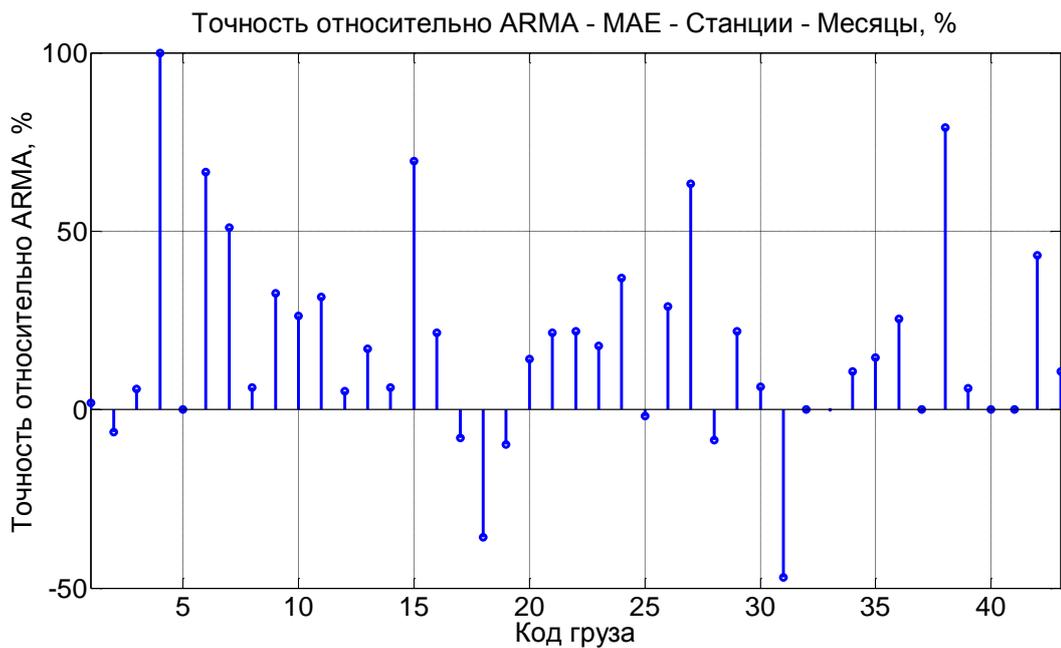


Рис. 3.5. Оценка точности относительно модели ARMA для пар станций с детализацией по месяцам, %

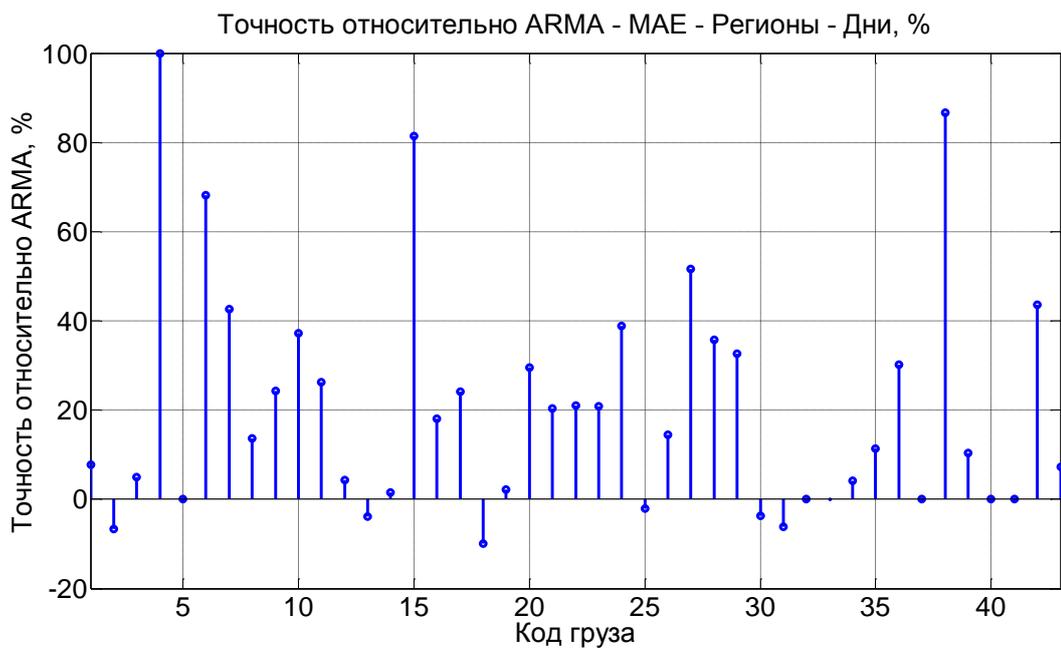


Рис. 3.6. Оценка точности относительно модели ARMA для пар регионов с детализацией по дням, %

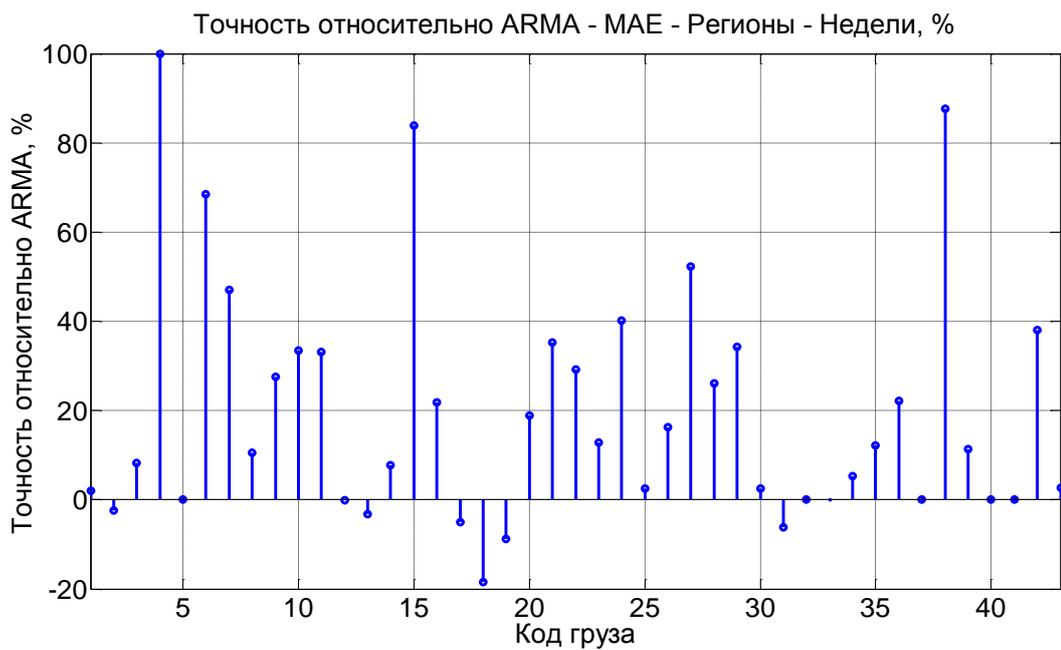


Рис. 3.7. Оценка точности относительно модели ARMA для пар регионов с детализацией по неделям, %

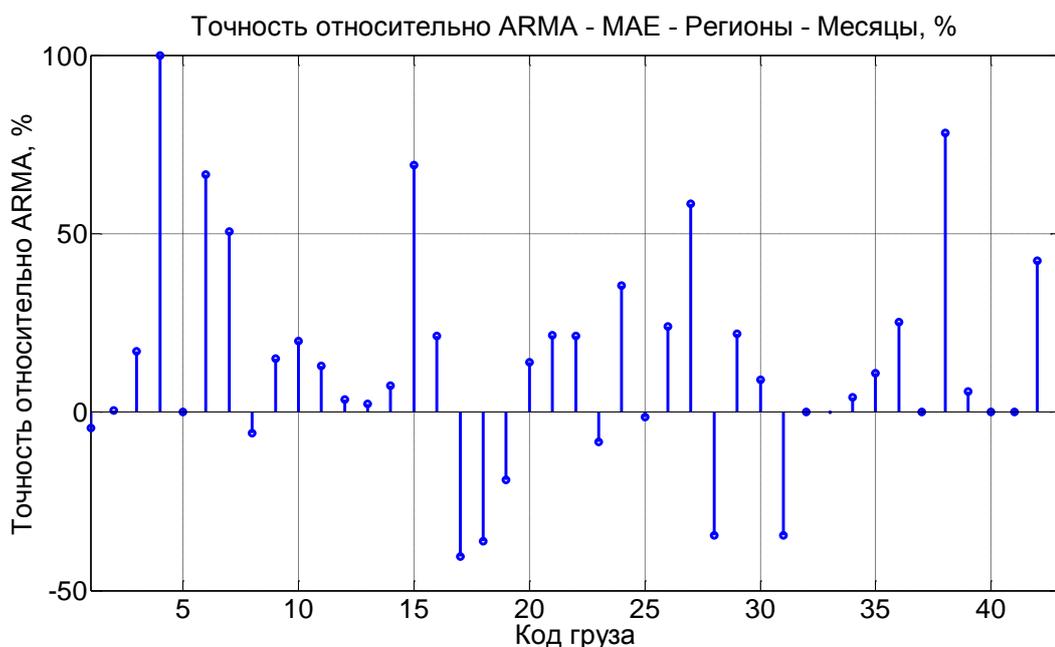


Рис. 3.8. Оценка точности относительно модели ARMA для пар регионов с детализацией по месяцам, %

4) Табличные значения оценки точности относительно модели ARMA для пар станций и регионов, вычисленные по формулам (75-80) и отсортированные по убыванию оценки точности с детализацией по дням, неделям и месяцам представлены в табл. 3.2-3.4 соответственно. Результаты оценки точности для типов грузов «#33 Сахарная свекла и семена» и «#4 Торф» исключены из представленных в виду их низкой репрезентативности, связанной с наличием значительного количество нулевых значений объемов перевозок данного типа груза.

Таблица 3.2. – Упорядоченные по убыванию с детализацией по дням оценки точности для пар станций и регионов (%).

Станции	Точность, %	Регионы	Точность, %
1		2	
#38 Жмыхи	86,71	#38 Жмыхи	86,69
#15 Автомобили	81,41	#15 Автомобили	81,39
#6 Флюсы	68,23	#6 Флюсы	68,23
#27 Рыба	52,56	#27 Рыба	51,64
#42 Грузы в контейнерах	43,64	#42 Грузы в контейнерах	43,56
#7 Руда железная	39,93	#7 Руда железная	42,63
#24 Лесные грузы	39,58	#24 Лесные грузы	38,82
#10 Машины и оборудование	37,33	#10 Машины и оборудование	37,16
#28 Картофель, овощи и фрукты	36,78	#28 Картофель, овощи и фрукты	35,71
#29 Соль поваренная	32,70	#29 Соль поваренная	32,70
#36 Комбикорма	30,25	#36 Комбикорма	30,23

Таблица 3.2. – Продолжение

1		2	
#17 Химические и минеральные удобрения	29,73	#20 Промышленное сырье	29,47
#20 Промышленное сырье	29,48	#11 Металлические конструкции	26,27
#11 Металлические конструкции	28,59	#9 Черные металлы	24,29
#9 Черные металлы	27,14	#17 Химические и минеральные удобрения	24,13
#23 Цемент	24,02	#22 Огнеупоры	20,95
#22 Огнеупоры	20,99	#23 Цемент	20,90
#21 Шлаки гранулированные	20,44	#21 Шлаки гранулированные	20,44
#16 Цветные металлы	18,08	#16 Цветные металлы	18,05
#8 Руда цветная	15,26	#26 Мясо и масло животное	14,50
#26 Мясо и масло животное	15,20	#8 Руда цветная	13,72
#13 Лом черных металлов	15,00	#35 Продукты перемола	11,42
#35 Продукты перемола	11,25	#39 Бумага	10,42
#39 Бумага	10,44	#1 Каменный уголь	7,83
#1 Каменный уголь	9,44	#43 Остальные и сборные грузы	7,25
#43 Остальные и сборные грузы	8,58	#3 Нефть	4,94
#34 Зерно	6,70	#12 Метизы	4,25
#19 Строительные грузы	3,18	#34 Зерно	4,11
#14 Сельскохозяйственные машины	2,02	#19 Строительные грузы	2,19
#12 Метизы	1,81	#14 Сельскохозяйственные машины	1,45
#3 Нефть	-2,12	#25 Сахар	-2,05
#25 Сахар	-2,16	#30 Остальные продовольственные товары	-3,77
#2 Кокс	-7,04	#13 Лом черных металлов	-3,84
#30 Остальные продовольственные товары	-8,54	#31 Промышленные товары народного потребления	-6,09
#31 Промышленные товары народного потребления	-8,61	#2 Кокс	-6,63
#18 Химикаты и сода	-10,91	#18 Химикаты и сода	-10,00

Таблица 3.3. – Упорядоченные по убыванию с детализацией по неделям
оценки точности для пар станций и регионов (%).

Станции	Точность, %	Регионы	Точность, %
#38 Жмыхи	87,65	#38 Жмыхи	87,57
#15 Автомобили	83,98	#15 Автомобили	83,89
#6 Флюсы	68,46	#6 Флюсы	68,45
#27 Рыба	57,46	#27 Рыба	52,36
#7 Руда железная	45,56	#7 Руда железная	47,02
#24 Лесные грузы	42,05	#24 Лесные грузы	40,16
#11 Металлические конструкции	41,01	#42 Грузы в контейнерах	37,99
#42 Грузы в контейнерах	38,27	#21 Шлаки гранулированные	35,28
#21 Шлаки гранулированные	35,28	#29 Соль поваренная	34,29
#10 Машины и оборудование	34,74	#10 Машины и оборудование	33,48
#29 Соль поваренная	34,29	#11 Металлические конструкции	33,16
#9 Черные металлы	31,09	#22 Огнеупоры	29,12
#22 Огнеупоры	29,32	#9 Черные металлы	27,48
#28 Картофель, овощи и фрукты	29,16	#28 Картофель, овощи и фрукты	26,07
#36 Комбикорма	22,25	#36 Комбикорма	22,16
#16 Цветные металлы	21,94	#16 Цветные металлы	21,83
#23 Цемент	21,43	#20 Промышленное сырье	18,94
#13 Лом черных металлов	20,20	#26 Мясо и масло животное	16,34
#26 Мясо и масло животное	19,85	#23 Цемент	12,84
#20 Промышленное сырье	19,00	#35 Продукты перемола	12,15
#17 Химические и минеральные удобрения	17,26	#39 Бумага	11,27
#8 Руда цветная	14,37	#8 Руда цветная	10,50
#35 Продукты перемола	13,19	#3 Нефть	8,22
#39 Бумага	11,44	#14 Сельскохозяйственные машины	7,68
#43 Остальные и сборные грузы	9,99	#34 Зерно	5,23
#14 Сельскохозяйственные машины	8,22	#43 Остальные и сборные грузы	2,60
#34 Зерно	6,72	#25 Сахар	2,58
#1 Каменный уголь	5,66	#30 Остальные продовольственные товары	2,44
#25 Сахар	2,77	#1 Каменный уголь	2,04
#3 Нефть	1,65	#12 Метизы	-0,09
#12 Метизы	1,26	#2 Кокс	-2,35
#19 Строительные грузы	0,94	#13 Лом черных металлов	-3,19
#30 Остальные продовольственные товары	-3,62	#17 Химические и минеральные удобрения	-5,00
#2 Кокс	-5,44	#31 Промышленные товары народного потребления	-6,16
#31 Промышленные товары народного потребления	-18,46	#19 Строительные грузы	-8,84
#18 Химикаты и сода	-18,77	#18 Химикаты и сода	-18,44

Таблица 3.4. – Упорядоченные по убыванию с детализацией по месяцам
оценки точности для пар станций и регионов (%).

Станции	Точность, %	Регионы	Точность, %
#38 Жмыхи	78,95	#38 Жмыхи	78,11
#15 Автомобили	69,59	#15 Автомобили	69,10
#6 Флюсы	66,44	#6 Флюсы	66,44
#27 Рыба	63,18	#27 Рыба	58,46
#7 Руда железная	51,07	#7 Руда железная	50,57
#42 Грузы в контейнерах	43,21	#42 Грузы в контейнерах	42,29
#24 Лесные грузы	36,95	#24 Лесные грузы	35,47
#9 Черные металлы	32,58	#36 Комбикорма	25,24
#11 Металлические конструкции	31,54	#26 Мясо и масло животное	24,00
#26 Мясо и масло животное	28,79	#29 Соль поваренная	21,87
#10 Машины и оборудование	26,31	#21 Шлаки гранулированные	21,60
#36 Комбикорма	25,46	#22 Огнеупоры	21,36
#22 Огнеупоры	21,92	#16 Цветные металлы	21,31
#29 Соль поваренная	21,87	#10 Машины и оборудование	19,82
#21 Шлаки гранулированные	21,60	#3 Нефть	17,00
#16 Цветные металлы	21,51	#9 Черные металлы	15,03
#23 Цемент	17,77	#20 Промышленное сырье	14,00
#13 Лом черных металлов	16,94	#11 Металлические конструкции	12,91
#35 Продукты перемола	14,50	#35 Продукты перемола	10,79
#20 Промышленное сырье	14,11	#30 Остальные продовольственные товары	8,95
#43 Остальные и сборные грузы	10,74	#14 Сельскохозяйственные машины	7,44
#34 Зерно	10,68	#39 Бумага	5,66
#30 Остальные продовольственные товары	6,36	#34 Зерно	4,16
#8 Руда цветная	6,26	#12 Метизы	3,57
#14 Сельскохозяйственные машины	6,25	#13 Лом черных металлов	2,23
#39 Бумага	6,00	#2 Кокс	0,35
#3 Нефть	5,74	#25 Сахар	-1,37
#12 Метизы	5,14	#43 Остальные и сборные грузы	-1,74
#1 Каменный уголь	1,92	#1 Каменный уголь	-4,57
#25 Сахар	-1,90	#8 Руда цветная	-5,96
#2 Кокс	-6,28	#23 Цемент	-8,37
#17 Химические и минеральные удобрения	-7,98	#19 Строительные грузы	-19,00
#28 Картофель, овощи и фрукты	-8,57	#28 Картофель, овощи и фрукты	-34,47
#19 Строительные грузы	-9,86	#31 Промышленные товары народного потребления	-34,58
#18 Химикаты и сода	-35,81	#18 Химикаты и сода	-36,24
#31 Промышленные товары народного потребления	-47,11	#17 Химические и минеральные удобрения	-40,45

3.2 Оценка ошибок прогнозов, полученных с помощью модуля прогнозирования и по модели ARMA, относительно контрольной выборки данных об объемах спроса на ГП

В данном подразделе приводятся результаты оценки по методике, описанной в п. 1.2.2 Программы и методики проведения вычислительного эксперимента.

Результат сравнения значений ошибок прогнозирования разработанного алгоритма с аналогичными результатами алгоритма ARMA для контрольной выборки данных приведен в подразделе 2.2.

Вычисленные значения оценки точности результатов прогнозирования разработанного алгоритма относительно аналогичных результатов алгоритма ARMA для контрольной выборки данных представлен в табл. 3.2-3.4 и на рис. 3.3-3.8 для пар станций и регионов с детализацией по дням, неделям и месяцам соответственно. Относительная точность алгоритмов определена в соответствии методикой, представленной в подразделе 1.2.2.

Ранжированные значения точности разработанного алгоритма относительно ARMA для пар станций и регионов с детализацией по дням, неделям, месяцам приведены в табл. 3.2-3.4 соответственно. Положительным значениям точности соответствуют меньшие значения ошибки прогнозирования по сравнению с алгоритмом ARMA.

Результаты для типов грузов «#33 Сахарная свекла и семена» и «#4 Торф» исключены из представленных в виду их низкой репрезентативности, связанной с наличием значительного количества нулевых значений объемов перевозок данного типа груза.

Из результатов, представленных в табл. 3.2 следует, что точность разработанного алгоритма превышает точность результатов, полученных по модели ARMA с детализацией по дням:

- для пар станций – для 30 типов грузов из 36 (83%);
- для пар регионов – для 30 типов грузов из 36 (83%);

Из результатов, представленных в табл. 3.3 следует, что точность разработанного алгоритма превышает точность результатов, полученных по модели ARMA с детализацией по неделям:

- для пар станций – для 32 типов грузов из 36 (89%);

- для пар регионов – для 29 типов грузов из 36 (81%);

Из результатов, представленных в табл. 3.4 следует, что точность разработанного алгоритма превышает точность результатов, полученных по модели ARMA с детализацией по месяцам:

- для пар станций – для 29 типов грузов из 36 (81%);
- для пар регионов – для 26 типов грузов из 36 (72%).

3.3 Выводы

В этом разделе, выполненном в соответствии с п. 3.15 Технического задания и пп. 3.3 Календарного плана, представлены результаты проведения серии вычислительных экспериментов по прогнозированию объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки с использованием макета модуля прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки для сравнения значения спрогнозированных объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки со значениями контрольной выборки данных об объемах спроса на грузовые железнодорожные перевозки и сравнения ошибки прогнозирования предложенной модели ARMA на контрольной выборке данных.

Результаты прогнозов на модельных исходных данных адекватны и соответствуют ожиданиям экспертов. Значения ошибок прогнозирования статистически не превосходят значения ошибок прогнозирования по модели ARMA.

Из сравнения результатов прогнозирования следует, что целесообразно использовать временные ряды экзогенных факторов, связанных с прогнозируемыми временными рядами.

Также, при построении моделей прогнозирования целесообразно учитывать характер поведения прогнозируемого временного ряда и выбирать наиболее соответствующие, оказывающие наибольшее влияние, экзогенные факторы для каждого временного ряда.

Из сравнения результатов прогнозирования с контрольной выборкой данных и аналогичными результатами по модели ARMA следует, что разработанный макет модуля прогнозирования целесообразно использовать для прогнозирования объемов перевозок для пар станций и регионов с детализацией по дням. Положительный результат при сравнении ошибок прогнозирования для предложенного алго-

ритма достигнут для 83% и 83% типов груза для пар станций и регионов с детализацией по дням соответственно.

Значения ошибок прогнозирования и оценки точности относительно модули ARMA зависят от качества исходных данных, но в целом, по результатам вычислительных экспериментов можно сделать вывод о статистическом превосходстве точности разработанного алгоритма с учетом экзогенных факторов по сравнению с результатами, полученными по модели ARMA.

Таким образом, все работы данного раздела, предусмотренные Календарным планом и Техническим заданием, выполнены полностью.

В основу решения задачи повышения качества прогнозирования временных рядов путем учета влияния экзогенных факторов и информации о реализации значений экзогенных временных рядов и разработанной математической модели прогнозирования были положены теоретические и практические результаты, полученные на предыдущих этапах (подраздел 1.5 Отчета о ПНИ за второй этап «Разработка и тестирование алгоритмов для выполнения алгебраических операций с гистограммами распределения значений объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки») и представленные в статье: А.П. Мотренко, К. В. Рудаков, В.В. Стрижов. Учет влияния экзогенных факторов при непараметрическом прогнозировании временных рядов // Вестник Московского Университета. Серия 15. Вычислительная Математика и Кибернетика, 2016, № 2. –12 с.

4 Обобщение и формирование выводов по результатам ПНИ

Представленные в этом разделе обобщения и выводы по результатам ПНИ выполнены в соответствии с п. 3.16 Технического задания и п. 3.4 Календарного плана.

Теоритическая и практическая часть выполнены на этапах 1 и 2 прикладных научных исследований.

На этапе 1 ПНИ [14] предложен метод оценки достоверности экспертных высказываний о влиянии экзогенных факторов на ОГГП, а также при формировании результатов экспертного анализа значимости и характера влияния экзогенных факторов на ОСГП. Предложены способы расширения подхода Грейнджера для обнаружения структуры связей между временными рядами экзогенных факторов и ОСГП, а также алгоритм, позволяющий использовать ранее полученные данные о связях между временными рядами и структуре связей для обнаружения новых связей.

Проведены патентные исследования. Среди выявленных в результате информационно-патентного поиска охранных документов нет патентов и заявок на изобретения, которые могут препятствовать применению результатов ПНИ в Российской Федерации, а также препятствовать получению охранных документов в других странах.

На этапе 2 [16] разработана непараметрическая модель прогнозирования ОСГП. Исследованы свойства непараметрической модели прогнозирования ОСГП. Для обеспечения оптимального качества прогнозирования в условиях ограниченных объемов данных, разработан метод определения оптимальной длины пред-ыстории временных рядов экзогенных факторов и ОСГП. Проведен анализ качества разработанных алгоритмов прогнозирования в применении к нестационарным временным рядам.

Разработан и протестирован генератор модельных исходных данных ОСГП и влияющих на эти объемы экзогенных факторов. Основное назначение этой программы состоит в генерации в стандартизованном виде модельных данных объемов спроса на ГЖДП и влияющих на них экзогенных факторов, согласующихся с историческими данными о грузоперевозках по парам веток и существующей топологией железнодорожной структурой сети РЖД.

Разработан и протестирован макет модуля прогнозирования ОСГП: специфицированы основные функции макета модуля прогнозирования, разработаны функциональная архитектура и текст программы макета модуля прогнозирования [20, 21]. Основной задачей модуля прогнозирования является построение прогноза объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки по всем парам станций и по парам регионов РЖД в различных временных масштабах (по дням, по неделям и по месяцам) с учётом влияния на ОСГП различных экзогенных факторов.

На этапе 3 ПНИ разработана программа и методика и проведена серия вычислительных экспериментов с разработанным макетом модуля прогнозирования ОСГП. Результаты вычислительных экспериментов подтвердили преимущества разработанных в рамках ПНИ алгоритмов прогнозирования ОСГП с учётом влияния на них экзогенных факторов, как в адекватности и ожидаемости получаемых прогнозов экспертным оценкам, так и в более высокой точности прогнозов по сравнению с прогнозами по модели ARMA. Эти два фактора позволяют сформулировать практические предложения и рекомендации индустриальному партнеру – РЖД – по вовлечению результатов ПНИ в хозяйственный оборот.

В основу решения задачи выбора оптимальной модели краткосрочного прогнозирования объемов железнодорожных перевозок по историческим и экзогенным временным рядам, выбора уровня агрегирования, выбора критериев сравнения прогнозов, используемых для анализа моделей с целью определения допустимых запросов на прогноз, в том числе, фактической глубины прогнозирования были положены теоретические и практические результаты, полученные на предыдущих этапах (подразделы 1.5.5 и 1.5.7 Отчета о ПНИ за второй этап «Анализ качества алгоритмов прогнозирования при наличии нестационарности» и «Разработка и обоснование методов прогнозирования нестационарных временных рядов», соответственно, подраздел 3.2 Отчета о ПНИ за третий этап «Оценка ошибок прогнозов, полученных с помощью модуля прогнозирования и по модели ARMA, относительно контрольной выборки данных об объемах спроса на ГП») и представленные в статье: Выбор оптимальной модели прогнозирования объемов грузовых железнодорожных перевозок / К.В. Рудаков, М.П. Кузнецов, А.П. Мотренко и др. // Автоматика и телемеханика, 2016. –15 с.

5 Подготовка предложений и рекомендаций по реализации результатов ПНИ, вовлечению их в хозяйственный оборот

Представленные в этом разделе предложения и рекомендации промышленному партнеру – РЖД – по использованию разработанных моделей прогнозирования ОСГП с учетом экзогенных факторов, влияющих на объемы спроса разработаны в соответствии с пп. 2.10 и 3.17 Технического задания и п. 3.5 Календарного плана.

Предложения и рекомендации сформированы и представлены в виде проекта Технического задания на выполнение опытно-конструкторских работ (ОКР) по теме «Проектирование и разработка модулей прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки с учетом экзогенных факторов».

Основания для проведения ОКР

ОКР проводятся на основе результатов ПНИ по теме «Исследование и разработка математических методов и алгоритмов для интеллектуальной системы анализа данных (подсистемы прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки)», выполняемого в рамках Соглашения о предоставлении субсидии от 19 июня 2014 г. № 14.604.21.0041.

Цель выполнения ОКР

Целью выполнения ОКР является проектирование и разработка модулей прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки с учетом экзогенных факторов, реализующих разработанную математическую модель прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки, учитывающую влияние экзогенных факторов на объемы спроса на грузовые железнодорожные перевозки, а также специфику бизнес-процессов и нормативов промышленного партнера – ОАО «РЖД», и обеспечивающих:

- прогнозирование объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки (ОСГП);
- мониторинг критических изменений в прогнозах ОСГП;
- анализ (выявление и оценка) влияния экзогенных факторов на ОСГП.

С целью подчеркнуть общность и важность задач по прогнозированию, мониторингу изменений прогнозов, исследованию и выявлению влияния экзогенных факторов на ОСГП, решение которых должны обеспечить

разрабатываемые модули прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки с учетом экзогенных факторов, а также необходимость во вспомогательных модулях, обеспечивающих информационную поддержку функционирования центрального модуля прогнозирования, здесь и далее для обозначения комплекса модулей используется понятие Система. Понятие Подсистема используется для объединения задач, решаемых модулями.

Назначение и цели создания Системы

Система предназначена для выполнения автоматизированного анализа и мониторинга прогнозов объемов спроса (ОС) на грузовые железнодорожные перевозки (ГЖДП) с учетом экзогенных факторов.

Целями создания Системы являются:

1) Повышение управляемости и эффективности бизнеса за счет использования автоматизированных методов выявления критических изменений прогнозов объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки.

2) Повышение управляемости и эффективности бизнеса за счет автоматизированного многофакторного анализа и выявления скрытых взаимосвязей между объемами спроса на грузовые железнодорожные перевозки и экзогенными факторами.

Характеристика объекта автоматизации

Объектом автоматизации являются следующие процессы:

- а) Прогнозирование ОС на ГЖДП;
- б) Мониторинг изменений прогнозов ОС на ГЖДП;
- в) Исследования и выявления влияния экзогенных факторов на ОС на ГЖДП.

Теоретические и практические вопросы решения задачи выбора оптимальной модели краткосрочного прогнозирования объемов железнодорожных перевозок по историческим и экзогенным временным рядам, выбора уровня агрегирования, выбора критериев сравнения прогнозов, используемых для анализа моделей с целью определения допустимых запросов на прогноз, в том числе, фактической глубины прогнозирования были рассмотрены на предыдущих этапах (подразделы 1.5.5 и 1.5.7 Отчета о ПНИ за второй этап «Анализ качества алгоритмов прогнозирования при наличии нестационарности» и «Разработка и обоснование методов

прогнозирования нестационарных временных рядов», соответственно, подраздел 3.2 Отчета о ПНИ за третий этап «Оценка ошибок прогнозов, полученных с помощью модуля прогнозирования и по модели ARMA, относительно контрольной выборки данных об объема спроса на ГП») и представлены в статье: Выбор оптимальной модели прогнозирования объемов грузовых железнодорожных перевозок / К.В. Рудаков, М.П. Кузнецов, А.П. Мотренко и др. // Автоматика и телемеханика, 2016. –15 с.

6 Разработка проекта ТЗ на выполнение ОКР по теме: «Проектирование и разработка модулей прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки с учетом экзогенных факторов»

В данном разделе представлен проект технического задания на выполнение ОКР по теме: «Проектирование и разработка модулей прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки с учетом экзогенных факторов», разработанный в соответствии с пп. 2.11, 3.18 и 6.1.3.8 Технического задания и п. 3.6 Календарного плана.

Проект технического задания на о теме «Проектирование и разработка модулей прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки с учетом экзогенных факторов» оформлен в стиле стандарта ГОСТ 19.201-78 и представлен в Приложении Б.

Проектированию модулей прогнозирования объемов спроса на ГП должно предшествовать информационно-аналитическое обследование ИТ-инфраструктуры заказчика ОАО «РЖД».

В данном разделе приведены основные функциональные и нефункциональные требования к комплексу модулей прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки с учетом экзогенных факторов.

С целью подчеркнуть общность и важность задач по прогнозированию, мониторингу изменений прогнозов, исследованию и выявлению влияния экзогенных факторов на ОСГП, решение которых должны обеспечить разрабатываемые модули прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки с учетом экзогенных факторов, а также необходимость во вспомогательных модулях, обеспечивающих информационную поддержку функционирования центрального модуля прогнозирования, здесь и далее для обозначения комплекса модулей используется понятие Система. Понятие Подсистема используется для объединения задач, решаемых модулями.

6.1 Требования к системе

6.1.1 Требования к структуре и функционированию системы

6.1.1.1 Перечень подсистем

Разрабатываемая Система должна включать в себя следующие модули и подсистемы:

- 1) Подсистема интеграции
 - а. Доставка входных данных
 - б. Доставка выходных данных
- 2) Подсистема хранения данных (БД)
- 3) Подсистема прогнозирования
- 4) Подсистема мониторинга
- 5) Подсистема исследования влияния экзогенных факторов
- 6) Подсистема управления

На рис. 6.1 представлен прототип укрупненной архитектуры Системы, основанной на разработанном в результате прикладных научных исследований макете модуля прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки с учетом экзогенных факторов [14, 16] и включающей в себя помимо центрального модуля прогнозирования объемов спроса также и вспомогательные модули информационной поддержки функционирования центрального модуля, обеспечивающие получение информации из «внешних» систем, хранение и решение информационно-аналитических задач Индустриального партнера.

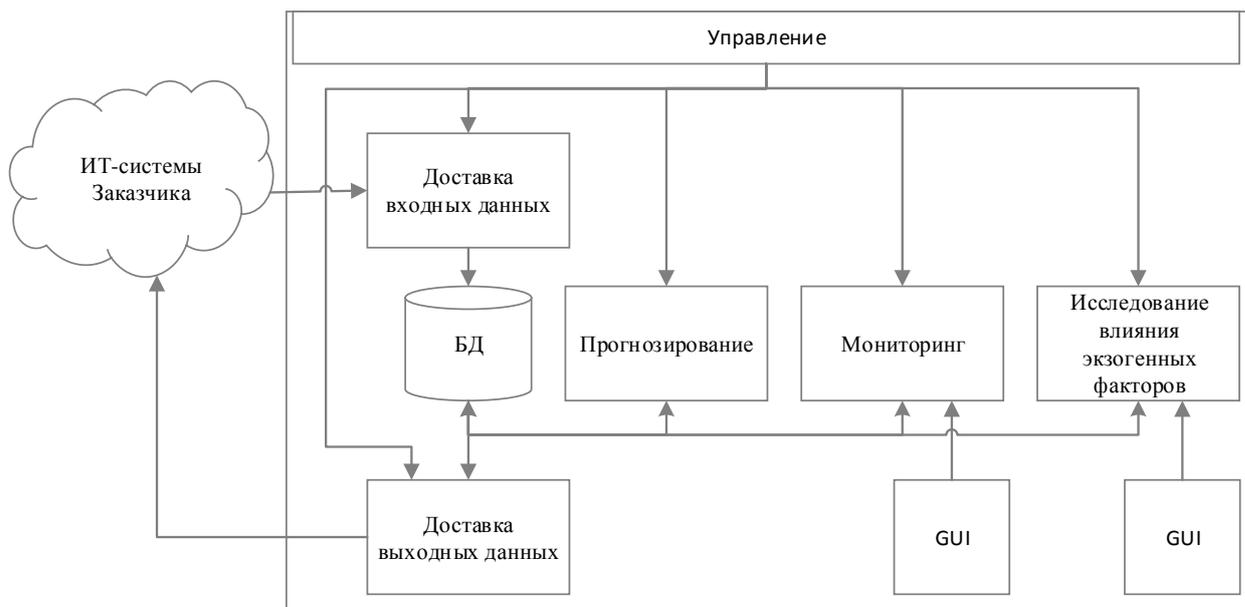


Рис. 6.1. Прототип укрупненной архитектуры Системы

6.1.1.2 Назначение подсистем

6.1.1.2.1 Подсистема интеграции

Подсистема интеграции предназначена для осуществления следующих функций:

- а) Доставка входных данных в базу данных из ИТ-системы Заказчика;
- б) Доставка выходных данных из базы данных в ИТ-систему Заказчика.

6.1.1.2.2 Подсистема хранения данных

Подсистема хранения данных предназначена для хранения следующих данных:

- а) временные ряды эндогенных и экзогенных факторов;
- б) прогнозы временных рядов;
- в) модели прогнозирования;
- г) оперативные данные Системы;
- д) данные для формирования отчетов;
- е) сформированные отчеты;
- ж) журнал событий Системы.

6.1.1.2.3 Подсистема прогнозирования

Подсистема прогнозирования предназначена для построения прогнозов объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки на основе моделей прогнозирования. Обозначения Подсистема прогнозирования и Модуль прогнозирования эквивалентны.

6.1.1.2.4 Подсистема «Мониторинг»

Подсистема «Мониторинг» предназначена для выполнения следующих функций:

- а) Агрегирование прогноза;
- б) Сохранение истории прогнозов;
- в) Сравнение агрегированных прогнозов;
- г) Выявление критических изменений прогнозов;
- д) Информирование о критических изменениях прогноза;
- е) Формирование отчетов по результатам мониторинга.

6.1.1.2.5 Подсистема исследования влияния экзогенных факторов

Подсистема исследования влияния экзогенных факторов (ИВЭФ) предназначена для исследования влияния экзогенных факторов на объемы спроса на грузовые железнодорожные перевозки и выполнения следующих функций:

- а) Проверка пользовательских гипотез о влиянии экзогенных факторов;
- б) Оценка степени влияния экзогенных факторов на эндогенный фактор;

- в) Оценка качества моделей прогнозирования;
- г) Сравнение моделей;
- д) Обновление моделей;
- е) Формирование отчетов по результатам исследования.

6.1.1.2.6 Подсистема управления

Подсистема управления предназначена для запуска подсистем Системы «по расписанию» и «по внешнему событию».

6.1.1.3 Требования к способам и средствам связи для информационного обмена между компонентами системы

6.1.1.3.1 Входящие в состав Системы модули и подсистемы в процессе функционирования должны осуществлять обмен информацией на основе открытых форматов обмена данными, используя для этого входящие в их состав модули информационного взаимодействия.

6.1.1.3.2 Формат входных данных макета прогнозирования должен быть основан на описании формата входных данных, представленного в [14, 16].

6.1.1.3.3 Способы связи и обмена данными для каждой из подсистем и модулей должны быть определены на этапе «Эскизное проектирование».

6.1.1.4 Требования к характеристикам взаимосвязей разрабатываемой системы со смежными системами

6.1.1.4.1 Импорт данных из ИТ-систем Заказчика должен производиться в соответствии с установленным и утвержденным регламентом.

6.1.1.4.2 Подсистемы и модули, разрабатываемые в рамках настоящей ОКР должны поддерживать возможность работы «по расписанию» и «по запросу».

6.1.1.4.3 Экспорт данных из базы данных производится модулем доставки выходных данных в соответствии с установленным и утвержденным регламентом, окончательно определенном на этапе «Техническое проектирование».

6.1.1.4.4 Входящие в состав Системы модули и подсистемы, разрабатываемые в соответствии с настоящим ТЗ должны поддерживать возможность автономной работы в составе смежных систем и обеспечивать решение своих функциональных задач.

6.1.1.4.5 Для автономного использования подсистем и модулей должны быть разработаны руководства пользователя, администратора и системного программиста на этапе «Техническое проектирование».

6.1.1.5 Требования к характеристикам взаимосвязей разрабатываемой системы со смежными системами

6.1.1.5.1 Импорт данных из ИТ-систем Заказчика должен производиться в соответствии с установленным и утвержденным регламентом.

6.1.1.5.2 Подсистемы и модули, разрабатываемые в рамках настоящей ОКР должны поддерживать возможность работы «по расписанию» и «по запросу».

6.1.1.5.3 Экспорт данных из базы данных производится модулем доставки выходных данных в соответствии с установленным и утвержденным регламентом, окончательно определенном на этапе «Техническое проектирование».

6.1.1.5.4 Входящие в состав Системы модули и подсистемы, разрабатываемые в соответствии с настоящим ТЗ должны поддерживать возможность автономной работы в составе смежных систем и обеспечивать решение своих функциональных задач.

6.1.1.5.5 Для автономного использования подсистем и модулей должны быть разработаны руководства пользователя, администратора и системного программиста на этапе «Техническое проектирование».

6.1.1.6 Перспективы развития, модернизации системы

6.1.1.6.1 Разрабатываемая Система должна предусматривать возможность ее дальнейшего развития, модификации и включения в нее новых функциональных задач, в том числе в следующих направлениях:

- а) Развитие взаимодействия со смежными системами;
- б) Увеличение объема базы данных;
- в) Обеспечение одновременного запуска нескольких модулей;
- г) Планирование и диспетчеризация задач;
- д) Обеспечение параллельных вычислений.

6.1.1.6.2 Система должна обеспечивать возможность модернизации как путем замены общего программного обеспечения, так и за счет модернизации информационного обеспечения.

6.1.2 Требования к показателям назначения

6.1.2.1 Общие требования

6.1.2.1.1 Система должна формировать единое информационное пространство, в котором взаимодействие процессов и пользователей обеспечивается за счет общих информационных объектов;

6.1.2.1.2 Унификация на стадии разработки Системы должна обеспечиваться единообразным подходом к решению однотипных задач контроля и управления (типизацией алгоритмических модулей) и созданием унифицированных компонентов информационного, лингвистического, программного и технического обеспечений.

6.1.2.1.3 Унификация технического обеспечения должна обеспечиваться применением серийных технических средств.

6.1.2.1.4 Взаимодействие пользователей с прикладным программным обеспечением, входящим в состав Системы (запуск модулей, редактирование файлов конфигурации), должно осуществляться посредством визуального графического интерфейса (GUI).

6.1.2.1.5 Экранные формы должны проектироваться с учетом требований унификации:

а) все экранные формы пользовательского интерфейса должны быть выполнены в едином графическом дизайне, с одинаковым расположением основных элементов управления и навигации;

б) для обозначения сходных операций должны использоваться сходные графические значки, кнопки и другие управляющие (навигационные) элементы. Термины, используемые для обозначения типовых операций (добавление информационной сущности, редактирование поля данных), а также последовательности действий пользователя при их выполнении, должны быть унифицированы;

в) внешнее поведение сходных элементов интерфейса (реакция на наведение указателя «мыши», переключение фокуса, нажатие кнопки) должны реализовываться одинаково для однотипных элементов.

6.2 Требования к функциям (задачам), выполняемым системой

В результате выполнения ОКР должны быть разработаны модули и подсистемы, реализующие указанный ниже функционал.

В качестве основы для разработки модулей необходимо учесть результаты предварительно выполненных прикладных научных исследований по теме ОКР [14, 16], а также результаты разработки макетов модулей [20, 21].

6.2.1 Подсистема интеграции

6.2.1.1 Подсистема интеграции должна осуществлять взаимодействие с ИТ-системой Заказчика через унифицированный интерфейс.

6.2.1.2 Подсистема интеграции должна осуществлять доставку входных данных в базу данных из ИТ-системы Заказчика.

6.2.1.3 Подсистема интеграции должна осуществлять доставку выходных данных из базы данных ИТ-системе Заказчика.

6.2.1.4 Формат данных и интерфейс взаимодействия должны быть согласованы с Заказчиком на этапе «Эскизное проектирование».

6.2.2 Подсистема хранения данных

6.2.2.1.1 Подсистема хранения данных должна обеспечивать возможность хранения следующих данных:

- а) временные ряды эндогенных и экзогенных факторов;
- б) прогнозы временных рядов;
- в) модели прогнозирования;
- г) оперативные данные Системы;
- д) данные для формирования отчетов;
- е) сформированные отчеты;
- ж) журнал событий Системы.

6.2.2.1.2 Подсистема хранения данных должна поддерживать возможность взаимодействия с Подсистемой интеграции.

6.2.3 Модуль «Прогнозирование»

6.2.3.1 Модуль должен обеспечивать выполнение прогноза эндогенных временных рядов с учетом временных рядов экзогенных факторов на основе моделей прогнозирования.

6.2.3.2 Модуль прогнозирования должен обеспечивать сохранение результатов прогнозирования в базу данных.

6.2.3.3 Модуль прогнозирования должен обеспечивать возможность загрузки моделей прогнозирования.

6.2.3.4 Модель прогнозирования должна быть представлена в виде множества коэффициентов, соответствующих структуре выбранной прогностической модели.

6.2.3.5 Выбор структуры прогностической модели должен быть произведен на этапе «Эскизное проектирование».

6.2.3.6 Проектирование модуля прогнозирования должно быть основано на результатах прикладных научных исследований [14, 16].

6.2.3.7 Модуль должен обеспечивать возможность сохранения и ведения истории прогнозов.

6.2.4 Подсистема «Мониторинг»

6.2.4.1 Подсистема «Мониторинг» должна обеспечивать работу согласно следующему технологическому сценарию:

- а) Подсистема выполняет агрегирование прогноза;
- б) Подсистема сохраняет агрегированный прогноз;
- в) Подсистема выполняет сравнение текущего и предыдущих агрегированных прогнозов;
- г) Подсистема определяет относительные изменения относительно текущего прогноза;
- д) Подсистема выявляет критические изменения в соответствии с заданными условиями;
- е) Подсистема информирует пользователя о выявленных критических изменениях;
- ж) Подсистема формирует и сохраняет отчет.

6.2.4.2 Условия и критерия выявления критических изменений прогнозов должны быть определены и согласованы с Заказчиком на этапе «Эскизное проектирование».

6.2.4.3 Подсистема должна обеспечивать возможность журналирования выполняемых операций. Параметры журналирования должны быть определены на этапе «Техническое проектирование».

6.2.4.4 Формат отчетов для Подсистемы должен быть согласован с Заказчиком на этапе «Эскизное проектирование» после выполнения бизнес-исследования инфраструктуры и потребностей Заказчика.

6.2.5 Подсистема исследования влияния экзогенных факторов

6.2.5.1 Разработка Подсистемы исследования влияния экзогенных факторов (ИВЭФ) должна быть основана на результатах прикладных научных исследований [14].

6.2.5.2 Подсистема должна обеспечивать возможность выполнения следующих функций:

- а) Проверка пользовательских гипотез о влиянии экзогенных факторов;
- б) Оценка степени влияния экзогенных факторов на эндогенный фактор;
- в) Формирование моделей прогнозирования;
- г) Оценка качества моделей прогнозирования;
- д) Сравнение моделей прогнозирования;
- е) Обновление моделей прогнозирования;
- ж) Формирование и сохранение отчетов по результатам исследования.

6.2.5.3 Оценка степени влияния экзогенных факторов на временной ряд объемов грузовых железнодорожных перевозок должна производиться с помощью методов выявления причинно-следственных связей [14, п. 3.1 – 3.4].

6.2.5.4 Проверка пользовательских гипотез должна осуществляться согласно следующему сценарию:

- а) Пользователь загружает в Систему данные;
- б) Пользователь заводит в Систему гипотезу;
- в) Пользователь планирует проверку гипотезы;
- г) Система выполняет проверку гипотезы;
- д) Система формирует отчет о проверке гипотезы;

6.2.5.5 Оценка качества прогностических моделей должна производиться с использованием показателей MAE и MAPE [14, стр. 61], [16, п. 1.5.8].

6.2.5.6 Формирование модели прогнозирования должно производиться в соответствии с выбранной структурой прогностической модели и алгоритмом определения коэффициентов модели прогнозирования [14, п. 1.1–1.6].

6.2.5.7 Обновление модели должно производиться с периодичностью раз в день.

6.2.5.8 Содержание отчета Подсистемы ИВЭФ о результатах проверки гипотез должно быть согласовано с Заказчиком на этапе «Эскизное проектирование» после выполнения бизнес-исследования инфраструктуры и потребностей Заказчика.

6.2.5.9 Подсистема должна обеспечивать возможность выполнения отложенной проверки нескольких гипотез.

6.2.6 Подсистема управления

6.2.6.1 Подсистема управления должна обеспечивать возможность запуска подсистем Системы «по расписанию» и «по внешнему событию».

6.2.6.2 Подсистема управления должна обеспечивать информирование ИТ-систем заказчика о запуске, завершении и ошибках работы подсистем Системы.

6.2.6.3 Подсистема управления должна обеспечивать журналирование процессов:

- а) Запуска Подсистем;
- б) Завершения выполнения задач Подсистемами;
- в) Ошибок и отказов Подсистем.

6.3 Требования к видам обеспечения

6.3.1 Требования математическому обеспечению

6.3.1.1 Математические методы и алгоритмы, используемые для прогнозирования, мониторинга и выявления влияния факторов должны предусматривать возможность функционирования после некорректного ввода данных.

6.3.1.2 Математическое обеспечение разрабатываемой Системы должно содержать:

- а) Математическую модель Подсистемы прогнозирования;
- б) Постановку задач, решаемых математическими методами;

- в) Алгоритмы решения задачи прогнозирования математическим методами;
- г) Формализацию математической модели Подсистемы прогнозирования.

6.3.1.3 Математическое обеспечение разрабатываемой системы должно быть основано на прикладных научных исследованиях [14, 16] и описании макета модуля прогнозирования [20, 21].

6.3.2 Требования к информационному обеспечению

6.3.2.1 Информационная база разрабатываемой Системы должна включать следующие основные составляющие:

а) База данных (далее – БД) для хранения эндогенных и экзогенных факторов, параметров модуля прогнозирования, моделей, прогнозов, агрегированных прогнозов и результатов сравнения и другой вспомогательной информации.

6.3.2.2 Состав, структура и способы организации данных должны быть определены на этапе «Эскизное проектирование».

6.3.2.3 Разрабатываемая Система должна обеспечивать многократный ввод данных, вне зависимости от того, в каких информационных массивах или БД они будут храниться и какими функциональными подсистемами использоваться.

6.3.2.4 В случае возникновения аварии или сбоя в процессе выполнения пользовательских задач должно быть обеспечено восстановление БД до состояния на момент последней завершенной Системой транзакции.

6.3.2.5 В случае повреждения журналов транзакций СУБД должно обеспечиваться восстановление состояния Системы на момент создания последней резервной копии данных, но не более, чем за сутки до момента сбоя.

6.3.2.6 Требования к информационной совместимости со смежными системами должны быть согласованы с Заказчиком перед выполнением этапа «Эскизное проектирование».

6.3.3 Требования к лингвистическому обеспечению

6.3.3.1 Лингвистическое обеспечение должно быть рассчитано на пользователя, специалиста в своей предметной области, не владеющего универсальными языками программирования или описания алгоритмов.

6.3.3.2 Лингвистическое обеспечение Оператора должно сводиться к системе видеogramм и текстовых сообщений, снабженных необходимыми «меню», «подсказками» и «помощью», при организации диалога персонала с техническими средствами. Вся текстовая информация должна быть выполнена на русском и английских языках.

6.3.3.3 Средства и языки программирования, используемые для реализации Системы должны быть согласованы с Заказчиком перед выполнением этапа «Эскизное проектирование».

6.3.4 Требования к программному обеспечению

6.3.4.1 В состав программного обеспечения разрабатываемой системы должны входить покупные программные средства.

6.3.4.2 В состав системного ПО должны входить операционные системы семейства Microsoft Windows или Linux.

6.3.4.3 На серверах разрабатываемой Системы должна применяться многопользовательская операционная система, обеспечивающая наличие высокоуровневых средств администрирования операционных систем и средства контроля над функционированием.

6.3.4.4 На АРМ и рабочих станциях Системы должны применяться многозадачные операционные системы.

6.3.4.5 Требования к программному обеспечению должны быть уточнены перед выполнением этапа «Эскизное проектирование».

6.3.5 Требования к техническому обеспечению

6.3.5.1 Программно-аппаратная платформа должна обеспечивать следующие показатели:

а) Хранение данных истории грузовых железнодорожных перевозок не менее чем за 5 (пять) лет;

б) Суммарная емкость распределенного дискового пространства не менее 10 (десяти) терабайт;

в) Возможность резервирования данных на внешние носители;

г) Обеспечение отказоустойчивости системы хранения данных;

д) Требования к временным характеристикам для модулей прогнозирования и мониторинга определяются на этапе «Техническое проектирование»;

6.4 Требования к составу и параметрам технических средств

Требования к техническому и аппаратному обеспечению должны согласованы с Заказчиком на этапе «Техническое проектирование».

6.5 Требования к информационной и программной совместимости

6.5.1 Состав данных для осуществления информационного обмена по каждой смежной системе должен быть согласован с Заказчиком на стадии «Эскизное проектирование».

6.5.2 Разрабатываемая система должна быть открытой для смежных систем и поддерживать возможность экспорта данных в смежные системы через интерфейсы, таблицы или файлы данных.

6.5.3 Система должна обеспечивать возможность загрузки данных, получаемых от смежной системы.

6.5.4 Возможности для обращения к смежным системам должны быть согласованы с Заказчиком на этапе «Эскизное проектирование».

6.5.5 Разработанные модули должны обеспечивать возможность их автономного использования.

6.5.6 Для автономного использования модулей должна быть разработана документация: руководства пользователя, администратора и системного программиста.

6.6 Выводы

Описанные в данном разделе технические требования в виде проекта технического задания на проведение ОКР по теме «Проектирование и разработка модулей прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки с учетом экзогенных факторов» разработаны в соответствии с пп. 2.11, 3.18 и 6.1.3.8 Технического задания и п. 3.6 Календарного плана.

Проект технического задания для выполнения опытно-конструкторских работ теме «Проектирование и разработка модулей прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки с учетом экзогенных факторов» оформлен в стиле стандарта ГОСТ 19.201-78 и представлен в Приложении Б.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основным результатом выполнения проекта является разработанный макет модуля прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки – инструмент построения прогностической модели и прогнозирования, позволяющий учитывать влияние экзогенных факторов на объемы спроса на грузовые железнодорожные перевозки, а также специфику бизнес-процессов и нормативов индустриального партнера – ОАО «РЖД». Разработанная математическая модель микроэкономического прогнозирования, лежащая в основе макета модуля прогнозирования, позволяет учитывать не только статистические данные объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки, но и влияние на эти объемы экзогенных факторов.

Анализ и обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, исследованной в рамках прикладных научных исследований на этапе 1, показал, что предложенные подходы и методы являются достаточно эффективными и после соответствующей адаптации и доработки смогут повысить качество прогнозирования объемов грузовых железнодорожных перевозок в ОАО «РЖД» и, как следствие, повысить качество планирования движения железнодорожных составов.

По результатам исследований экзогенных факторов и их влияния на прогноз объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки получены следующие результаты:

1. Предложен метод выбора экзогенных факторов, включение которых в прогностическую модель повышает качество прогноза. В результате применения описанного метода в разнородных временных рядах объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки и экзогенных факторов возможно построение статистически более точного прогноза объемов спроса на грузовые перевозки.
2. Предложен метод оценки достоверности экспертных высказываний о влиянии экзогенных факторов на объемы спроса на грузовые железнодорожные перевозки. Предложенный метод применен при формировании списка основных экзогенных факторов, влияющих на объемы спроса на грузовые железнодорожные перевозки, а также при формировании результатов экспертного анализа значимости

и характера влияния включения экзогенных факторов на повышение качества прогноза грузовых железнодорожных перевозок

3. Предложены способы расширения подхода Грейнджера для обнаружения структуры связей между временными рядами экзогенных факторов и объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки, а также алгоритм, позволяющий использовать ранее полученные данные о связях между временными рядами и структуре связей для обнаружения новых связей. Результаты тестирования алгоритма построения кросс-корреляционных связей временных рядов объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки и экзогенных факторов, показавшие что при принятии решения о связи между временными рядами важно учитывать структуру связи. В противном случае, даже при проверке заведомо зависимых временных рядов на взаимосвязь с неадекватной структуры может быть принято решение об отсутствии связи.

4. Разработана непараметрическая модель прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки на железнодорожных узлах РЖД. Предложена модификация модели с ядерной оценкой плотности прогнозируемого временного ряда.

5. Для обеспечения оптимального качества прогнозирования в условиях ограниченных объемов данных, разработан метод определения оптимальной длины предыстории временных рядов экзогенных факторов и объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки.

Разработан и протестирован генератор модельных исходных данных объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки и влияющих на эти объемы экзогенных факторов. Разработан и протестирован макет модуля прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки. По результатам исследований, а именно по результатам разработки генератора модельных данных и макета модуля прогнозирования, на предприятии «Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН) введен режим коммерческой тайны на секреты производства (ноу-хау) – приказ от 28.12.2015 №4-179/1 «О введении режима коммерческой тайны на секреты производства (ноу-хау) «Макет модуля прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки информа-

ционно-аналитической подсистемы прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки с учетом экзогенных факторов»; приказ от 28.12.2015 №4-179/2 «О введении режима коммерческой тайны на секреты производства (ноу-хау) «Макет генератора модельных исходных данных объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки и экзогенных факторов».

Проведена серия вычислительных экспериментов с целью сравнения значения спрогнозированных объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки со значениями контрольной выборки данных об объемах спроса на грузовые железнодорожные перевозки и сравнения значения ошибки прогнозирования предложенной модели с ошибкой прогнозирования модели ARMA на контрольной выборке данных, подтвердившая адекватность и ожидаемость прогноза экспертной оценке; продемонстрировавшая высокое качество разработанных методов и подходов, эффективность работы модуля выявления влияния экзогенных факторов и прогнозирования объемов спроса грузовых железнодорожных перевозок с учетом экзогенных факторов.

Результаты прикладных научных исследований, полученные в результате выполнения проекта позволят, при внедрении, повысить эффективность некоторых бизнес-процессов управления индустриального партнера – ОАО «РЖД», в частности, группы процессов в области прогнозирования грузовых железнодорожных перевозок. В текущей экономической ситуации дальнейшее использование экстенсивных методов развития производства и сфера услуг не приводят к желаемой экономической отдаче. Использование интенсивного подхода, связанного с привлечением разработанных научных методов анализа данных и оптимизации, должно улучшить показатели эффективности работы индустриального партнера и увеличить величину добавленной стоимости услуг железнодорожных грузоперевозок.

Рекомендации и предложения по использованию результатов прикладных научных исследований, вовлечению их в хозяйственный оборот представлены в разделе 5 данного документа. Полученные результаты прикладных научных исследований целесообразно применить для решения современных прикладных и научных задач в области анализа и мониторинга прогнозов объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки с учетом экзогенных факторов. Ожидаемый результат

от реализации и внедрения разработанных подходов и методик – повышение управляемости и эффективности бизнеса ОАО «РЖД».

По результатам ПНИ предлагается провести ОКР согласно разработанному проекту ТЗ на ОКР с целью реализации и внедрения результатов исследовательской деятельности в промышленную эксплуатацию Индустриальному партнеру. Проект технического задания для выполнения опытно-конструкторских работ теме «Проектирование и разработка модулей прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки с учетом экзогенных факторов» оформлен в стиле стандарта ГОСТ 19.201-78 и представлен в Приложении Б.

На основании патентных исследований, целью которых являлось исследование технического уровня разработок в области информационно-аналитической поддержки управления грузовыми железнодорожными перевозками, учитывающих влияние экзогенных факторов на объемы спроса, а также исследование технического уровня разработок, ориентированных на поддержку процессов анализа ретроспективных данных статистики объемов грузовых железнодорожных перевозок с использованием перспективных математических методов прогнозирования и обработки временных рядов, можно утверждать о том, что разработанные в данном проекте математические методы прогнозирования на базе статистически репрезентативных ретроспективных данных, методы кластеризации и классификации, а также метод и средство обработки временных рядов, основанное на эффективном алгоритме выявления причинно-следственных связей в разнородных временных рядах обладают научной значимостью и прикладной перспективностью. При этом, охранные документы, которые могут рассматриваться в качестве косвенных аналогов, ориентированы на достижение технических результатов за счет эффективной реализации известных классических подходов к прогнозированию и интеллектуальному анализу данных, в то время как разработанная модель прогнозирования и макет модуля прогнозирования содержат в себе инновационные решения, отсутствующие в охранных документах.

Методы и алгоритмы, которые вошли в состав разработанного инструмента - макета модуля прогнозирования, продемонстрировали по результатам проведенного вычислительного эксперимента статистическое превосходство над современными

ми подходами к прогнозированию временных рядов объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки, доказали адекватность и ожидаемость экспертной оценке. Уровень и качество полученных результатов подтверждаются положительными результатами, полученными в результате проведения серии вычислительных экспериментов по прогнозированию объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки с помощью разработанного макета модуля прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки. Значения ошибок прогнозирования статистически не превосходят значения ошибок прогнозирования по модели ARMA; в целом, по результатам вычислительного эксперимента можно сделать выводы о статическом превосходстве точности разработанного алгоритма с учетом экзогенных факторов по сравнению с результатами, полученными по модели ARMA.

Официальный сайт Получателя субсидии, на котором размещены сведения о ходе выполнения проекта: <http://www.ccas.ru/confer/conf15-r.htm>

Таким образом, задачи и цели, предусмотренные Техническим заданием и Календарным планом проекта, решены и достигнуты в полном объеме.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Айвазян С. А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика и основы эконометрики. М.: ЮНИТИ-ДАТА, 2001.
2. Албегов М. М., Бурса Б. И., Истомина Р.П., Медведев В. Г и др. Краткосрочное прогнозирование регионального развития в условиях неполной информации. Едиториал УРСС, 2001.
3. Терёшина Н.П., Галабурда В.Г., Токарев В.А. и др. Экономика железнодорожного транспорта: Учебник для вузов ж.-д. транспорта. М.: УМЦ ЖДТ, 2008.
4. Гасников А.В. Заметка об эффективной вычислимости конкурентных равновесий в транспортно-экономических моделях // Математическое моделирование, arXiv:1410.3123, 2015.
5. Ващенко М.П., Гасников А.В., Молчанов Е.Г. и др. Вычислимые модели и численные методы для анализа тарифной политики железнодорожных грузоперевозок // Сообщения по прикладной математике, сс. 1–51. ВЦ РАН Москва, 2014.
6. Шананин А. А. Вычислимая модель железнодорожных грузоперевозок с учетом коммуникационных ограничений // Тезисы докладов 10-й Международной конференции Интеллектуализация обработки информации. Греция, о. Крит, 2014. СС. 192–192.
7. Постановление Правительства РФ от 18.05.2001 № 384 “О программе структурной реформы на железнодорожном транспорте”.
8. Box G. E. P., Jenkins G. M., Reinsel G. C. Time Series Analysis: Forecasting and Control. Englewood Cliffs, 3rd edition, 1994.
9. Patton A. J. and Timmermann A. Properties of optimal forecasts under asymmetric loss and nonlinearity // Journal of Econometrics, 2007. Vol. 140(2), pp. 884–918.
10. Berk R. Asymmetric loss functions for forecasting in criminal justice settings // Journal of Quantitative Criminology, 2011. Vol. 27(1), pp. 107–123.
11. Cipra T. Asymmetric recursive methods for time series // Applications of Mathematics, 1994. Vol. 39(3), pp. 203–214.
12. Koenker R. and Zhijie Xiao. Quantile autoregression // Journal of the American Statistical Association, 2006. Vol. 101(475), pp. 980–990.
13. Koenker R. Quantile regression. Cambridge university press, 2005.

14. Рудаков К. В., Стрижов В. В. и др. Обоснование и выбор направления исследований. Исследование экзогенных факторов и их влияния на объемы спроса на грузовые железнодорожные перевозки // Отчет о ПНИ «Исследование и разработка математических методов и алгоритмов для интеллектуальной системы анализа данных (подсистемы прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки)» Этап первый. М.: ВЦ РАН, 2014, 124 с.
15. Biau G., Bleakley K., Györfi L., Ottucsák G. Nonparametric sequential prediction of time series // J. of Nonparametric Statistics, 2010. Vol. 22(3), pp. 297–317.
16. Рудаков К. В., Стрижов В. В. и др. Исследование и разработка математической модели прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки // Отчет о ПНИ «Исследование и разработка математических методов и алгоритмов для интеллектуальной системы анализа данных (подсистемы прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки)» Этап второй. М.: ФИЦИУ РАН, 2014, 112 с.
17. Хорошевский В. В. «Исследование технического уровня и тенденций развития математических методов и алгоритмов для интеллектуальной системы анализа данных (подсистемы прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки)» // Отчет о патентных исследованиях в рамках ПНИ «Исследование и разработка математических методов и алгоритмов для интеллектуальной системы анализа данных (подсистемы прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки)» Этап первый. М.: ВЦ РАН, 2014, 161 с.
18. Генератор модельных исходных данных объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки и экзогенных факторов. Описание программы // ФИЦИУРАН-58.29.29/mgmd-01-13-01 в рамках ПНИ «Исследование и разработка математических методов и алгоритмов для интеллектуальной системы анализа данных (подсистемы прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки)» Этап второй. М.: ФИЦИУ РАН, 2014, 10 с.
19. Генератор модельных исходных данных объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки и экзогенных факторов. Текст программы // ФИЦИУРАН-58.29.29/mgmd-01-12-01 в рамках ПНИ «Исследование и разработка математических методов и алгоритмов для интеллектуальной системы анализа

данных (подсистемы прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки)» Этап второй. М.: ФИЦИУ РАН, 2014, 7 с.

20. Макет модуля прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки. Описание программы // ФИЦИУРАН-58.29.29/forecast-01-13-01 в рамках ПНИ «Исследование и разработка математических методов и алгоритмов для интеллектуальной системы анализа данных (подсистемы прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки)» Этап второй. М.: ФИЦИУ РАН, 2014, 8 с.

21. Макет модуля прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки. Текст программы // ФИЦИУРАН-58.29.29/forecast-01-12-01 в рамках ПНИ «Исследование и разработка математических методов и алгоритмов для интеллектуальной системы анализа данных (подсистемы прогнозирования объемов спроса на грузовые железнодорожные перевозки)» Этап второй. М.: ФИЦИУ РАН, 2014, 7 с.

22. Whittle P. Prediction and Regulation by Linear Least-Square Methods. University of Minnesota Press, 1983.

23. Roopaei M., Zolghadri M., Emadi A. Economical forecasting by exogenous variables // IEEE International Conf. on Fuzzy Systems, 2008. pp. 1491–1495.

24. Банк России. Официальные курсы валют на заданную дату, устанавливаемые ежедневно: [сайт]. URL: http://www.cbr.ru/currency_base/daily.aspx (дата обращения: 01.10.2015).

25. Средство массовой информации Finanz.ru. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.finanz.ru/> (дата обращения: 01.10.2015).

26. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 01.10.2015).