

# ПРОГНОЗ КЛЮЧЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЛОЖНООРГАНИЗОВАННОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ<sup>1</sup>

*И.Д. Пиорунский, Г.И. Сумберг,  
И.З. Мухаметзянов*

**DOI:** 10.33293/1609-1442-2022-4(99)-49-62

Одним из необходимых компонентов в задачах повышения эффективности бизнеса, инвестиционного планирования или оценки стоимости компаний является прогнозирование ключевых показателей экономической деятельности. Большое число различных показателей экономической деятельности взаимосвязаны сложным образом, и результат изменения отдельного показателя или группы влечет за собой изменения других показателей, что характерно для крупного предприятия. Наличие системы взаимосвязанных показателей значительно осложняет прогнозирование. Цель работы – предложить методики и аналитические инструменты прогнозирования ключевых показателей сложноорганизованной экономической системы. Разработан гибридный подход к прогнозированию сложноорганизованной экономической системы, позволяющий осуществлять прогнозирование отдельных технико-экономических показателей

© Пиорунский И.Д., Сумберг Г.И., Мухаметзянов И.З., 2022 г.

*Пиорунский Илья Дмитриевич*, управляющий партнер ООО «Кемикал Лидерс», Москва, Россия; info@chemicalleaders.com

*Сумберг Гульнара Ириковна*, финансовый директор ОАО «Эпос», Санкт-Петербург, Россия; gulnara.sumberg@gmail.com

*Мухаметзянов Ирик Зирягович*, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры, Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия; mm\_ugntu@mail.ru; ORCID 0000-0001-8640-1654

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке ООО «Кемикал Лидерс» (Москва).

с учетом динамики и тенденций изменения всего множества показателей, отражающих различные аспекты деятельности предприятия. Предлагаемая методика прогнозирования основных технико-экономических показателей совмещает несколько подходов и содержит ряд ограничений. На первой стадии выполняется декомпозиция сложной системы показателей на группы. По каждой группе показателей определяются системы одновременных уравнений множественной регрессии временных рядов. Далее проводится селекция моделей регрессии с использованием регрессионной статистики и экономически обоснованных ограничений. Регрессионные модели по каждому показателю дополняются адаптивной моделью. Синтез результата получается как скользящее среднее прогноза, полученного на основе одновременных уравнений множественной регрессии временных рядов. Предложенные инструментальные методы анализа рекомендуются в качестве аналитических инструментов анализа бизнеса для разных целей, в том числе инвестиционных, и направлены на повышение достоверности знаний о состоянии бизнеса интересующего предприятия. Апробация предложенных аналитических инструментов прогнозирования по данным официальной отчетности выполнена на тематическом исследовании оценки стоимости трех крупных промышленных предприятий сахарной промышленности Приволжского федерального округа.

*Ключевые слова:* эффективность фирмы, группирование технико-экономических показателей, множественная регрессия временных рядов, системы одновременных уравнений; прогнозирование ключевых показателей по группированным данным, оценка стоимости компании. *Классификация JEL:* L25, C32, C53.

*Для цитирования:* Пиорунский И.Д., Сумберг Г.И., Мухаметзянов И.З. (2022). Прогноз ключевых показателей сложноорганизованной экономической системы // *Экономическая наука современной России*. № 4 (99). С. 49–62. DOI: 10.33293/1609-1442-2022-4(99)-49-62

## ВВЕДЕНИЕ

Анализ хозяйственной деятельности предприятия по основным показателям и их прогноз в краткосрочном периоде позволяют

выявить наиболее актуальные резервы повышения эффективности бизнеса в целом, оценить его рыночную стоимость или инвестиционную привлекательность (Богатко, 2009; Бережная, 2015).

В практике экономической деятельности крупные хозяйственные комплексы в значительной степени определяют инфраструктуру экономики разных стран. Показатели экономической деятельности таких сложноорганизованных систем взаимосвязаны сложным образом, и изменения отдельного показателя или их группы меняют другие показатели. При описании таких систем используют методологию определения системы сбалансированных показателей, основанную на парной корреляции отдельных показателей и групп и экспертном подходе (Kaplan, Norton, 1996; Voelper et al., 2006). Такая система показателей должна обеспечивать баланс между внешними характеристиками предприятия, важными для клиентов, и внутренними показателями наиболее значимых бизнес-процессов.

Ряд случаев предполагает оценку хозяйственной деятельности предприятия внешними аналитиками только на основе мониторинга основных финансово-экономических показателей предприятия, взятых из открытых и официальных источников. К таковым, например, относится годовая бухгалтерская (финансовая) отчетность акционерного общества. Ограничения необходимого для анализа набора показателей и отсутствие доступа к информации о внутренних управленческих процессах на предприятии значительно осложняют задачу экономического анализа. В такой ситуации актуально извлекать значимую информацию из имеющегося для анализа набора показателей, отражающую их взаимодействие и влияние скрытых факторов.

Для определения закономерностей и тенденций изменения показателей в статье предлагается комплексное рассмотрение экономических процессов и динамики показателей на основе одновременных регрессионных уравнений временных рядов по груп-

пированным данным. Предлагаемый подход является развитием нашей работы (Мухаметзянов, Пиорунский, Сумберг, 2021), в которой выполнен анализ и прогноз показателей для трех крупных предприятий нефтехимического комплекса. Похожий подход использован в работах (Китова и др., 2016, 2017), где представлена общая методология и архитектура системы гибридных моделей прогноза макроэкономических показателей страны.

Объединение или агрегирование прогнозов не является новой идеей. Основой подхода выступает концепция «мудрости толпы». Комбинированные прогнозы более ценны, если прогнозы исходят из методов, которые отличаются друг от друга, и ошибки прогнозов не сильно коррелированы. Комбинация соответствующих моделей сама по себе является моделью. Это положение согласуется с байесовскими идеями, поскольку его можно рассматривать как обновление, когда каждый отдельный прогноз добавляется к комбинированному прогнозу (также называемому ансамблем), внося некоторую новую информацию. Кроме того, комбинированные прогнозы лучше адаптируются к проблеме, которую необходимо решить на практике. В целом, когда два или более методов объединяются вместе, результатом часто является повышение точности прогнозирования за счет внутренней интеграции отдельных методов. Сочетание различных методов с уникальными функциями для устранения ограничений отдельных методов повышает эффективность прогнозирования.

Основная задача данной статьи заключается в разработке гибридных методов прогнозирования ключевых показателей экономической деятельности крупного предприятия. Особенности являются наличие сложной системы взаимосвязанных показателей и ограничения существующей статистики. Предполагается, что выбранная для анализа система показателей и соответствующая ей система регрессионных моделей описывают с определенной степенью достоверности основные процессы и взаимосвязи реальной

экономической системы. Это позволяет предполагать, что реакция системы моделей на те или иные внешние и внутренние изменения аналогична в количественном и качественном аспектах реакции описываемой системы. Прогнозирование отдельных технико-экономических показателей выполняется с учетом тенденций изменения всего множества технико-экономических показателей, отражающих различные аспекты деятельности.

## 1. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

### 1.1. Определение и группирование показателей

При определении системы показателей для анализа деятельности промышленного предприятия авторы использовали подход, основанный на экспертном выделении наборов ключевых и вспомогательных показателей эффективности, которые служат ориентиром для принятия решений в организации (Martynenko, Lysytsia, Polyakova, 2020). Каждая такая выборка показателей включает данные внешней отчетности для заинтересованных сторон и клиентов и внутренние показатели, характеризующие наиболее значимые бизнес-процессы, инновации и рост. Тем самым обеспечивается баланс между данными, характеризующими текущую деятельность предприятия, и данными, определяющими его перспективный рост.

Определение и группирование показателей выполняются в соответствии со сферой экономической деятельности. Поскольку ключевые резервы успешного развития предприятия сосредоточены в основном во внутренних процессах и финансовой перспективе развития предприятия, обязательно выделяется ключевая группа показателей финансовой сферы (валовая выручка, чистая прибыль и т.д.) и группа показателей, характеризующих внутренние процессы (основные сред-

ства, оборотные активы, готовая продукция, дебиторская задолженность и др.). Вспомогательными показателями будут параметры, поддерживающие требуемый уровень тех или иных ключевых параметров в долгосрочной перспективе. Эти параметры позволяют эффективно взаимодействовать с «Клиентом/Заказчиком» (показатели индекса удовлетворенности клиентов, лояльности потребителей и т.п.) и показатели, определяющие «Организационный потенциал» организации (число работников, средняя заработная плата, среднемесячная производительность труда и др.).

При группировании используется корреляционный анализ для отнесения в одну группу показателей с высоким значением парной корреляции. Наличие сильной корреляции (взаимосвязи) между несколькими переменными одной группы обеспечивает взаимную заменяемость показателей. Дополнительно применяется однофакторный анализ, позволяющий определить факторную нагрузку отдельного показателя в выделенной группе (Иберла, 1980). При использовании модели однофакторного анализа измеряемые переменные каждой группы зависят от одного скрытого фактора, а каждая измеряемая переменная также включает компонент независимой случайной изменчивости. Высокие значения факторной нагрузки для каждой переменной в группе указывают на корректность отнесения показателя к группе.

Разделение на группы позволяет строить регрессионные модели между показателями, выбранными по одному в каждой группе. Межгрупповая корреляция или парные корреляции между показателями различных групп менее выражены. Однако при использовании большого числа регрессионных зависимостей каждый показатель будет вносить отдельный вклад в общую тенденцию посредством дополнительной модели множественной регрессии. Такой подход позволяет учитывать множественные взаимосвязи. Следует также иметь в виду, что число групп показателей лимитируется особенностью множественной регрессии, когда при числе факторов больше

трех-четыре части коэффициентов регрессии становится незначимой в силу сложного взаимодействия факторов.

## 1.2. Прогнозирование на основе модели множественной регрессии временных рядов

После группирования показателей имеется  $k$  групп  $X_1(t), X_2(t), \dots, X_k(t)$ , состоящих соответственно из  $n_1, n_2, \dots, n_k$  показателей в группе. Наблюдаемые показатели экономического объекта представляют собой синхронизированные временные ряды. Наличие взаимосвязи между наблюдениями в этих рядах, в том числе и смещенных на определенный лаг, позволяет строить регрессионные зависимости.

Пусть в распоряжении исследования имеется  $m$  значений каждого показателя, определенного во временном промежутке  $(T_a, T_b)$ , представленного отчетностью по месяцам (кварталам или годам), где  $t_m$ , последнее актуальное наблюдение, соответствующее периоду  $T_b$ . Задача состоит в построении краткосрочного прогноза на 1–3 периода, т.е. нужно актуализировать показатели в  $p$  точках  $t_{m+1}, \dots, t_{m+p}$ .

Для построения прогноза используем стандартную модель регрессии временного ряда (Фёрстер, Рёнц, 1983):

$$Y(t+1) = b_0 + b_1 \cdot X_1(t) + b_2 \cdot X_2(t) + \dots + b_k \cdot X_k(t). \quad (1)$$

В уравнении (1) причинные переменные  $X$  предшествуют следствию  $Y$  со смещением на один лаг. Особенность регрессии временного ряда состоит в том, что оценка коэффициентов модели производится по данным смещенных рядов для зависимой и независимой переменных. При отсутствии достаточной аргументации для непрерывно развивающихся экономических явлений постулируется, что значения признаков, наблюдаемых в данный момент, представляют собой результаты причин в текущий и предшествующий периоды времени. В отдельных случаях величина лага требует экономического обоснования.

С учетом представленных выше обозначений необходимо оценить зависимость одного показателя группы, определенного значениями в точках  $t_{m-r}, \dots, t_m$ , от  $(k-1)$  показателей других групп, определенных значениями в точках  $t_{(m-1)-r}, \dots, t_{m-1}$ , со смещением на один лаг. Здесь  $r$  представляет величину ретроспективы, отсекающую данные прошлых лет, не влияющие на текущую тенденцию ( $r > k+2$ ).

Для показателя первой группы с номером  $j_1$  зависимость имеет вид

$$X_{j_1}^{(1)}(t_m) = b_0 + b_1 \cdot X_{j_2}^{(2)}(t_{m-1}) + \dots + b_k \cdot X_{j_k}^{(k)}(t_{m-1}). \quad (2)$$

Верхний индекс показателя  $X$  обозначает номер группы, а нижний индекс – номер показателя в группе, например,  $j_1 = 1, \dots, n_1$ . С учетом взаимозаменяемости показателей в группах предикторов общее число моделей регрессии для показателя  $X_{j_1}^{(1)}(t)$  равно  $n_2 \cdot n_3 \cdot \dots \cdot n_k$ . Основные этапы построения гибридной HRM-модели прогнозирования представлены в табл. 1.

Для каждого показателя определяется модель регрессии временного ряда на групповом множестве (предикторы взяты по одному из группы). Каждая модель (их, например, не более  $n_2 \cdot n_3 \cdot n_4$  моделей для показателя первой группы и всего не более  $n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4$  для всей исследуемой системы) – объект связанных корреляционной зависимостью показателей.

С учетом регрессионной статистики часть моделей регрессии будет отклонена после проверки адекватности. В результате останется  $N_1$  моделей множественной регрессии. Эти модели представляют собой систему одновременных уравнений, позволяющих при задании значения аргумента в момент  $t_m$  рассчитать  $N_1$  значений (прогнозов) показателя  $X_{j_1}^{(1)}$  в момент времени  $t_{m+1}$ . Результирующее прогнозное значения определим как среднее, что отражает суть случайной величины, результат которой определяется совокупностью большого числа факторов и устойчивостью среднего значения. Среднеквадратическое от-

Таблица 1

Основные этапы построения гибридной HRM-модели прогнозирования для четырех групп показателей

Группа регрессоров $T = t_{(m-1)-r}, \dots, t_{m-1}$	Группа прогнозных показателей $t_{m-r}, \dots, t_m$	$N = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4$ моделей регрессии для каждого показателя из группы $X^{(1)}$	Агенты прогноза		Среднее значение прогноза при $t = t_{m+1}$	
			Селекция регрессионных моделей	$N_i$		
$X_{j_2}^{(2)}(t), X_{j_3}^{(3)}(t), X_{j_4}^{(4)}(t)$ $j_2 = 1, \dots, n_2, j_3 = 1, \dots, n_3,$ $j_4 = 1, \dots, n_4$	$X_{j_1}^{(1)}(t)$ $j_1 = 1, \dots, n_1$	$x_{j_1 k}^{(1)}(t_{m+1}) = L(x_{j_2}^{(2)}, x_{j_3}^{(3)}, x_{j_4}^{(4)}, t_m)$			$x_{j_1}^{(1)} = \text{mean}_{1 \leq k \leq N_1}(x_{j_1 k}^{(1)})$	$x_1^{(1)} x_2^{(1)} \dots x_{n_1}^{(1)}$
$X_{j_1}^{(1)}(t), X_{j_3}^{(3)}(t), X_{j_4}^{(4)}(t)$	$X_{j_2}^{(2)}(t)$	$x_{j_2 k}^{(2)}(t_{m+1}) = L(x_{j_1}^{(1)}, x_{j_3}^{(3)}, x_{j_4}^{(4)}, t_m)$			$x_{j_2}^{(2)} = \text{mean}_{1 \leq k \leq N_2}(x_{j_2 k}^{(2)})$	$x_1^{(2)} x_2^{(2)} \dots x_{n_2}^{(2)}$
$X_{j_1}^{(1)}(t), X_{j_2}^{(2)}(t), X_{j_4}^{(4)}(t)$	$X_{j_3}^{(3)}(t)$	$x_{j_3 k}^{(3)}(t_{m+1}) = L(x_{j_1}^{(1)}, x_{j_2}^{(2)}, x_{j_4}^{(4)}, t_m)$			$x_{j_3}^{(3)} = \text{mean}_{1 \leq k \leq N_3}(x_{j_3 k}^{(3)})$	$x_1^{(3)} x_2^{(3)} \dots x_{n_3}^{(3)}$
$X_{j_1}^{(1)}(t), X_{j_2}^{(2)}(t), X_{j_3}^{(3)}(t)$	$X_{j_4}^{(4)}(t)$	$x_{j_4 k}^{(4)}(t_{m+1}) = L(x_{j_1}^{(1)}, x_{j_2}^{(2)}, x_{j_3}^{(3)}, t_m)$	$x_{j_4}^{(4)} = \text{mean}_{1 \leq k \leq N_4}(x_{j_4 k}^{(4)})$	$x_1^{(4)} x_2^{(4)} \dots x_{n_4}^{(4)}$		

клонение прогнозной статистики показателя служит дополнительным ограничением для отсеивания регрессионных моделей, что позволяет уменьшить доверительный интервал прогноза. Используется следующий последовательный механизм отсеивания плохих прогнозов: наиболее удаленное от среднего значение исключается из списка, пока стандартное отклонение не достигнет заданного значения.

Ситуация, когда для прогнозного показателя  $X_{j_1}^{(1)}$  все модели регрессии незначимы, дополнена применением адаптивной трендовой модели Брауна (Лукашин, 2003). Во всех случаях адаптивный прогноз включается (взвешенно) в общий прогноз, что позволяет учесть в модели динамику прогнозного показателя.

Вследствие одновременных связей между различными показателями выбор зависимой переменной в регрессии временного ряда является условным. Каждый показатель аналогично описанной выше модели прогноза показателя  $X_{j_1}^{(1)}$  связан с другими опережающими ее переменными аналогичными уравнениями (2). Благодаря этому образуется цепь причинно-следственных уравнений с общим числом, равным  $\sum_{i=1}^k N_i$ , позволяющих выпол-

нить расчет прогнозных значений для всех показателей на один шаг на момент времени  $t_{m+1}$ .

Следующий шаг построения прогноза для момента  $t_{m+2}$  полностью повторяет предыдущий. Прогнозные значения принимаются за фактические. Далее выполняется построение регрессионной модели нового временного ряда с использованием техники фиксированного скользящего окна при заданной ретроспективе в  $r$  периодов. Такой алгоритм прогнозирования можно определить как скользящее среднее прогноза, полученного на основе одновременных уравнений множественной регрессии временных рядов.

В целях обеспечения корректности пошагового прогноза можно использовать дополнительные ограничения в виде селекции уравнений. На каждом шаге процедуры будем отсеивать регрессионные уравнения, в которых значения в  $(t + 1)$  периоде значительно отличаются от значений в периоде  $t$ . Такие выбросы могут быть обусловлены автокорреляцией во временных рядах, наличием циклов, случайных всплесков в данных, длинными лагами во взаимосвязях показателей и др., что весьма трудно идентифицировать при их одновременности. В качестве таких ограничений для пошагового прогноза могут выступать экспертные оценки, определенные

для проблемных значений прогнозов. Ограничения формулируются, например, следующим образом: исключить из рассмотрения уравнения, имеющие относительное изменение значения показателя в  $(t + 1)$  периоде более чем 15% при отсутствии объективных причин для этого конкретного показателя.

Предлагаемая авторами модель отличается от классической регрессионной модели временного ряда с совмещенной системой одновременных уравнений. Она воплощает концепцию мультиагентной динамики показателей, в которой направление развития (прогноз) каждого показателя определяется на основе большого числа моделей множественной регрессии. Каждая регрессионная модель является «агентом» системы, в которой предикторы взяты по одному из каждой группы множества показателей. Регрессионная статистика и дополнительные экспертные ограничения, интегрированные в модель, позволяют отсеивать незначимые прогнозы отдельных агентов и выбросы. Далее эта коллективная реакция агентов интегрируется (в простом варианте – как средняя величина по всем моделям). Результирующий прогноз каждого показателя получается из совокупности локальных поведений и характеристик отдельных активных элементов. Все описанное выше – процедура выбора разумных решений, что составляет концепцию мультиагентных моделей.

В предлагаемой модели системы регрессионных уравнений несовместны. Совместность означала бы детерминированность и исключение случайности. Каждое решение – решение одного агента, и оно, естественно, отличается от решения другого агента (показатели связаны корреляционной зависимостью). Поэтому нет необходимости решать систему уравнений множественной регрессии.

Поскольку на каждом шаге прогноза все уравнения меняются и меняются тренды, то процедура прогнозирования аналогична адаптивной трендовой модели. Одновременно модель проявляет и свойства нейронной

сети (без обучения), поскольку обрабатывает связи «многие к одному», что соответствует архитектуре PERCEPTRON.

### 1.3. Архитектура гибридной модели прогнозирования показателей

Предлагаемая методика прогнозирования основных технико-экономических показателей совмещает несколько подходов и дополнительных ограничений и обозначается далее как HMR-модель (Hybrid Multi Regression model). Алгоритм прогнозирования можно определить как скользящее среднее прогноза, полученного на основе одновременных уравнений множественной регрессии временных рядов.

Реализация алгоритма HMR-модели выполнена авторами на платформе программирования и числовых вычислений MatLab, содержащей пакет анализа множественной регрессии, корреляции и факторного анализа. Программный модуль расчетов включает блок вариации регрессионных моделей, блок анализа адекватности моделей множественной регрессии, блок построения трендовой модели, блок настраиваемых дополнительных ограничений по каждому показателю (или блок контроля допустимых значений прогнозных показателей), блок оптимизации величины скользящего окна (ретроспективы) и блок верификации прогноза (рис. 1).

Блок предобработки исходных данных включает анализ «выбросов» временного ряда, анализ и замену отсутствующих (missing data) и нормализацию данных (см. далее раздел 1.4). Выбросы в данных могут быть обусловлены как внутренними причинами (форс-мажорными обстоятельствами производственного процесса, финансовыми трудностями и др.), так и проявлениями внешних факторов (влиянием рынка, проблемами в отношениях с контрагентами и т.п.). Выбросы значительно влияют на точность и надежность прогнозов и могут приводить к неверным прогнозам. Идентификация выбросов в блоке предобработки

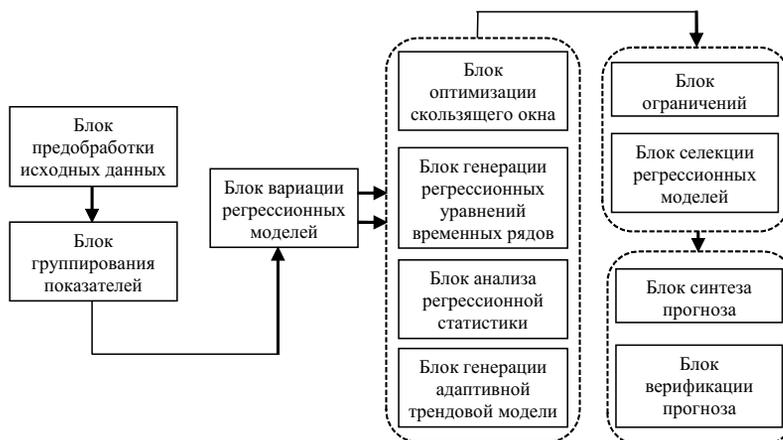


Рис. 1. Архитектура гибридной модели прогнозирования ключевых показателей по группированным данным

Источник: авторская разработка.

исходных данных осуществляется заданием значения максимального допустимого отклонения в шкале Z-баллов: сколько стандартных отклонений составляет разброс наблюдений относительного среднего значения. Идентифицированные значения визуализируются и подвергаются дальнейшему экспертному анализу и корректировке при необходимости.

Блок группирования показателей оценивает корреляционные связи между показателями различных, экспертно заданных групп и оценивает внутригрупповые факторные нагрузки. Выходным результатом блока является селекция показателей в группах.

Блок вариации регрессионных моделей формирует всевозможные наборы данных предиктор-корректор для последующего построения регрессионных уравнений.

Формальная процедура определения оптимальной длины «скользящего окна» (в блоке оптимизации) при построении прогнозов выполняется по критерию минимального отклонения фактических данных от прогнозных значений по методике «ретроверификации». Особенность состоит в том, что для различных показателей в силу различий данных оптимальная длины скользящего окна может различаться, причем иногда существенно.

Блок генерации регрессионных уравнений временных рядов и блок анализа регрессионной статистики представлены стандартными методами регрессионного анализа.

Блок генерации адаптивной трендовой модели использует адаптивную модель Брауна для заданного диапазона данных в рамках определенного скользящего окна.

В блоке ограничений и блоке селекции регрессионных моделей на каждом шаге процедуры выполняется селекция регрессионных уравнений, в которых значения в периоде  $(t + 1)$  значительно отличаются от значений в периоде  $t$ . В качестве ограничений для пошагового прогноза выступают определенные экспертные оценки для проблемных значений прогнозов. Ограничения позволяют исключить из рассмотрения уравнения, имеющие относительно изменение значения показателя в последующем периоде более чем на заданную величину.

Агрегирование прогноза, полученного на основе различных подходов прогнозирования, выполняется в блок синтеза прогноза с использованием процедуры простого аддитивного взвешивания. Особенность состоит в корректировке весовых коэффициентов после верификации прогноза.

Блок верификации прогноза использует оценку качества модели по критерию минимизации стандартного отклонения от среднего значения прогноза и процедуру «ретроверификации», основанную на сравнении прогнозных и фактических значений. В этом случае прогнозирование осуществляется для некоторого момента в прошлом, для которого известны фактические данные.

#### 1.4. Трансформация данных

Учитывая, что различные показатели выражены в различных единицах измерения и могут представлять различные типы данных, необходимо привести показатели к общей безразмерной шкале. Поскольку данные представляют собой синхронизированные временные ряды, последовательные наблюдения лучше всего определять через относительный прирост данных. Один из простых способов – это нормировка путем приведения каждого показателя к значению показателя в первом периоде. Для финансовых показателей необходимо дополнительно провести процедуру дисконтирования данных на уровень инфляции за рассматриваемый период до нормирования данных.

## 2. ТЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХ ПРЕДПРИЯТИЙ САХАРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

### 2.1. Обзор рынка и исследуемых предприятий

Эффективность и результативность сахарного производства зависят от ряда таких внешних факторов, как урожайность сахарной свеклы, объем посевных площадей и др. Насколько урожайным выдался год, сильно влияет на общий объем производства сахара в стране и, как следствие, на цены на сахар. В 2016–2019 гг. в России наблюдалось пере-

производство сахара, так как годы были урожайными, а посевные площади сахарной свеклы – высокими. Вследствие этого рыночное предложение сахара превысило спрос и цена сахара сильно упала. Это изменение отразилось на рентабельности всех сахарных заводов. По данным Союза сахаропроизводителей России, запасы сахара на август 2020 г. превысили 3 млн т, что является историческим максимумом.

Начиная с 2020 г. посевные площади сахарной свеклы стали сокращаться, и объем производства сахара сильно снизился в среднем на 12–16% в 2020–2021 гг. Как следствие – складские запасы на производственных предприятиях уменьшались. Ожидается, что в ближайшие годы перепроизводства сахара не будет и предложение станет соответствовать спросу, поддерживая рентабельную для производителей стоимость этого продукта.

ОАО «Чишминский сахарный завод» – крупнейший производитель сахара в России – до 2016 г. входил в группу компаний «Разгулай», с 2016 г. он входит в AVG argo. Предприятие показывает стабильный рост выручки. В 2015–2016 гг. стало заметно снижение роста выручки до 1% в год. Скорее всего, это было следствием смены собственника и менеджмента компании. В не самые благоприятные для отрасли 2018 и 2019 гг. предприятие показывало рост выручки в 20–21%, что, скорее всего, стало следствием изменения системы управления предприятием. При этом рентабельность продаж в этот период снизилась со средних 17 до 5%, что было в рамках рыночных тенденций отрасли и следствием снижения цены реализации сахара. До 2015 г. предприятие, по данным РСБУ, показывало чистый убыток. С 2015 г. предприятие работает с прибылью. В 2017–2019 гг. рентабельность бизнеса падает до 0–2%, но уже в 2020 г. она возрастает до 12%. По отчетности ОАО «Чишминский сахарный завод» четко видна динамика роста запасов в 2016–2018 гг., что связано с общим избытком сахара на рынке. Средний рост запасов в этот период составил 25%, а максимум достигал 96% в конце 2018 г.

ОАО «Заинский сахар» – крупнейшее предприятие Республики Татарстан, производящее сахар. В 2020 г. произошло банкротство ЗАО «Нурлатский сахар», ближайшего территориально конкурента ОАО «Заинский сахар», а его клиентская сеть перешла к ОАО «Заинский сахар», что положительно сказалось на его финансовых результатах. Банкротство конкурента, скорее всего, определило сильный рост выручки в 2020 г. на 109% по сравнению с 2019 г. В 2016–2018 гг. средний рост выручки предприятия составлял 3%, а в 2019 г. произошло даже его снижение на 35%. Определяющим фактором такой динамики является перепроизводство сахара на рынке и, как следствие, снижение стоимости сахара. Возможно, снижение выручки в 2019 г. и ее значительный рост в 2020 г. связаны с проблемой учета: часть выручки 2019 г. была признана в отчетности уже 2020 г. Рентабельность продаж также сильно снизилась в 2017–2019 гг. и составляла 1–2%. Чистая прибыль в этот период была минимальной.

АО «Ульяновский сахарный завод» показывает стабильные финансовые результаты. Динамика его финансовых показателей соответствует общей рыночной ситуации. Выручка завода в 2017–2019 гг. снижалась. Это связано с избытком сахара на рынке. Уже в 2020 г. рост выручки составил 35% и приблизился к уровню 2016 г. Рентабельность продаж колебалась от 4–6% в сложных для отрасли 2017–2019 гг. и до 24–28% – в 2015–2016 гг. В среднем за период наблюдений в 10 лет показатель составил 14–15%. Именно эти значения отражают средний уровень работы предприятия, сглаженный на неурожай, перепроизводство и другие внешние факторы. При снижающихся показателях выручки компании удалось сохранить прибыльность. Все года АО «Ульяновский сахарный завод» показывает прибыль. Максимальная прибыль составляла 17% от выручки в 2015–2016 гг. В 2017–2019 гг. этот показатель ожидаемо опустился до уровня 3–7%, но уже в 2020 г. он составил 12%. За последние семь лет предприятие в среднем обновляет 25% своего ос-

новного фонда в год. Завод построен давно, и для поддержания производственного уровня необходимы текущий ремонт и модернизация производственных мощностей.

## 2.2. Определение и группирование показателей

Для всех трех однотипных предприятий показатели финансово-хозяйственной деятельности взяты из официальных источников за период 2011 по 2020 г. (данные ежегодной бухгалтерской отчетности и годовых отчетов). Определение и группирование показателей выполнено на основе методики, изложенной в разделе 1.1. Для всех предприятий экспертно определены влияющие на состояние бизнеса укрупненные факторы: «доходные», «расходные», «финансовый результат», «оценка и рынок», «прочие финансовые». Таким образом, показатели разбиты на четыре группы. В табл. 2 представлены показатели показателей финансово-хозяйственной деятельности ОАО «Заинский сахар».

В соответствии с группированием данных (см. табл. 1) и HMR-моделью прогнозирования на данных ОАО «Заинский сахар», можно построить максимальное число  $5 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 5 = 400$  регрессионных моделей, комбинируя показатели по одному из каждой группы. Аналогичный подход используется и для других исследуемых предприятий. Спецификация основных показателей по всем трем предприятиям одинаковая. Корреляция показателей фактически представляет корреляцию синхронизированных значений соответствующих временных рядов.

Для каждой группы показателей в табл. 2 приведены факторные нагрузки, расчеты которых выполнены с использованием специальной функции MatLab по методике однофакторного анализа. Высокие значения факторных нагрузок для группированных показателей по табл. 1 показывают, что один общий фактор в однофакторной модели дает большой положительный вес почти всем пере-

Таблица 2  
Группы показателей финансово-хозяйственной деятельности ОАО «Заинский сахар»

Показатели финансовой сферы, $X_1$		Факторная нагрузка, $\lambda$
1	Выручка	0,953
2	Себестоимость	0,998
3	Коммерческие расходы	0,725
4	Управленческие расходы	0,332
5	Чистая прибыль (убыток)	0,184
Оборотные средства, $X_2$		
6	Запасы	0,456
7	Дебиторская задолженность	-0,307
8	Денежные средства и денежные эквиваленты	-0,045
9	Кредиторская задолженность	0,997
Основные средства и займы, $X_3$		
10	Основные средства	0,585
11	Собственные средства	0,537
12	Заемные средства	-0,082
13	Капитальные вложения	-0,998
Показатели рынка, $X_4$		
14	Посевные площади	0,103
15	Валовые сборы	0,609
16	Производство свекловичного сахара	0,998
17	Оптовая цена за тонну	-0,847
18	Мировая цена	-0,734

Источники: авторская разработка.

менным по каждой из определенных групп. Одна из интерпретаций этого состоит в том, что группирование переменных выполнено корректно. Для показателей с низким значением факторной нагрузки (менее 0,5) отнесение к определенной группе выполнено на основании приоритета экспертного решения и с учетом высокой внутригрупповой и низкой межгрупповой корреляцией показателей.

Анализ результатов прогнозирования при случайной группировке факторов по результатам тестовых расчетов показал, что выбор факторов в группы случайным способом смещает прогнозные значения до 50%. Это происходит за счет уменьшения числа адекватных моделей регрессии, что обусловлено нарушением межгрупповой независимости факторов. Поэтому качество группировки

факторов является важным этапом, предшествующим прогнозированию.

### 2.3. Прогнозирование целевых показателей сахарных заводов

Прогнозирование валовой выручки и прибыли как основных показателей для оценки стоимости компаний выполнено на основе гибридной мультирегрессионной модели, описанной выше в подразделе 1. Результаты прогнозирования валовой выручки и прибыли АО «Ульяновский сахарный завод» представлены на рис. 2 и 3. Аналогичные результаты имеют место и для двух других компаний.

Прогноз основных показателей по АО «Ульяновский сахарный завод», полученный

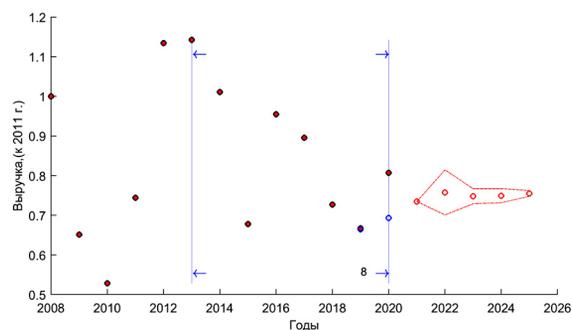


Рис. 2. Прогноз выручки АО «Ульяновский сахарный завод», полученный на основе HMR-модели

Источники: авторская разработка.

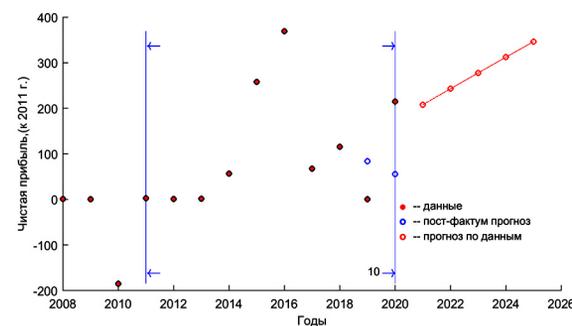


Рис. 3. Прогноз прибыли АО «Ульяновский сахарный завод», полученный на основе HMR-модели

Источники: авторская разработка.

на основе HMR-модели, подтверждает экспертный прогноз (рис. 4).

Экспертные оценки строились на всестороннем анализе рынка, структуры и качества работы самого предприятия и на основе имеющихся данных по рыночным показателям после последней отчетной даты, доступной на момент проведения исследования (2020 г.).

Оценка стоимости предприятий может производиться разными методами, в их числе – метод капитализации и метод дисконтирования денежных потоков (ДДП). Эти методы используют прогнозные значения основных показателей деятельности компании: прибыли, выручки, расходов и других денежных потоков. Корректные значения прогноза этих показателей существенно влияют на оценку стоимости бизнеса. Один из прогнозов совокупности показателей, а следовательно, и расчет стоимости бизнеса получены на основе HMR-модели, представленной в подразделе 1. Другая оценка стоимости выполнена с использованием экспертного метода. Соответствие результатов оценки стоимости, полученных различными методами, уменьшает риски недооценки или переоценки и служит дополнительным аргументом для последующего принятия решений.

Задача оценки стоимости компании не тривиальная, и ее решение требует анализа

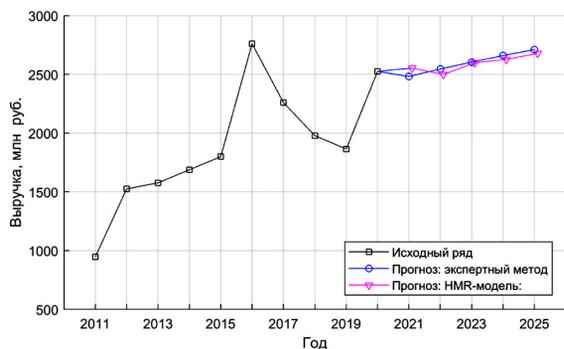


Рис. 4. Сравнение прогнозов выручки АО «Ульяновский сахарный завод», полученных на основе HMR-модели и экспертным путем, тыс. р.

Источники: авторская разработка.

большого числа как рыночных, так и технико-экономических показателей самого бизнеса. В зависимости от целей оценки применяются различные подходы для получения релевантной оценки. Наиболее используемыми методами являются метод дисконтирования денежных потоков (ДДП), метод капитализации, рыночных аналогов, затратный подход. На практике часто используется комбинированный подход, когда стоимость бизнеса считается как взвешенное среднее результатов разных методов оценок.

Методы оценки дисконтирования денежных потоков и метод капитализации предполагают построение прогнозов о деятельности компании по ряду показателей в будущие периоды для определения стоимости бизнеса. Прогнозирование основывается на анализе истории работы предприятия, динамики рынка, внешнеполитических и экономических ожиданиях и экспертной оценке специалистов. Поэтому корректный результат оценки бизнеса зависит от качества прогноза. Ключевое преимущество использования HMR-модели состоит в построении прогноза значений всех показателей одновременно на один шаг и использовании дополнительных экспертных ограничений для анализа и коррекции полученных значений.

Результаты сравнения оценки стоимости бизнеса с использованием экспертного прогноза денежных потоков и прогноза, полученного при применении HMR-модели, представлены в табл. 3. Относительная погрешность при использовании двух методов оценки стоимости при использовании экспертного прогноза и прогноза, полученного по HMR-модели, составляет до 23%, что является вполне допустимым в условиях рыночной неопределенности.

Соответствие стоимости компании, полученное средствами различных моделей, уменьшает риски недооценки или переоценки и служит дополнительным аргументом для последующего принятия решений.

Прогноз денежных потоков чувствительно влияет на оценку стоимости предпри-

Таблица 3

Оценка стоимости трех предприятий сахарной промышленности, тыс. долл.

	Метод ДДП			Метод капитализации		
	Экспертный прогноз	HMR-модель	%	Экспертный прогноз	HMR-модель	%
Заинский СЗ	44 029	41 449	6	48 110	37 506	22
Чишминский СЗ	25 772	28 242	9	35 510	40 337	12
Ульяновский СЗ	24 089	31 225	23	22 636	29 218	23

Источники: авторская разработка.

ятия. Экспертная оценка по ОАО «Заинский сахар» методом ДДП выше аналогичной оценки с прогнозом средствами HMR-модели. Для ОАО «Чишминский сахарный завод» и АО «Ульяновский сахарный завод» экспертная оценка стоимости бизнеса, наоборот, ниже. Это связано с тем, что экспертные прогнозы учитывают в том числе факторы, которые невозможно учесть в математической модели. Например, является ли предприятие частью агропромышленного комплекса, как ОАО «Заинский сахар», или входит в большую промышленную группу, как АО «Ульяновский сахарный завод». Экспертный метод в прогнозах учитывает заявления руководства производств относительно дальнейших планов развития реновации и инвестиций в производство. Эти факторы формируют ожидания относительно будущего заводов, но пока они не нашли отражения в финансовой отчетности за прошедшие периоды, которые анализируются HMR-моделью. Поэтому разработанный метод анализа должен применяться с осторожностью в тех случаях, когда известно о факторах, которые существенно повлияют либо на рынок, на котором оперирует предприятие, либо на деятельность самого предприятия изнутри.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Непрерывная динамика рынка, изменение спроса-предложения, развитие новых технологий производства, логистика и мно-

гое другое повышают риски инвестиций, финансовые риски на рынке и требуют высокой степени достоверности и качественного анализа состояния и перспектив развития интересующего предприятия реального или потенциального инвестора. При отсутствии доступа к информации о внутренних управленческих процессах на предприятии актуальным является извлечение значимой информации из имеющего для анализа набора показателей, отражающей взаимодействие и анализ скрытых факторов. Поэтому описанная в статье гибридная методика прогнозирования ключевых показателей экономической деятельности предприятия в условиях сложной системы взаимосвязанных показателей имеет высокую степень актуальности в современных условиях.

Качество построения прогноза и определение ожиданий относительно дальнейшей деятельности производства формируют принятие стратегических решений. HMR-модель – инструмент, позволяющий строить прогнозы с учетом взаимосвязи большого числа показателей на основании ретроспективных данных с использованием алгоритма скользящего окна и возможностью экспертных ограничений на динамику отдельных показателей, например имеющих сильную волатильность. Авторы видят развитие изложенного гибридного подхода именно в направлении синтеза формальных моделей и экспертных условий формирования прогноза. Такой синтез должен повысить экономическое содержание методов прогнозирования и обеспечить реалистичный прогноз для решения практических задач.

Предложенные методики рекомендуются в качестве аналитических инструментов анализа бизнеса для разных целей, в том числе инвестиционных. Они направлены на повышение достоверности знаний о состоянии бизнеса интересующего предприятия по данным официальной отчетности. На основе изложенных выше методик разработан высокотехнологичный интеллектуальный программный продукт, имеющий компоненты ноу-хау, который успешно используется компанией ООО «Кемикал Лидерс» в задачах анализа бизнеса.

### Список литературы / References

- Бережная Е.В. (2015). Резервы повышения эффективности и финансовохозяйственной деятельности предприятия // *Концепт*. № 3. ART 75065. [Berezhnaya E. V. (2015). Reserves for increasing the efficiency and financial and economic activity of the enterprise. *Concept. Special issue*, no. 3. ART 75065 (in Russian).]
- Богатко А.Н. (2009). Основы экономического анализа хозяйствующего субъекта. М.: Финансы и статистика. [Bogatko A.N. (2009). *Fundamentals of economic analysis of a business entity*. Moscow: Finance and Statistics Publ. (in Russian).]
- Иберла К. (1980). Факторный анализ. М.: Статистика. 398 с. [Iberla K. (1980). *Factor Analysis*. Moscow: Statistika Publ. 398 p. (in Russian).]
- Китова О.В., Колмаков И.Б., Доможаков М.В., Кривошеева Я.В., Пеньков И.А. (2017). Гибридные распределенные регрессионные и интеллектуальные системы прогноза показателей социально-экономического развития России // *Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова*. Т. 2. С. 147–161. [Kitova O. V., Kolmakov I. B., Domozhakov M. V., Krivosheeva Y. V., Penkov I. A. (2017). Hybrid assigned regressive and intellectual systems for forecasting rates of social and economic development in Russia. *Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics*, no. 2, pp. 147–161 (in Russian).] <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2017-2-147-161>
- Китова О.В., Колмаков И.Б., Кольцов А.В., Доможаков М.В. (2016). Анализ динамики результатов верификации краткосрочных прогнозов показателей сферы научных исследований и инноваций в РФ // *Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова*. № 5 (89). С. 111–119. [Kitova O.V., Kolmakov I.B., Koltsov A.V., Domozhakov M.V. (2016). Analyzing the Results of Verification of Short-Term Forecasts of Figures of Academic Research and Innovation Sphere in Russia. *Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics*, no. 89 (5), pp. 111–119 (in Russian).]
- Лукашин Ю.П. (2003). Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. М.: Финансы и статистика. [Lukashin Yu.P. (2003). *Adaptive methods for short-term forecasting of time series*. Moscow: Finance and Statistics (in Russian).]
- Мухаметзянов И.З., Пиорунский И.Д., Сумберг Г.И. (2021). Оценка деятельности химического предприятия на основе комплексного анализа динамики технико-экономических и финансовых показателей // *Экономический анализ: теория и практика*. Т. 20. № 10. С. 1833–1860. [Mukhametzyanov I.Z., Piorunskii I.D., Sumberg G.I. (2021). Evaluating the activity of a chemical enterprise based on the comprehensive analysis of trends in technical, economic, and financial indicators. *Economic Analysis: Theory and Practice*, no. 20 (10), pp. 1833–1860 (in Russian).]
- Фёрстер Э., Рёниц Б. (1983). Методы корреляционного и регрессионного анализа. Руководство для экономистов / пер. с англ. В.М. Ивановой. М.: Финансы и статистика. [Förster E., Rönz B. (1983) *Methods of correlation and regression analysis. A guide for economists*. Transl. from Engl. Moscow: Finance and statistics (in Russian).]
- Kaplan R.S., Norton D.P. (1996). *The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action*. Boston (MA): Harvard Business School Press.
- Martynenko M., Lysytsia N., Polyakova Ya. (2020). Assessment of economic activity of enterprise based

on the balanced scorecard. *Financial and Credit Activities: Problems of Theory and Practice*, vol. 35, no. 4, pp. 248–257.

Voelper S., Leibold M., Eckhoff R., Davenport T. (2006). The tyranny of the Balanced Scorecard in the innovation economy. *Journal of Intellectual Capital*, vol. 7, no. 1, pp. 43–60.

*Рукопись поступила в редакцию 18.06.2022 г.*

## KEY INDICATORS OF A COMPLEX ECONOMIC SYSTEM FORECAST

*I.D. Piorunskiy, G.I. Sumberg,  
I.Z. Mukhametzyanov*

**DOI:** 10.33293/1609-1442-2022-4(99)-49-62

*Ilya D. Piorunskiy*, Chemical Leaders Ltd., Moscow, Russia;  
e-mail: info@chemicalleaders.com

*Gulnara I. Sumberg*, Epos OJSC., St. Petersburg, Russia;  
e-mail: gulnara.sumberg@gmail.com

*Irik Z. Mukhametzyanov*, Doct. Sc. (Phys.-Math.), Associate Professor, Professor of the Department of Information Technology and Mathematics, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia; mm\_ugntu@mail.ru; ORCID 0000-0001-8640-1654

*Acknowledgment.* The Research Was Carried Out with the Funding of Chemical Leaders LLC (Moscow).

One of the necessary components in the tasks of improving business efficiency is the forecasting of key indicators of economic activity. A large number of different indicators are complex related, and the result of a change in a single indicator or group entails changes in other indicators, which is typical for a large enterprise. The purpose of the work is to propose methods and analytical tools for forecasting key indicators of a complex economic system. A hybrid approach to forecasting a complex economic system has been developed which makes it possible to forecast individual

technical and economic indicators, taking into account the dynamics and trends in the entire set of indicators reflecting various aspects of the enterprise's activities. The proposed methodology combines several approaches and contains a number of limitations. At the first stage, a complex system of indicators is decomposed into groups. For each group of indicators, systems of simultaneous equations of multiple regression are determined. Next, the selection of regression models is carried out using regression statistics and economically justified restrictions. Regression models for each indicator are complemented by adaptive model. Synthesis of the result is obtained as a moving average of the forecast. The proposed instrumental methods of analysis are recommended as analytical tools for business analysis for various purposes. Approbation of the proposed analytical forecasting tools according to official reporting data was carried out on a case study of estimating the cost of three large industrial enterprises of the sugar industry in the Volga Federal District. *Keywords:* company performance, instrumental analysis of technical and economic indicators, multiple time series regression, systems of simultaneous equations, forecasting key indicators based on grouped data, company valuation.

*JEL classification:* L25, C32, C53.

*For reference:* Piorunskiy I.D., Sumberg G.I., Mukhametzyanov I.Z. (2022). Key indicators of a complex economic system forecast. *Economics of Contemporary Russia*, no. 4 (99), pp. 49–62. DOI: 10.33293/1609-1442-2022-4(99)-49-62

*Manuscript received 18.06.2022*