

МОДЕЛЬ СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ РЕГИОНАЛЬНЫХ РЫНКОВ ЗЕРНА

Н.М. СВЕТЛОВ

(РАНХиГС)

Статья развивает методологию моделирования региональных рынков продукции полеводства (на примере рынков зерна). В работе предложено и апробировано новое сочетание модельных предположений, решающее проблему воспроизведения фактически наблюдаемой устойчивости поставок продукции потребителю в условиях использования преимущественно рыночных регуляторов. Разработана базовая модель функционирования рынка зерна, описывающая в непрерывном времени цепочку товародвижения от производителя до потребителя с учетом межрегиональных перевозок – прототип будущей модели, в которую предстоит включить рынки продукции переработки зерна и ввести возможность имитации инструментов экономической политики, после чего провести калибровку по фактическим данным. Модель опирается на принцип рыночного фундаментализма при моделировании объемов производства зерна, поставив их в исключительную зависимость от цен. Тот же принцип, но с ограничениями применен при моделировании экспорта и межрегиональных перевозок. Моделирование потребления сочетает противоположные принципы рыночного фундаментализма, которым руководствуются потребители, и рыночного скептицизма торговых посредников – контрагентов потребителей. Посредники, принимая решения об объемах поставок, пренебрегают ценами, руководствуясь размером и динамикой запасов зерна. В результате компьютерных экспериментов показано, что набор предположений, составляющий основу модели, обеспечивает при соответствующем подборе параметров необходимые динамические свойства модели: во всех регионах обеспечивается относительная стабильность потребления и цен в течение сезона, причем краткосрочные колебания внутренних цен эффективно направляют перевозки зерна в нуждающиеся регионы. Объемы экспорта зерна при этом слабо коррелируют с его внутренней ценой, что свойственно реальному российскому рынку зерна. Конечная цель исследования, одним из этапов которого явилась представленная в статье разработка, заключается в создании инструментальных средств анализа эффектов взаимодействия мер экономической политики, применяемых на разных участках цепей производства и переработки различных видов продукции полеводства на сроки, составляющие менее года.

Ключевые слова: зерно, имитационное моделирование, защита рынков, аграрная политика, экономическая политика, системная динамика, рыночный фундаментализм, рыночный скептицизм, компьютерный эксперимент.

Введение

В 2020 г. набор инструментов агропродовольственной политики, имеющихся в распоряжении правительств, впервые с начала «зеленой революции» прошел проверку экстремальным по масштабу и длительности шоком – пандемией COVID-19. В целом агропродовольственные системы: и глобальная, и российская – выдержали это

испытание, тревожные прогнозы снижения сельскохозяйственного производства [9] не оправдались. Тем не менее в России рост цен на продовольствие за 2020 г. (январь к январю) составил 7,01%, что существенно выше, чем в 2019 г. (2,00%)¹, вопреки контрмерам Правительства Российской Федерации. В их числе временные ограничения на рост внутренних цен отдельных видов продовольствия (сахар, подсолнечное масло), введение квот на экспорт пшеницы, ржи, ячменя и кукурузы, экспортной пошлины на семена подсолнечника, составившей 30% [5, 7].

По данным исследований [14, 4], можно заключить, что благодаря этим мерам возросшая ценовая нагрузка не оказалась непосильной для населения страны, а снижение показателей продовольственной независимости страны по молоку и мясу не представляется необратимым, но возник конфликт целей с федеральным проектом «Экспорт продукции АПК». На эту проблему обратил внимание В.В. Путин [8], раскритиковав стимулирование экспорта зерна в условиях, когда его мировые цены достаточно высоки, а последствия пандемии требуют защиты внутренних рынков.

На сегодняшний день еще нет научных ответов на вопросы о том, как складывалась бы ситуация в случае бездействия правительства, каков чистый эффект введенных им мер, какова цена коллизий между одновременно действующими инструментами регулирования рынков. Разработка методологии и инструментария для ответа на них определила содержание НИР по теме «Регулирование внешней торговли сельскохозяйственной продукцией и обеспечение стабильного функционирования внутреннего рынка в условиях шоков глобальной экономики», выполняемой в настоящее время Центром агропродовольственной политики РАНХиГС. Одна из задач НИР – разработка базовой имитационной модели для последующего создания на ее основе семейства моделей регулирования цепей производства и поставок продукции полеводства. Сопоставление с их помощью последствий одних и тех же внешних факторов при применении инструментов регулирования в различных сочетаниях позволит приблизиться к ответу на вопросы, сформулированные выше. Однако от них требуется способность отображать влияние на рынки со стороны инструментов госрегулирования, *вводимых на сроки, короче производственного цикла в полеводстве*, то есть неспособных воздействовать на объемы производства, если посевная кампания уже завершилась. В имеющейся научной литературе нет вполне разработанных подходов к построению таких моделей.

В статье представлен вклад в методологию моделирования системной динамики цепей производства и поставок продукции полеводства, внесенный в ходе выполнения вышеназванной НИР.

Объект исследования – система обыкновенных и дифференциальных уравнений, описывающая взаимосвязанные региональные цепи производства и поставок зерна. Эта система предлагается в качестве *базовой* для семейства моделей регулирования производственно-сбытовых цепей различной продукции полеводства. Под *базовой моделью* здесь понимается система уравнений, присутствующая в любом экземпляре семейства в оригинальном либо в более детальном представлении.

Предмет исследования – динамические свойства этой системы.

Цель исследования – проверка предположения о существовании (при подходящих значениях параметров) таких ее решений, при которых, вопреки сезонности производства, децентрализации решений о межрегиональных перевозках и экспорте,

¹ Рассчитано по данным: Индексы потребительских цен на продовольственные товары по Российской Федерации в 1991–2021 гг. / Росстат. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/zLqWvSr7/i_prod.xlsx (дата обращения: 21.02.2021).

обеспечивается устойчивое присутствие продукции (в данном случае – зерна) на внутренних рынках в течение всего сезона в объемах, близких к потребности.

Статья адресована специалистам, занимающимся разработкой математических моделей (прежде всего имитационных) вертикально интегрированных и (или) территориально дифференцированных рынков. В работе представлены сведения об обоснованных и апробированных автором подходах и приемах, способных преодолеть характерную для таких моделей проблему появления в динамике продуктовых балансов нереалистичных значений, в том числе нулевых и отрицательных, по причине наличия лагов (задержек) в контурах управления. Новизна этих подходов и приемов заключается:

1) в обоснованном применении принципов рыночного фундаментализма и рыночного скептицизма для моделирования объемов поставок на различных сегментах производственно-сбытовой цепи в условиях сезонности производства;

2) в подходе к моделированию причинно-следственных связей в условиях различия между ценовыми сигналами, поступающими в один и тот же момент разным участникам производственно-сбытовой цепи;

3) в разработке приема перенормировки цен, позволяющего вводить в модель системной динамики территориально распределенные рынки, связанные транспортными коммуникациями.

Степень изученности проблемы. Один из стандартных подходов к моделированию рынков, в том числе аграрных, – это моделирование частичного равновесия. Существует ряд прикладных моделей такого рода, созданных и поддерживаемых международными коллективами исследователей [6, 16, 20] и отечественными коллективами [10]. Характерной особенностью всех таких моделей является то, что они описывают годовые объемы спроса и предложения. Причина ее проста: если понимать под субъектом спроса население, нуждающееся в продовольствии, а под субъектом – предложения сельхозтоваропроизводителей, то среднегодовые цены, приведенные к воротам производителя, с приемлемой точностью балансируют именно суммарные годовые объемы спроса и предложения.

Однако производство зерна является сезонным, и на более коротких интервалах времени баланс спроса и предложения достигается на рынках, где сельхозтоваропроизводители не действуют. Агенты этих рынков – торговые посредники, формирующие и затем распродают запасы сельхозпродукции. Поэтому модели частичного равновесия на промежутках времени, которые короче года, возможны только для посреднических рынков зерна, где источником предложения выступает не производство, а сформированный запас. Такие модели обязательно должны быть динамическими, так как продавец решает задачу выбора объемов продаж в разные моменты. Но обоснование функции предложения для модели такого типа оказывается трудноразрешимой проблемой: она должна бы выводиться в конечном счете из задачи максимизации разности между выручкой продавца и стоимостью используемых им ресурсов (включая стоимость сформированного запаса зерна) с учетом дисконтирования, но для решения такой задачи гораздо более характерна одномоментная продажа всего запаса, чем равномерные продажи в течение года, наблюдаемые в реальности. Исходя из этого в случаях, когда исследовательские задачи предопределяют более короткий шаг модельного времени, нежели год, строгий равновесный подход к моделированию рынков зерна оказывается практически неосуществимым.

Обратимся к альтернативному подходу, пренебрегающему требованием равенства спроса и предложения по всей цепочке рынков, обеспечивающих товародвижение от производителя к конечным потребителям. Он предполагает, что некоторые звенья этой цепочки недоступны для наблюдения: они рассматриваются в качестве

«черных ящиков», на входе которых предложение одного агента, а на выходе – спрос другого агента, не имеющего деловых отношений с первым. Предложение одного из них не обязано быть равным спросу другого. Вместе с тем и спрос, и предложение каждого агента, представленного в модели, реагируют на цены, информация о которых ему доступна: рост цен на входе сокращает объем спроса (как результат отыскания ненаблюдаемого равновесия в сделке с агентом, имеющим неизвестную функцию предложения), а рост цен на выходе аналогичным образом наращивает объем предложения.

Построение математической модели рынков, в основу которой положен неравновесный подход, сталкивается со специфическими трудностями [17, 22, 24]. Обычный прием их преодоления – это размыкание во времени причинно-следственных связей между ценами и спросом (предложением). Одна из вышеприведенных публикаций [22] иллюстрирует его примерами с ценой капитала, то есть процентом по кредитам, и с ценой труда, то есть заработной платой. Оба примера восходят к идеям Дж. Форрестера [18]. Этот прием используется в исследовании, изложенном ниже.

К числу работ, заложивших для него основу, относятся, помимо упомянутых выше, исследования [12, 13], где представлены, во-первых, концептуальный облик системно-динамической модели рынка зерна России и подходы к модельному представлению госрегулирования; во-вторых, ретроспективная конечно-разностная модель [11, 23], воплотившая идею В.Я. Узуна об использовании эмпирических рядов ключевых переменных – объемов производства зерна, внутренних и мировых цен, чтобы обойти сложную проблему неравновесного ценообразования в условиях, когда производство и потребление не совпадают во времени. Два последних исследования преемственны в идейном отношении по отношению к более тщательно разработанным, но относятся к иным рынкам системно-динамическим моделям [19, 21].

Замысел модели системной динамики, воспроизводящей балансы зерна с годовым шагом времени, раскрывает работа [12], где предлагается использовать эмпирический факт низкой ценовой эластичности спроса на зерно по цене. Благодаря этому объем потребления принимается зависящим только от численности населения, и это не влечет существенной потери точности. По своей сути такая модель является равновесной, так как цена балансирует предложение со спросом, хотя последний от цены практически не зависит.

Модель, разработанная для задач, решаемых в трудах [11] и [23], имеет месячный шаг времени, что в силу вышеизложенных аргументов предопределяет ее принципиально неравновесный характер. Но поскольку она обращена в ретроспективу, появилась возможность использования в ней фактических цен и объемов производства. Это позволило «разрубить гордиев узел» причинно-следственных связей в условиях, когда потребитель и производитель получают неодинаковые ценовые сигналы.

Предположения базовой модели. В модели, обсуждаемой ниже, при *моделировании объемов производства* зерна используется гипотеза рыночного фундаментализма: предполагается, что единственным сигнальным механизмом, обуславливающим план, являются цены. Влияние всех остальных факторов, внешних по отношению к производителю, учитывается только посредством цен. Ввиду длительности и сезонности производства его объем в месяце t , приходящемся на период уборки урожая, реагирует на средневзвешенные цены региональных потребительских рынков и мирового рынка за период $[t - 24; t - 12]$. Зависимость от цен объемов предложения зерна со стороны сельхозтоваропроизводителей задается индивидуально для каждого календарного месяца уборочной кампании. За ее пределами производители не поставляют зерно на рынок.

Из аргументов предыдущего раздела можно сделать вывод о том, что ценовые сигналы, поступающие с рынка зерна, недостаточны для принятия решений об объемах его производства. Соглашаясь с этим доводом в принципе, отметим, что имеющиеся исследования рынков зерна – например [1], скорее отклоняют, чем подкрепляют предположение о том, что на практике на уровне конкретного участника рынка производство зерна планируется точнее, чем можно достичь путем реакции на ценовые сигналы.

Объем потребления и цены региональных рынков определяется в модели размером и динамикой запасов зерна в соответствующем регионе, то есть фактором предложения. Региональная кривая спроса предполагается инвариантом, а кривая предложения зерна со стороны торговых посредников (в явной форме не заданная) смещается вниз по мере расходования запасов. Потребитель при этом действует в рамках рыночного фундаментализма, отзываясь на ценовые сигналы. Посредник же определяет объем своих продаж с позиций рыночного скептицизма, ориентируясь не на цены, а на товарные запасы. Этот неконкурентный фактор объясняется тем, что нехватка емкостей хранения или, наоборот, исчерпание запасов ведут к неприемлемым потерям для посредников.

Моделирование *межрегиональных перевозок и экспорта* опирается на гипотезу ограниченного рыночного фундаментализма. Внешнеторговые цены полностью определяют объем продаж лишь в границах, определяемых снизу дефицитом емкости элеваторов, а сверху – требованиями национальной продовольственной безопасности. За указанные границы объемы экспорта не выходят ни при каких ценах. Основанием для этой предпосылки стал результат, представленный в работе [15], где объем российского экспорта зерна определяется преимущественно объемом его производства. Такое положение дел естественно для ситуации, когда объем экспорта часто оказывается либо на верхней, либо на нижней границах интервала, определяемого парой вышеназванных факторов.

Межрегиональные перевозки также зависят только от цен, но при условии, что в каждом регионе от вывоза защищена некоторая доля запасов, пропорциональная потребности его населения в зерне на период до следующей уборочной. Предусмотрена возможность контролировать (или калибровать) степень совершенства рынка при моделировании перевозок. При совершенном рынке весь товарный поток, разрешенный к перевозке, следует по направлению, по которому маржа, то есть разница между ценой на целевом рынке и затратами на перевозку, максимальна. При несовершенном рынке некоторая (регулируемая соответствующим параметром) часть продукции направляется по другим каналам, и эта часть тем больше, чем меньше разница в марже между наиболее выгодным и альтернативным каналами.

Региональная потребность понимается в модели как суммарная потребность в продовольственном и кормовом зерне. Благодаря такому упрощению базовую модель можно будет развить либо в направлении дезагрегирования по видам и классам зерна, либо путем дополнения модели разными направлениями использования и способами переработки зерна как агрегированной товарной группы. Первый вариант окажется непригодным к калибровке по причине отсутствия статистики зерновых балансов с нужной детализацией, но позволит делать выводы качественного характера о последствиях применения инструментов госрегулирования, дифференцированных по видам и классам зерна. Второй вариант благодаря тому, что его калибровка представляется в принципе возможной, позволит давать не только качественные, но и количественные оценки, но без привязки моделируемых инструментов к отдельным видам или классам зерна.

Уравнения базовой модели приведены в приложении.

Методика исследования свойств базовой модели. Исследование нацелено на проверку предположения, согласно которому базовая модель обладает следующим свойством: существует непустое множество векторов ее параметров, при которых воспроизводимая ею динамика межрегиональных перевозок и экспорта уподобляется реальной динамике рынков зерна в том отношении, что, несмотря на сезонность производства и отсутствие единого центра принятия решений, уровень потребления зерна в течение всего сезона поддерживается на достаточно стабильных уровнях, близких к целевым (определяемым потребностью).

Моделям частичного равновесия при неэластичном спросе указанное свойство имманентно, однако в нашем случае, как показано выше, равновесный подход неприемлем. Как следствие, по отношению к базовой модели это свойство оказывается гипотезой, требующей проверки. В условиях неравновесного подхода и наличия задержек в контурах саморегулирования моделируемой системы неэластичность потребления может быть гарантирована лишь до тех пор, пока производство, перевозки и запасы обеспечивают наличие на рынке достаточного количества зерна. Заранее неизвестно, выполняет ли это условие модель, основанная на неравновесном подходе.

Из прагматических соображений определим, что под близостью потребления к целевому уровню понимается отклонение среднегодового потребления от потребности в границах $\pm 10\%$ при условии, что ни в одном месяце оно не падает ниже 80% от потребности. Дополнительно примем, что эти требования должны выполняться при значительной вариации внешнеторговых цен: из числа проведенных экспериментов выберем те, в которых коэффициент их вариации (измеренный с шагом в один месяц) составляет не менее $0,2$.

Исследование проводится методом компьютерного эксперимента для случая пяти регионов на интервале времени длительностью 121 месяц. Экспериментально подобраны параметры модели с целью отыскать такой вариант динамики, при котором объемы потребления зерна в каждом из регионов и вариация внешнеторговых цен отвечают указанным условиям.

Результаты и обсуждение

В исследуемом сценарии² приняты целевые уровни потребления, представленные в первой строке таблицы 1. В последующих строках представлены данные о размахе вариации потребления зерна в пяти условных регионах. Эти данные находятся (со значительным запасом) в границах, определённых в предыдущем разделе статьи. Коэффициент вариации сценарной динамики внешнеторговых цен составляет $0,277$, что также соответствует сформулированному там требованию. Воспроизведенная моделью динамика потребления приведена на рисунке 1.

Рисунок 2 отражает динамику объемов производства зерна, воспроизводимую моделью: суммарные годовые объемы по пяти регионам (верхний график) и месячные на примере региона 1 (нижний график). Незначительные различия в годовых объемах производства являются реакцией на ценовые сигналы, а месячное распределение годовых объемов производства задается экзогенно параметрами α_m (прил.).

² Значения параметров, соответствующие данному сценарию, представлены в программном коде базовой модели, доступном для загрузки из сети Интернет (URL: <http://svetlov.timacad.ru/sci1/m2.zip>). Код можно использовать как для постановки компьютерных экспериментов в программе VenSim Pro, так и для просмотра в текстовом редакторе (в формате UTF-8). Программный код может свободно использоваться при условии, что результаты, полученные с его использованием в исходном либо измененном виде, будут опубликованы со ссылкой на данную статью.

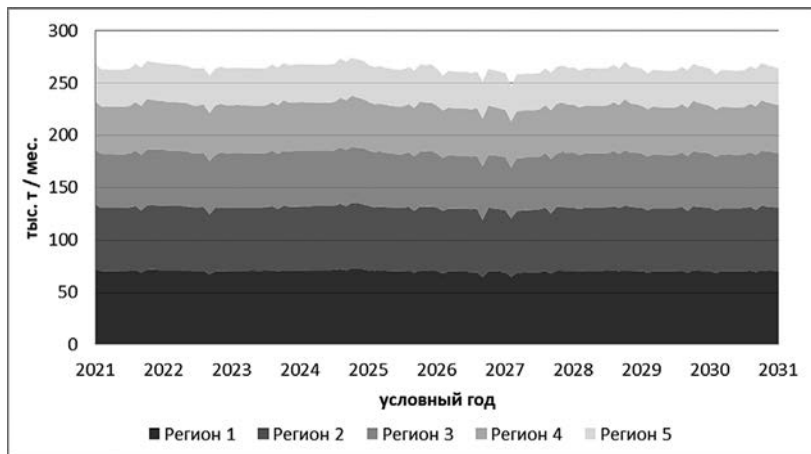


Рис. 1. Динамика потребления зерна в региональном разрезе по результатам компьютерного эксперимента

Таблица 1

Сравнение уровней потребления зерна с целевыми по результатам компьютерного эксперимента

Показатель	Регион 1	Регион 2	Регион 3	Регион 4	Регион 5
Целевой уровень потребления, тыс. т/мес.	70,00	60,00	50,50	45,00	35,00
Минимальный уровень потребления за месяц, тыс. т	64,50 (-7,86)	54,46 (-9,23)	48,61 (-3,74)	44,05 (-2,12)	33,07 (-5,50)
Максимальный уровень потребления за месяц, тыс. т	73,09 (13,31)	62,32 (14,44)	54,18 (11,46)	48,84 (10,88)	37,33 (12,88)
Минимальный среднегодовой уровень потребления, тыс. т/мес.	69,16 (-1,20)	59,45 (-0,92)	50,54 (0,07)	45,49 (1,10)	34,84 (-0,46)
Максимальный среднегодовой уровень потребления, тыс. т/мес.	71,73 (3,71)	61,39 (3,27)	53,09 (5,06)	46,73 (2,70)	36,17 (3,83)

Примечание. В скобках приведены отклонения показателей от целевого уровня (в процентах).

Условия проведенного компьютерного эксперимента предполагают, что экспорт зерна возможен лишь через регионы, располагающие портами. Предполагается, что таковыми являются регионы с нечетными номерами. Годовые объемы экспорта – как суммарные, так и через границу каждого региона – коррелируют с мировыми ценами, что показано на рисунке 3. Коэффициент парной корреляции годовых объемов экспорта со среднегодовыми внешнеторговыми ценами в целом по экономике составляет 0,482, 0,359 в регионе 1; 0,542 в регионе 3; 0,217 в регионе 5. Десятилетняя динамика не подтверждает статистическую значимость ни одного из этих коэффициентов при $\alpha = 0,05$.

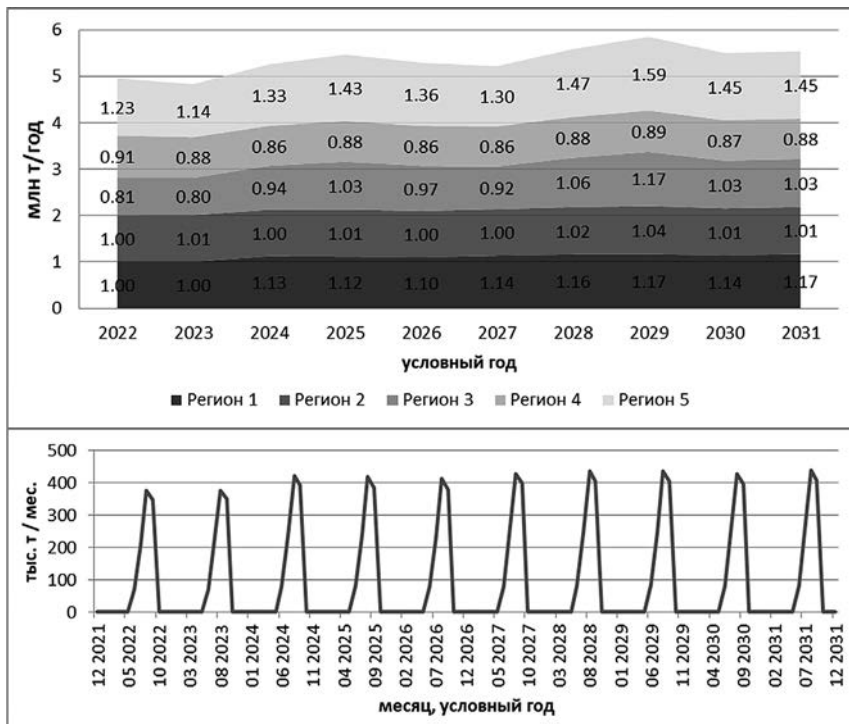


Рис. 2. Производство зерна по результатам компьютерного эксперимента: верхний график – годовое в региональном разрезе; нижний график – помесечное в регионе 1

Графики на рисунке 4 отражают динамику запасов зерна в разрезе регионов. Наименьший относительный остаток после потерь, экспорта и потребления наблюдается в регионе 3 в июле 2027 условного года. Он составляет всего 0,5 тыс. т, или 0,14% к среднему за 10 лет остатку в данном регионе. Как показали эксперименты с другими сценарными условиями, модель не дает гарантии того, что закрома не опустеют. Если пренебречь импортом (который в базовой модели

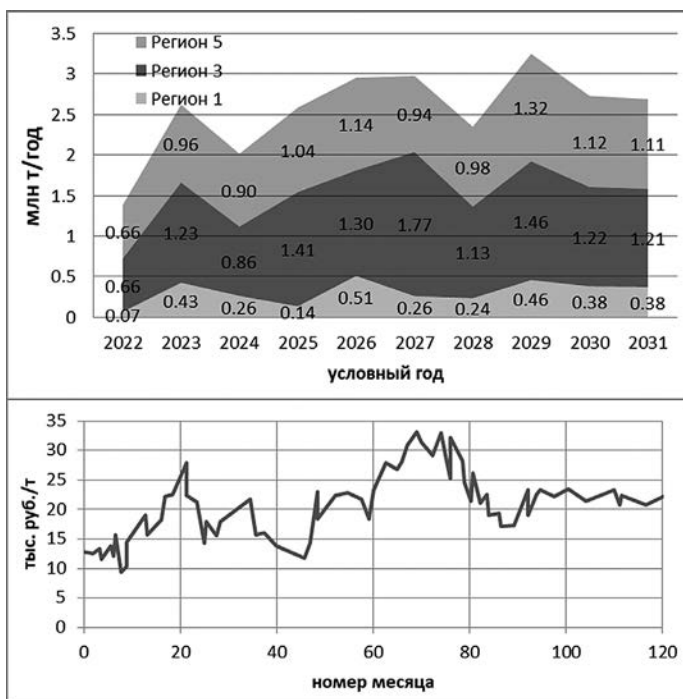


Рис. 3. Годовой экспорт зерна в региональном разрезе (верхний график) при заданных ценах зерна на границе (нижний график)

не предусмотрен), то такой гарантии не дает и реальный рынок зерна. Принципиальное значение для успеха модели имеет то обстоятельство, что воспроизводимые ею межрегиональные перевозки распределяют даже весьма малые суммарные запасы зерна (в июле 2027 г. они составляют 170 тыс. т) между регионами. Так что ни в одном из них они не исчерпываются, хотя в трех сокращаются до размеров, не превосходящих 1 тыс. т.

Рисунок 5 отображает динамику цен зерна на региональных рынках. Она коррелирует с мировой динамикой: соответствующие коэффициенты корреляции лежат в интервале от 0,315 в регионе 4 до 0,718 в регионе 3. Все они статистически значимы при $\alpha = 0,05$. Корреляции региональных цен с запасами зерна (как без вычета потерь, экспорта и потребления, так и с их вычетом) отрицательны и статистически значимы, хотя довольно слабы: шесть коэффициентов корреляции из десяти лежат в интервале $-0,377...-0,243$.

Рисунок 6 дает наглядное представление о межрегиональных перевозках зерна. Итоговые строки по регионам с четными номерами (не имеющим возможности экспорта через свои границы) отражают разницу между производством и внутренним потреблением, по остальным регионам разницу между производством, с одной стороны, потреблением и экспортом – с другой.

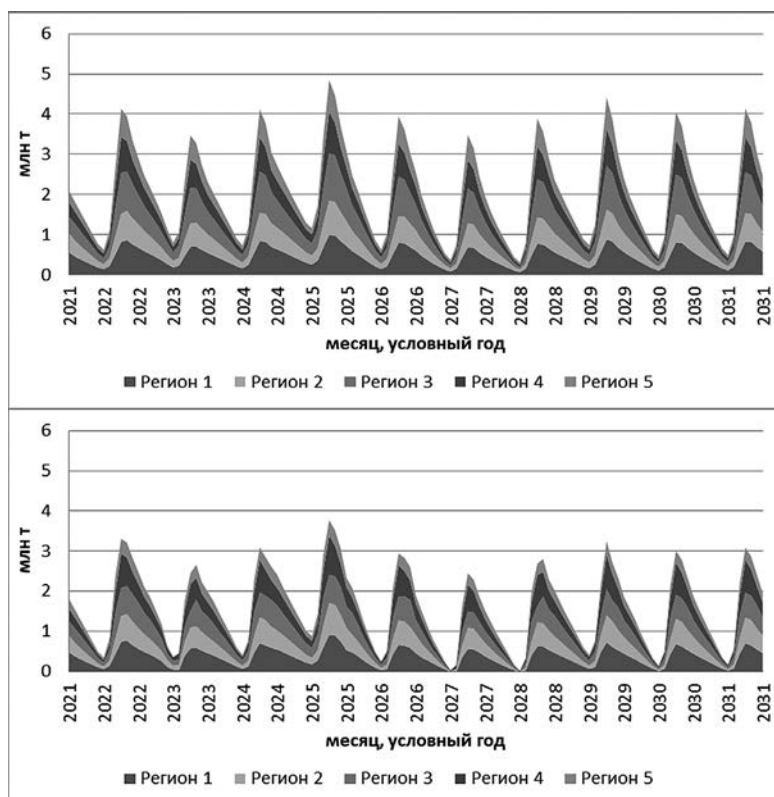


Рис. 4. Динамика запасов зерна в региональном разрезе по результатам компьютерного эксперимента: верхний график – до вычета потерь, экспорта и потребления; нижний график – после вычета

В ходе компьютерных экспериментов, нацеленных на отыскание наилучшего варианта базовой модели, выяснилось, что шаг численного интегрирования модели

должен быть достаточно малым, иначе накапливающаяся ошибка интегрирования неприемлемо возрастает, а динамика потребления и запасов теряет устойчивость и не поддается интерпретации. Вышеприведенные результаты получены при десяти шагах интегрирования на месяц. При одном шаге результатам решения модели нельзя доверять. Максимально приемлемая длительность шага интегрирования устанавливается экспериментально и зависит от значений параметров модели.

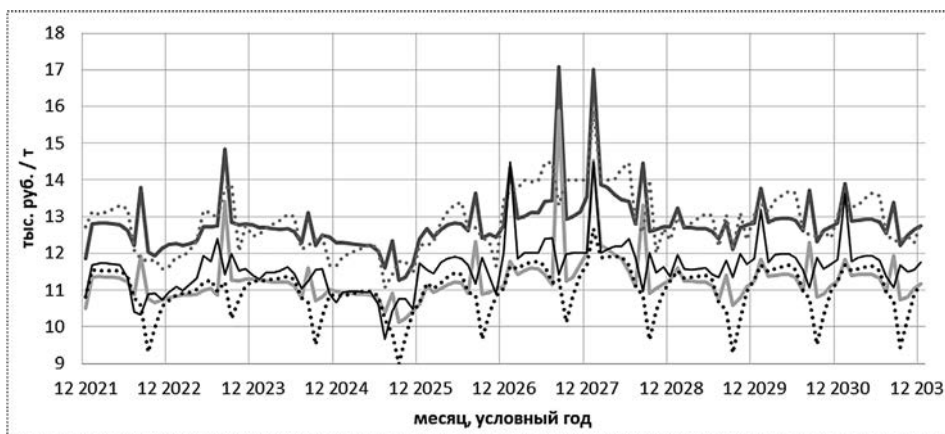


Рис. 5. Сценарная динамика цен зерна на региональных рынках

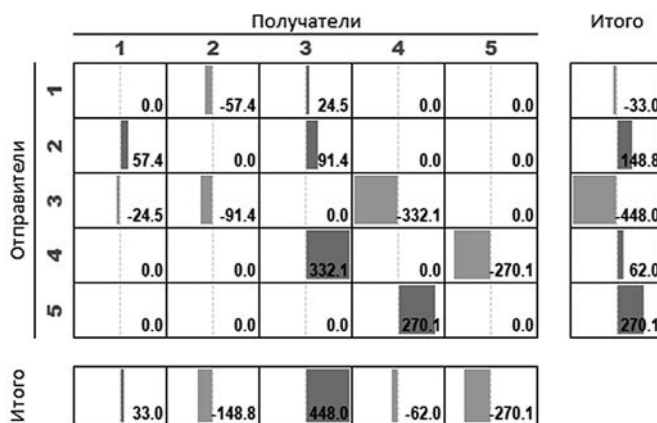


Рис. 6. Диаграмма годовых чистых транспортных потоков (на примере 2023 г.), тыс. т

Динамика, генерируемая разработанным вариантом модели, воспроизводит характерное свойство российского рынка зерна [2], то есть отсутствие статистически значимой отрицательной связи между объемом экспорта и внутренней ценой. В отношении среднегодовых цен и годовых объемов это подтвердилось для всех трех регионов, для цен и экспортных потоков на конец месяца – для двух регионов из трех (кроме региона 5, где коэффициент корреляции составил $-0,842$). В регионе 1 корреляция оказалась положительной ($0,218$) и статистически значимой (p -значение составило $0,017$). Корреляция помесечных внутренних и пограничных цен, воспроизведенная моделью, оказывается теснее в приграничных регионах, что соответствует результатам, отраженным в работе [3]. В среднегодовых ценах эта закономерность не прослеживается.

Выводы

Исследование подтвердило существование таких решений базовой модели рынков зерна, при которых обеспечиваются его устойчивые поставки на внутренние рынки в объемах, близких к потребностям населения, на протяжении всего сезона. Найден способ взаимного согласования динамик производства, запасов, экспорта, межрегиональных перевозок и потребления.

Итогом исследований стало существенное продвижение в моделировании системной динамики региональных рынков зерна, связанных транспортными коммуникациями. Решен вопрос о выборе такого набора предположений и таких функциональных форм уравнений, при которых воспроизводимая моделью динамика воспроизводит устойчивость и равномерность поставок в течение года, характерную для реальной динамики. После решения этого принципиального вопроса можно переводить разработку моделей системной динамики региональных рынков зерна в практическую плоскость, основывая на таких моделях инструментарий анализа регулирующих мер политики, вводимых на краткие периоды и действующих на отдельных звеньях цепи производства и поставок.

В базовую модель еще не введены инструменты регулирования рынков. Это будет сделано на предстоящем этапе разработки, уже после дополнения модели описаниями рынков продукции мукомольной, крупяной и комбикормовой промышленности. Калибровка по реальным данным последует после выполнения вышеуказанных работ. Как показывают результаты завершеного этапа исследований, предметом калибровки могут (и должны) стать не только параметры, выражающие степень влияния тех или иных факторов на результаты, но также длительность используемых в модели лагов. Возможно, при калибровке потребуются ввести лаги в действие тех факторов, для которых в существующем прототипе отложенное действие не предусматривается.

Библиографический список

1. Алтухов А.И. Пространственная организация зернового производства в стране – основа его развития // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 6. – С. 64–75.
2. Бородин К.Г. Некоторые теоретические и прикладные подходы к оценке влияния экспорта на внутренний рынок (на примере рынка пшеницы) // Никоневские чтения. – 2017. – № 22. – С. 12–15.
3. Влияние экспорта на сельхозпроизводителей и потребителей в России / Н.М. Светлов, Д.С. Терновский, В.Я. Узун и др. – М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2020. – 76 с.
4. Воробьева В.В. Проблемы обеспечения продовольственной безопасности России в условиях пандемии / В.В. Воробьева, С.П. Воробьев, О.В. Титова // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2020. – № 9–1. – С. 31–36.
5. Мишустин подписал постановления для стабилизации цен на продукты // Ведомости. 15.12.2020 10:42. – URL: <https://www.vedomosti.ru/economics/news/2020/12/15/850980-postanovleniya-dlya-stabilizatsii-tsen-na-produkti> (дата обращения: 31.03.2021).
6. Прокопьев М.Г. Классификация и математические аспекты разработки моделей частичного равновесия // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2015. – № 6. – С. 88–95; № 7. – С. 83–91.

7. Предельные цены на продукты установят по новым правилам. Что важно знать // РБК. 14.12.2020 22:39. – URL: <https://www.rbc.ru/business/14/12/2020/5fd756109a7947b351075029> (дата обращения: 31.03.2021).
8. Путин раскритиковал субсидирование экспорта зерна при росте мировых цен // РБК: Экономика. 14.02.2021 02:15. – URL: <https://www.rbc.ru/rbcfree-news/60285ac19a7947356d7a00f5> (дата обращения: 18.02.2021).
9. Пять шоков от коронавируса: что ждет экономику России после пандемии // Deutsche Welle. 08.04.2020. – URL: <https://p.dw.com/p/3acZY> (дата обращения: 31.03.2021).
10. *Светлов Н.М.* Непараметрическая граница производственных возможностей в вычислимой модели частичного равновесия // Экономика и математические методы. – 2019. – № 4. – С. 104–116.
11. *Светлов Н.М.* Результативность закупочных и товарных интервенций на рынке зерна // Продовольственная безопасность Республики Беларусь в современных условиях: Материалы Первого Всебелорусского форума (Минск, 12 октября 2016 г.) / Под ред. В.Г. Гусакова, А.П. Шпака. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2016. – С. 271–275.
12. *Светлова Г.Н.* Методология моделирования национального рынка зерна // Вестник КГУ имени Н.А. Некрасова. – 2012. – № 6. – С. 212–217.
13. *Светлова Г.Н.* Рынок зерна РФ: инструменты госрегулирования / Г.Н. Светлова, Н.М. Светлов // Системное моделирование социально-экономических процессов: Труды 39 Международной научной школы-семинара / Под ред. В.Г. Гребенникова, И.Н. Щепиной. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2016. – С. 178–181.
14. *Терновский Д.С.* Сельское хозяйство в период пандемии / Д.С. Терновский, Н.И. Шагайда // Экономическое развитие России. – 2021. – № 1. – С. 24–28.
15. *Узун В. и др.* Совершенствование механизмов государственного регулирования российского рынка зерна // РАНХиГС. – М., 2017. – URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2982309 (дата обращения: 09.03.2021).
16. *Erjavec E.* Policy assessment of an EU wide flat area CAP payments system / E. Erjavec, F. Chantreuil, K. Hanrahan, T. Donnellan, G. Salputra, M. Kožar, M. van Leeuwen // Economic Modelling. – 2011. – № 4. – P. 1550–1558.
17. *Fair R.C.* Methods of Estimation for Markets in Disequilibrium / R.C. Fair, D.M. Jaffee // Econometrica. – 1972. – № 3. – P. 497–514.
18. *Forrester J.* Business Structure, Economic Cycles, and National Policy // Futures. – 1976. – № 8. – P. 195–214.
19. *Gyu Rim Kim.* Analysis of Global Food Market and Food-Energy Price Links – Based on System Dynamics Approach / Hankuk Academy of Foreign Studies, Korea. – 2010. – 18 p.
20. *Lesschen J.P. et al.* Scenariostudie Perspectief Voor Ontwikkel-richtingen Nederlandse Landbouw in 2050 (Scenario Study on Future Pathways for Dutch Agriculture in 2050). – 2020. – 2984 p.
21. *Osorio F.A.* A system dynamics model for the world coffee market / F.A. Osorio, S.A. Aramburo. – National University of Colombia, Medellin. – 2009. – 21 p.
22. *Sterman J.D.* An integrated theory of the economic long wave: / WP-1563–84; Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, MA, USA, 1984. – 46 p.
23. *Svetlov N.M.* How to withstand uncertainty in Russian wheat market // Известия ТСХА. – 2016. – № 6. – С. 108–129.
24. *Upcher M.R.* Theory and applications of disequilibrium econometrics: PhD thesis // Australian National Univ. – 1980. – 220 p.

Математическое представление модели

Множества и индексы:

\mathbf{R}_+^∞ – множество неотрицательных действительных чисел;

$\mathbb{R}_+^\infty = \mathbf{R}_+^\infty \setminus \{0\}$;

R – дискретное множество регионов; $r \in R, s \in R$;

$B \subseteq R$ – множество пограничных регионов, из которых зерно может быть отправлено на экспорт; $b \in B$;

$(T \subset \mathbf{R}^+)$ – непрерывное множество моментов времени; $t \in T$;

M – множество месяцев календарного года; $m \in M$;

$T_m \subset T$ – кусочно-непрерывное замкнутое множество всех периодов времени, относящихся к календарному месяцу m любого года; $\tau \in T_m$.

Искомые функции:

$x_{1r}(t) \in \mathbf{R}_+$ (или $x_{1r}(\tau)$) – объем производства в регионе r в момент t , т/мес.;

$x_{2rs}(t) \in \mathbf{R}_+$ – объем поставок из региона r в регион s в момент t , т/мес.;

$x_{3b}(t) \in \mathbf{R}_+$ (или $x_{3r}(t), x_{3s}(t)$) – объем экспорта из пограничного региона b в момент t , т/мес.;

$x_{4b}(t) \in \mathbf{R}_+$ (или $x_{4b}(\tau)$) – предельный объем экспорта из пограничного региона b в момент t , обусловленный требованиями продовольственной безопасности т/мес.;

$x_{5b}(t) \in \mathbf{R}_+$ – объем экспорта из пограничного региона b в момент t , вынужденного недостаточной емкостью зернохранилищ, т/мес.;

$x_{6s}(t) \in \mathbf{R}_+$ – выручка от потребления и экспорта, получаемая в регионе r в момент t , тыс. руб/мес.;

$x_{7r}(t) \in \mathbf{R}_+$ (или $x_{7s}(t)$) – объем потребления в регионе r в момент t , т/мес.;

$l_{1s}(t) \in \mathbf{R}_+$ – запас в зернохранилищах региона s в момент t , т;

$l_{2s}(t) \in \mathbf{R}_+$ (или $l_{2r}(t)$) – запас региона s в обороте в момент t за вычетом потерь при хранении, т/мес.;

$l_{3s}(t) \in \mathbf{R}_+$ (или $l_{3r}(t)$) – запас региона s в обороте в момент t за вычетом потерь и экспорта, т/мес.;

$l_{4s}(t) \in \mathbf{R}_+$ – запас региона s в обороте в момент t за вычетом потерь при хранении, экспорта и внутреннего потребления, т/мес.;

$l_{5s}(t) \in \mathbf{R}_+$ – накопленное расходование зерна в регионе s к моменту t , т/мес.;

$l_{6s}(t) \in \mathbf{R}_+$ – накопленная выручка от потребления и экспорта, полученная в регионе s к моменту t , т;

$p_{1r}(t) \in \mathbf{R}_+$ – цена на внутреннем оптовом рынке региона r в момент t , тыс. руб/т;

$p_{2s}(t) \in \mathbf{R}_+$ (или $p_{2r}(\tau)$) – альтернативная стоимость, определяющая решения производителей региона r в момент t , тыс. руб/т;

$p_{3rs}(t) \in \mathbf{R}_+$ (или $p_{3rz}(t)$) – цена продукции на внутреннем рынке региона s за вычетом стоимости перевозок из региона r в регион s (на момент t);

$p_{4rs}(t) \in [0; 1]$ – безразмерная мера экономического стимула к перевозке продукции из региона r в регион s в момент t .

Параметры:

$\alpha_{rm} \in \mathbf{R}_+$ – темп производства в регионе r в месяце m при базовой цене, т/мес.;

$\beta_{rm} \in \mathbf{R}_+$ – необходимый уровень запаса в регионе r в месяце m , доли к базовому уровню потребления;

$\gamma \in [0;1]$ – норма выбытия вследствие потерь при хранении, доли к запасу;

$\delta \in \mathbf{R}_+$ – безразмерный параметр совершенства рынка: чем выше, тем ближе рынок к идеальному, когда продукция перевозится только по одному, наиболее выгодному направлению. При $\delta = 1$ перевозки распределяются пропорционально альтернативной стоимости перевозок, при $\delta = 0$ – равными долями по всем направлениям с ненулевой альтернативной стоимостью перевозок;

$\zeta_r \in \mathbf{R}_+$ – базовый уровень потребления в регионе r , т/мес.;

$\eta_r \in \mathbf{R}_+$ – емкость зернохранилищ в регионе r , т;

$\theta \in \mathbb{R}_+$ – коэффициент максимально возможного роста цены к базовому уровню π_r ;

$\pi_r \in \mathbf{R}_+$ – базовая цена в регионе r , руб/т;

$\rho_r \in \mathbf{R}_+$ – коэффициент защиты потребления зерна в регионе r ;

$\varphi \in (0;1]$ – коэффициент, задающий максимальную долю потребления от остатка на складе;

$\chi_r \in \mathbb{R}_+$ – коэффициент чувствительности потребления зерна в регионе r к обеспеченности запасами;

$e_{0r} \in \mathbb{R}_+$ – приоритет внутреннего потребления перед экспортом в регионе r ;

$e_{1r} \in \mathbb{R}_+$ – эластичность спроса по цене в регионе r ;

$e_{2r} \in \mathbb{R}_+$ – эластичность предложения по цене в регионе r .

Экзогенные функции:

$f_0(t)$ – динамика цены FOB³, руб/т;

$f_{1r} \left(\frac{l_{3st}}{\eta_r} \right)$ – зависимость прироста потребления от уровня запаса, доли;

$f_{2r} \left(\frac{l_{3st} - l_{3st-1}}{l_{3st}} \right)$ – зависимость прироста потребления от темпа прироста запасов.

$c_{rs}(x_{2rst})$ – затраты на перевозку из региона r в регион s , руб/т

Требования к экзогенным функциям:

$f_0(t)$ определена на множестве T и положительна на области определения;

$f_{1r} \left(\frac{l_{3st}}{\eta_r} \right)$ определены на интервале $[0;1]$, положительны и возрастают на области определения;

$f_{2r} \left(\frac{l_{3st} - l_{3st-1}}{l_{3st}} \right)$ определены на интервале $(-\infty;1]$, положительны и возрастают на области определения;

$c_{rs}(x_{2rst})$ определены на интервале $[0;\infty)$, неотрицательны, не убывают на области определения.

Уравнения

$$\text{Производство: } \quad r(\tau) = \alpha_{rm} \cdot \left(\frac{()}{()} \right) .$$

$$\text{Перевозки: } \quad x_{2rs}(\tau) = (x_{1r}(\tau) + l_{4s}(\tau) - \rho_r \cdot \zeta_r \cdot \beta_{rm}) \cdot p_{4rs}(\tau) + \begin{cases} \rho_r \cdot \zeta_r \cdot \beta_{rm}, & \text{если } r = s \\ 0 & \text{иначе} \end{cases} .$$

³ Цена FOB принимается одинаковой для всех регионов по причине ненадежности доступных исходных данных в региональном разрезе: таможня одного региона может оформлять продукцию, отправляемую через границу другого (примеч. авт.).

Экспорт:

$$x_{3b}(t) = x_{5b}(t) + (x_{4b}(t) - x_{5b}(t)) \cdot \min \left[\max \left\{ \begin{array}{l} \left\{ \frac{f_0(t)}{p_{1r}(t-1)}, \text{ если } p_{1r}(t-1) \neq 0, \right. \\ 2 \text{ иначе} \\ 0 \end{array} \right. \right]^{e_{0r}} \cdot 1.$$

Предельный объём экспорта: $x_{4b}(\tau) = \max \left\{ \begin{array}{l} l_{2r}(\tau) - \zeta_r \cdot \beta_{rm} \\ 0 \end{array} \right.$

Вынужденный экспорт: $x_{5b}(t) = \max \left\{ \begin{array}{l} l_{2r}(t) - \eta_r \\ 0 \end{array} \right.$

Сумма выручки от потребления и экспорта:

$$x_{6r}(t) = x_{7r}(t) \cdot p_{1r}(t) + \left\{ \begin{array}{l} x_{3r}(t) \cdot f_0(t), \text{ если } r \in B, \\ 0 \text{ иначе} \end{array} \right.$$

Потребление: $x_{7r}(t) = \min \left\{ \begin{array}{l} \varphi \cdot l_{3r}(t) \\ \zeta_r \cdot f_1 \left(\frac{l_{3r}(t)}{\eta_r} \right) + \left\{ \begin{array}{l} f_2 \left(\frac{l_{3r}(t) - l_{3r}(t-1)}{l_{3r}(t)} \right), \text{ если } l_{3r}(t) \neq 0, \\ 0 \text{ иначе} \end{array} \right. \end{array} \right.$

Запас в зернохранилище: $\frac{dl_{1s}(t)}{dt} = \sum_r x_{2rs}(t) + l_{4s}(t) - l_{2s}(t)$.

Запасы в обороте: $l_{2s}(t) = l_{1s}(t) \cdot (1 - \gamma)$; $l_{3s}(t) = l_{2s}(t) - \left\{ \begin{array}{l} x_{3s}(t), \text{ если } s \in B, \\ 0 \text{ иначе} \end{array} \right.$;

$$l_{4s}(t) = l_{3s}(t) - x_{7s}(t).$$

Накопленное расходование зерна: $\frac{dl_{5s}(t)}{dt} = \left(\sum_r x_{7rs}(t) \right) + \left\{ \begin{array}{l} x_{3r}(t), \text{ если } r \in B, \\ 0 \text{ иначе} \end{array} \right.$

Накопленная выручка от потребления и экспорта: $\frac{dl_{6s}(t)}{dt} = x_{6s}(t)$.

Цена на внутреннем оптовом рынке: $p_{1r}(t) = \min \left\{ \begin{array}{l} \pi_r \cdot \left(\frac{x_{7r}(t)}{\zeta_r} \right)^{\left(\frac{1}{e_{1r}} \right)} \\ \theta \cdot \pi_r \end{array} \right.$

Альтернативная стоимость, определяющая решения производителей:

$$p_{2s}(t) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{l_{6s}(t-12) - l_{6s}(t-24)}{l_{5s}(t-12) - l_{5s}(t-24)}, \text{ если } l_{5s}(t-12) - l_{5s}(t-24) \neq 0, \\ 0 \text{ иначе} \end{array} \right.$$

Цена без затрат на ввоз: $p_{3rs}(t) = \max \begin{cases} p_{1r}(t-1) - c_{rs} \\ 0 \end{cases}$

Нормированная мера стимула к перевозке по направлению из r
 в s : $p_{4rs}(t) = \begin{cases} \frac{q_{rs}(t)}{\sum_{z \in S} q_{rz}(t)}, & \text{если } \sum_{z \in S} q_{rz}(t) > 0, \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}$,

где

$$q_{rs}(t) = \begin{cases} \left(\frac{p_{3rs}(t)}{\max_{z \in S} p_{3rz}(t)} \right)^\delta, & \text{если } \delta \neq 0, \\ \left[\begin{cases} 1, & \text{если } p_{3rs}(t) > 0, \\ 0 & \text{иначе} \end{cases} \right] & \text{иначе} \end{cases}, \text{ если } \max_{z \in S} p_{3rz}(t) \neq 0,$$

$$q_{rz}(t) = q_{rs}(t) \text{ при } z = s.$$

SYSTEM DYNAMICS MODEL OF REGIONAL GRAIN MARKETS

N.M. SVETLOV

(RANEPА)

The paper develops a methodology for modeling regional markets for field crops, taking grain markets as a case. It proposes and tests a new combination of model assumptions that solves the problem of reproducing the actually observed stability of product supply to the consumer in the context of predominantly market regulators. A basic model of the grain market functioning is developed, describing in continuous time the chain of commodity flows linking producers and consumers. Interregional transportation is taken into account. This is a prototype of a future model, which should be calibrated on actual data and include markets for grain processing products, as well as the possibility of simulating economic policy instruments. The model is based on the principle of market fundamentalism when modeling the volume of grain production, setting them in a sole dependence on prices. The same principle, yet with reservations, is applied in the modeling of exports and interregional transportation. Consumption modeling combines opposing principles of market fundamentalism, which guides consumers, and market skepticism of resellers – counterparties of consumers. Resellers, when deciding on the volume of supplies, neglect prices – they are guided by the size and dynamics of grain stock. As a result of computer simulations, it is shown that a set of assumptions underlying the model provides, with an appropriate selection of parameters, the necessary dynamic properties of the model: in all regions, the relative stability of consumption and prices during the season is secured, and short-term fluctuations in domestic prices effectively direct grain transportation to regions in need. Moreover, the volume of grain exports weakly correlates with domestic price of grain, which is typical for the real Russian grain market. The ultimate aim of the study, one of the stages of which is the algorithm presented in the paper, is to create tools for analyzing the interaction effects of the economic policy measures applied in different sections of the production and processing chains of various types of field crops for periods shorter than a year.

Key words: grain, simulation, market protection, agricultural policy, economic policy, system dynamics, market fundamentalism, market skepticism, computer experiment.

References

1. *Altukhov A.I.* Prostranstvennaya organizatsiya zernovogo proizvodstva v strane – osnova ego razvitiya [Spatial organization of grain production in the country as the basis for its development]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii.* 2020; 6: 64–75. (In Rus.)
2. *Borodin K.G.* Nekotorye teoreticheskie i prikladnye podkhody k otsenke vliyaniya eksporta na vnutrenniy rynek (na primere rynka pshenitsy) [Some theoretical and applied approaches to assessing the impact of exports on the domestic market (as exemplified by the wheat market) [Spatial organization of grain production in the country as the basis for its development]]. *Nikonovskie chteniya.* 2017; 22: 12–15. (In Rus.)
3. Vliyanie eksporta na sel'khozproizvoditeley i potrebiteley v Rossii [Effect of exports on agricultural producers and consumers in Russia]. N.M. Svetlov, D.S. Ternovskiy, V.Ya. Uzun et al. Moscow: Delo pulb. RANEPa, 2020: 76. (In Rus.)
4. *Vorob'eva V.V., Vorob'ev S.P., Titova O.V.* Problemy obespecheniya prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossii v usloviyakh pandemii [Problems of ensuring food security in Russia in the pandemic period]. *Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava.* 2020; 9–1: 31–36. (In Rus.)
5. Mishustin podpisal postanovleniya dlya stabilizatsii tsen na produkty [Mishustin signed a resolution to stabilize food prices]. *Vedomosti.* December 15, 2020 10:42. URL: <https://www.vedomosti.ru/economics/news/2020/12/15/850980-postanovleniya-dlya-stabilizatsii-tsen-na-produkti> (In Rus.)
6. *Prokop'ev M.G.* Klassifikatsiya i matematicheskie aspekty razrabotki modeley chastichnogo ravnovesiya [Classification and mathematical aspects of the development of partial equilibrium models]. *Regional'nye problemy preobrazovaniya ekonomiki.* 2015; 6: 88–95; 7: 83–91. (In Rus.)
7. Predel'nye tseny na produkty ustanovyat po novym pravilam. Chto vazhno znat' [Maximum prices for products will be set according to the new rules. Some important facts]. *RBC.* December 14, 2020. URL: <https://www.rbc.ru/business/14/12/2020/5fd756109a7947b351075029> (In Rus.)
8. Putin raskritikoval subsidirovaniye eksporta zerna pri roste mirovykh tsen [Putin criticized subsidizing grain exports amid rising world prices]. *RBC: Ekonomika.* February 14, 2021. URL: <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/60285ac19a7947356d7a00f5> (In Rus.)
9. Pyat' shokov ot koronavirusa: chto zhdet ekonomiku Rossii posle pandemii [Five shocks from coronavirus: what should Russian economy be ready for after the pandemic]. *Deutsche Welle.* April 08, 2020. URL: <https://p.dw.com/p/3acZY> (In Rus.)
10. *Svetlov N.M.* Neparametricheskaya granitsa proizvodstvennykh vozmozhnostey v vychislimoy modeli chastichnogo ravnovesiya [Nonparametric production frontier in a computable partial equilibrium model]. *Ekonomika i matematicheskie metody.* 2019; 4: 104–116. (In Rus.)
11. *Svetlov N.M.* Rezul'tativnost' zakupochnykh i tovarnykh interventsii na rynke zerna [Effectiveness of procurement and commodity interventions in the grain market]. *Prodovol'stvennaya bezopasnost' Respubliki Belarus' v sovremennykh usloviyakh: Materialy Pervogo Vsebelorusskogo foruma (Minsk, October 12, 2016).* Ed. by: V.G. Gusakov, A.P. Shpak. Minsk: Institut sistemnykh issledovaniy v APK NAN Belarusi, 2016: 271–275. (In Rus.)

12. *Svetlova G.N.* Metodologiya modelirovaniya natsional'nogo rynka zerna [Methodology for modeling the national grain market]. *Vestnik KGU imeni N.A. Nekrasova*. 2012; 6: 212–217. (In Rus.)
13. *Svetlova G.N., Svetlov N.M.* Rynok zerna RF: instrumenty gosregulirovaniya [Grain market of the Russian Federation: instruments of state regulation]. *Sistemnoe modelirovanie sotsial'no-ekonomicheskikh protsessov: Trudy 39 mezhdunarodnoy nauchnoy shkoly-seminara* / Ed. by: V.G. Grebennikov, I.N. Shchepina. Voronezh: Voronezh State Univ., 2016. P. 178–181. (In Rus.)
14. *Ternovskiy D.S., Shagayda N.I.* Sel'skoe khozyaystvo v period pandemii [Agriculture during the pandemic]. *Ekonomicheskoe razvitie Rossii*. 2021; 1: 24–28. (In Rus.)
15. *Uzun V. et al.* Sovershenstvovanie mekhanizmov gosudarstvennogo regulirovaniya rossiyskogo rynka zerna [Improving the mechanisms of state regulation of the Russian grain market]. RANEPa. Moscow, 2017. URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2982309. (In Rus.)
16. *Erjavec E., Chantreuil F., Hanrahan K., Donnellan T., Salputra G., Kožar M., van Leeuwen M.* Policy assessment of an EU wide flat area CAP payments system. *Economic Modelling*. 2011; 4: 1550–1558.
17. *Fair R.C., Jaffee D.M.* Methods of Estimation for Markets in Disequilibrium. *Econometrica*. 1972; 3: 497–514.
18. *Forrester J.* Business Structure, Economic Cycles, and National Policy. *Futures*. 1976; 8: 195–214.
19. *Gyu Rim Kim.* Analysis of Global Food Market and Food-Energy Price Links – Based on System Dynamics Approach / Hankuk Academy of Foreign Studies, Korea. 2010: 18.
20. *Lesschen J.P. et al.* Scenariostudie Perspectief Voor Ontwikkel-richtingen Nederlandse Landbouw in 2050 (Scenario Study on Future Pathways for Dutch Agriculture in 2050). 2020: 2984.
21. *Osorio F.A., Aramburo S.A.* A system dynamics model for the world coffee market. National University of Colombia, Medellin. 2009: 21.
22. *Sterman J.D.* An integrated theory of the economic long wave: WP-1563–84; Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, MA, USA, 1984: 46.
23. *Svetlov N.M.* How to withstand uncertainty in Russian wheat market. *Izvestiya of MTAA*. 2016; 6: 108–129.
24. *Upcher M.R.* Theory and applications of disequilibrium econometrics: PhD thesis. Australian National Univ, 1980: 220.

Светлов Николай Михайлович, ведущий научный сотрудник, доктор экономических наук, профессор, член-корреспондент РАН. Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (119571, Российская Федерация, Москва, проспект Вернадского, 82, стр. 1. E-mail svetlov-nm@ranepa.ru. Тел. (499) 956–95–51).

Nikolai M. Svetlov, Key Research Associate, DSc (Econ), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences. Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (119571, the Russian Federation, Moscow, Vernadskogo Ave., 82–1. E-mail: svetlov-nm@ranepa.ru. Phone (499) 956–95–51).