



ИНТЕГРИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УКРАИНЕ.

I. МОДЕЛЬ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДОСТУПНОСТЬЮ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Ключевые слова: *продовольственная безопасность, экономическая доступность продуктов питания, регулирование цен, модель спроса.*

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы обеспечения продовольственной безопасности и охраны окружающей среды [1–4] в Украине в условиях глобальных (включая климатические) перемен [5–10] тесно связаны с вопросами планирования и безопасности систем энерго- и водоснабжения. Такая зависимость обусловлена не только экономическими взаимосвязями отраслей экономики, но в существенной мере тем, что в последнее время сельское хозяйство стало важным производителем биотоплива, а также одним из основных потребителей ограниченных водных ресурсов. В материалах конференции [11] и в работах [12, 13] отмечен угрожающий рост взаимозависимости продовольственных, энергетических секторов экономики и водоснабжения. В частности, рассмотрены следующие особенности:

- сельскохозяйственный сектор развивающихся стран может потреблять до 80% ресурсов пресной воды;
- ирригация является основным потребителем энергии;
- вода необходима для охлаждения тепловых электростанций и для нужд гидроэнергетики;
- производство удобрений потребляет значительное количество энергии;
- земля является ограничивающим ресурсом, который можно использовать для производства продовольствия и биотоплива;
- торговля сельскохозяйственными продуктами влечет перераспределение запасов воды.

Исследования обеспечения продовольственной безопасности особенно актуальны, поскольку за последние пять лет мир пережил два глобальных продовольственных кризиса: в 2008 г. из-за неблагоприятных погодных условий в ряде стран (сильнейшая засуха в Австралии в 2006 и 2007 гг., недобор урожая в странах ЕС и Украине) и в 2010 г. вследствие засухи на территориях России, Украины и Казахстана, которая вызвала негативные явления на мировых продовольственных рынках.

Многоаспектность понятия продовольственной безопасности определила два направления исследований.

Первое направление включало анализ действующей процедуры регулирования цен на основные продукты питания, в результате которого было установлено, что нынешнее ценообразование происходит без учета уровня доходов населения и физиологических норм потребления продуктов питания. Поэтому и была предложена математическая модель потребительского спроса и алгоритм регулирования цен на продукты питания с целью обеспечения продовольственной безопасности Украины.

В рамках второго направления разработана агрегированная математическая модель сельскохозяйственного производства в масштабах страны, с помощью которой можно анализировать различные сценарии производства продукции растениеводства и животноводства относительно обеспечения продовольственной безопасности. По данным об общей потребности в продуктах питания модель определяет оптимальные соотношения растениеводческой и животноводческой отраслей с учетом риска реализации, неблагоприятных погодных и рыночных условий. Кроме того, разработана математическая модель функционирования агрохолдингов с учетом погодных и экономических рисков, при этом использовались данные о страховании посевов, условиях кредитования, неопределенности цен на произведенную сельскохозяйственную продукцию. Описанная модель сформулирована в виде задачи минимизации риска при нижнем ограничении на среднюю прибыль, ее можно использовать в качестве инструментария для изучения влияния различных регулирующих инструментов (условий страхования и кредитования) на эффективность сельскохозяйственного производства.

Результаты, изложенные в настоящей статье, получены в рамках совместного проекта НАН Украины и Международного института прикладного системного анализа (IIASA) по интегрированному моделированию продовольственной безопасности с учетом надежного энерго- и водоснабжения [3–10, 14]. Далее описаны исследования, проведенные совместно сотрудниками Института кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины и IIASA [9, 10, 14], а также дан детальный анализ состояния продовольственной безопасности в Украине в настоящее время и приведена модель управления экономической доступностью продуктов питания.

ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И МИРОВЫЕ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫЕ КРИЗИСЫ

Наиболее пагубным проявлением изменения климата на территории СНГ явилось аномально жаркое лето 2010 г., особенно пострадали от засухи Казахстан и Россия, в меньшей степени — Украина. По данным Госкомстата по состоянию на 1 ноября 2010 года сбор зерновых и зернобобовых в Украине снизился на 15,4 %, картофеля — на 6,2 %, овощей открытого грунта — на 3,3 %. Однако увеличилось производство сахарной свеклы на 50,4 % и семян подсолнечника на 9,7 %.

В силу возрастающих взаимозависимостей, в частности существования рынков, вопросы безопасности снабжения продовольствием, энергией и водой в отдельных странах принимают глобальный характер. Графики на рис. 1, построенные по данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO) [15], отражают стремительный рост мировых цен на продовольственные товары с лета 2010 г. Так, с момента начала засухи по декабрь, сахар подорожал на 77,1 %, зерновые — на 57,1 %, а масляничные культуры — на 56,2 %. Индекс цен на сельскохозяйственные товары по данным FAO поднялся за 2010 г. на 24,6 %.

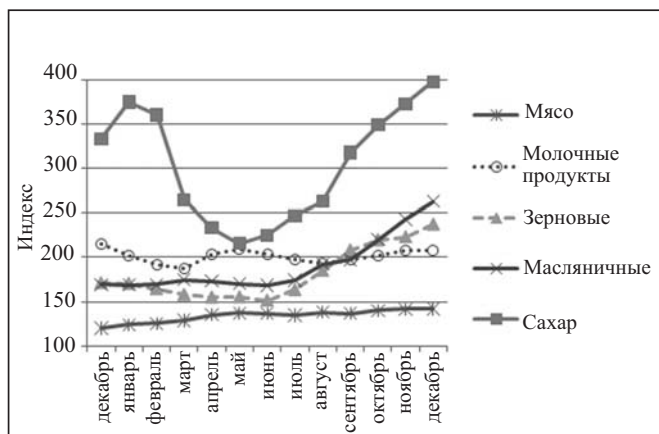


Рис. 1. Динамика роста индексов мировых цен на продовольственные товары в период с декабря 2009 г. по декабрь 2010 г.

Дальнейшее повышение температуры на нашей планете приведет к учащению неурожайных годов, что повлечет неустойчивость цен на основные продукты питания и, следовательно, обострит проблему обеспечения продовольственной безопасности. Все это обуславливает важность поиска согласованных стратегий снабжения продовольствием, энергией и во-

дой при наличии взаимозависимостей международных и внутренних рынков. Моделирование таких процессов с учетом локальных помех и экстремальных событий, одновременно воздействующих на производство и снабжение многих участников рынка, описано в [7].

Далее детально охарактеризована продовольственная безопасность в масштабах одной страны. Дополнительные ограничения на ресурсы, включая энергию и воду, а также связи через рынки, можно учитывать как в работах [3, 4, 6–8]. Одной из причин рассмотрения более агрегированного подхода в настоящей статье является недостаток данных на локальных уровнях, поэтому полученные результаты можно дезагрегировать с помощью вероятностных процедур [18, 19], что открывает широкие возможности включения экстремальных локальных неоднородностей в общий анализ системной безопасности.

ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В УКРАИНЕ

По определению FAO [20] продовольственная безопасность — это социально-экономическое состояние, когда каждому гражданину страны обеспечен доступ к безопасным пищевым продуктам по доступным ценам в объемах и ассортименте, которые соответствуют установленным рациональным нормам потребления, необходимым для активного и здорового образа жизни. Продовольственную безопасность можно достичь только за счет увеличения объемов производства продуктов питания и их разнообразия. Однако стабильное поступление на потребительский рынок достаточных объемов продовольствия в необходимом ассортименте обеспечивает только физическую доступность продуктов питания. Нужно создать такие условия, чтобы каждый человек мог приобрести качественные продукты в количестве и ассортименте, соответствующем физиологическим нормам. Например, повышение цен на продукты питания приводит к потреблению малообеспеченными слоями населения дешевых, менее питательных продуктов. Питательную ценность потребляемой пищи FAO оценивает по ее энергетической ценности, количеству содержащихся в ней белков и жиров [21, 22].

Для обеспечения продовольственной безопасности в Украине были приняты следующие законодательные акты: Законы «О прожиточном минимуме», «О государственной поддержке сельского хозяйства Украины», Постановление Кабинета Министров Украины № 1379 от 05.12.2007 г. «Некоторые вопросы продовольственной безопасности» и № 1767 от 24.09.1999 г. «О научно-общественной

экспертизе набора продуктов питания, набора непродовольственных товаров и набора услуг для установления прожиточного минимума».

В статье 1 Закона Украины «О прожиточном минимуме» величина прожиточного минимума определяется из учета стоимости набора продуктов питания (минимальных норм питания), достаточного для обеспечения нормального функционирования организма человека и сохранения его здоровья. В соответствии с этим законом от величины прожиточного минимума зависит общая оценка уровня жизни в Украине, который является основой для реализации социальной политики и разработки отдельных государственных социальных программ, а также установление размеров минимальных заработной платы и пенсии по возрасту, определение размеров социальной помощи, помощи семьям с детьми, пособия по безработице, стипендий и других социальных выплат согласно требованиям Конституции Украины и законов Украины.

В Украине минимальные нормы питания (табл. 1) были утверждены постановлением Кабинета Министров Украины № 656 от 14 апреля 2000 года [23] и действуют в настоящее время. Они являются критерием, по которому определяется состояние обеспеченности продовольственной безопасностью населения Украины. Если фактическое потребление продуктов питания некоторыми слоями населения меньше утвержденной минимальной нормы хотя бы по одному из показателей, то это означает, что продовольственная безопасность для них не обеспечена.

Отметим, что в целях определения масштабов распространения недоедания в мире FAO установила для каждой страны минимальную суточную потребность в килокалориях на одного человека (порог недоедания). Согласно принятым FAO нормам лица, ежедневно употребляющие пищу меньшей калорийности, находятся в состоянии голода [24]. Для Украины этот порог в 2006–2008 гг. составлял 1950 ккал [25]. Сравнение этого показателя с величиной калорийности суточного питания 2008,9 ккал (см. табл. 1), установленной украинскими экспертами для пожилых соотечественников, показывает, что всего 3 % отделили законодательную норму калорийности от состояния недоедания.

Таблица 1

Категория населения	Часть общей численности населения*, %	Питательная ценность среднесуточных наборов продуктов питания		
		калорийность, ккал	белки, г	жиры, г
Дети до 3 лет	3,67	1540	53	53
Дети от 4 до 6 лет	2,45	2000	65	58
Дети от 7 до 10 лет	3,63	2400	78	70
Дети от 11 до 13 лет	3,25	2675	87	77
Дети от 14 до 17 лет	5,38	2925	96	84
Взрослые (трудоспособные)	60,60	2790,8	87,1	98,4
Взрослые (нетрудоспособные)	21,03	2008,9	58,6	65,7
Средневзвешенные значения показателей		2550,6	79,5	86,4

* По данным экспресс-информации Госкомстата Украины от 05.06.2007 г. № 138 (по состоянию на 01.01.2007 г.).

Существует большой опыт расчета норм питания. Например, в Советском Союзе они определялись в результате интенсивных научных исследований гигиены питания, проведенных в Институте питания Академии медицинских наук СССР, и были утверждены Министерством здравоохранения 22 марта 1982 года [26, 27].

В табл. 2 сравниваются нормативы суточного потребления питательных веществ и калорийности продуктов для лиц пожилого возраста (60–74 года), разработанные специалистами-диетологами СССР [27] и украинскими экспертами [23]. В отличие от украинских нормативов разработанные в СССР нормы питания содержат также суточные потребности в витаминах и минеральных веществах. Показатели (см. табл. 2) свидетельствуют о том, что украинские нормы потребления белков и жиров для лиц пожилого возраста на 15% ниже принятых в СССР.

Таблица 2

Страна-разработчик нормативов	Нормативы суточного потребления питательных веществ и калорийности продуктов				
	белки, г		жиры, г	углеводы, г	калорийность, ккал
	всего	животного происхождения			
Украина	58,6	—	65,7	295,8	2008,9
СССР					
для мужчин	69	38	77	333	2300
для женщин	63	35	70	305	2100

Для сравнения качества фактического питания в Украине с другими странами в период с 1990 по 2007 гг. проанализируем табл. 3, построенную по данным ФАО [21].

Таблица 3

Страна	Фактическое суточное потребление питательных веществ и калорийность продуктов по годам											
	калорийность, ккал				белки, г				жиры, г			
	1990–1992	1995–1997	2000–2002	2005–2007	1990–1992	1995–1997	2000–2002	2005–2007	1990–1992	1995–1997	2000–2002	2005–2007
Украина	3040	2850	2980	3230	87	82	83	89	79	73	76	92
Российская Федерация	2960	2870	2980	3270	92	89	87	97	83	79	80	92
Беларусь	3180	3240	3000	3090	97	96	87	89	97	98	101	110
Литва	2830	3000	3350	3420	89	94	105	115	79	78	95	106
Развитые страны	3210	3210	3340	3420	98	98	101	103	117	117	125	131

Эти показатели свидетельствуют о том, что в среднем калорийность потребляемых в Украине продуктов питания была выше установленного в 2000 г. постановлением № 656 минимального уровня. Однако отметим, что эти данные приведены в расчете на средний показатель обеспеченности человека (зажиточного, бедного и нищего) и сравниваются с существенно заниженными нормативами. Показатель калорийности у бывших республик Советского Союза (за исключением Литвы) ниже, чем у развитых стран.

Данные об уровне потребления белков в Украине (см. табл. 3) в среднем соответствуют заниженным нормативам постановления № 656. Однако этот показатель ниже, чем в России и Литве на 10% и на 29% соответственно.

Уровень потребления жиров (см. табл. 3) — единственный показатель, по которому Украина не уступает России. Однако у Беларуси и Литвы он значительно выше.

Кроме общего количества потребления белков, огромное значение для нормального функционирования организма человека имеет соотношение между белками растительного и животного происхождения. Известно, что в белках животного происхождения больше незаменимых аминокислот, чем в растительных белках. Поэтому количество животных белков в рационе должно составлять не менее 50 % общего количества белков.

В табл. 4 приведены данные FAO [21] о потреблении растительных и животных белков в некоторых бывших республиках Советского Союза в 2007 г. и для сравнения — показатели СССР в 1985 г. Здесь показатели Литвы превышают уровень потребления белков, который был в Советском Союзе в 1985 г. У остальных стран этот показатель существенно ниже, причем наихудший (как по количеству, так и по структуре потребляемых белков) — у Украины. Это обусловлено тем, что значительная часть ее населения вынуждена жить по Закону «О прожиточном минимуме» и довольствоваться минимальными нормами питания, разработанными украинскими экспертами без необходимых обоснований.

Таблица 4

Страна	Суточное потребление белков по происхождению	
	растительные, г	животные, г
Украина	46,2	42,1
Российская Федерация	48,8	51,2
Беларусь	40,5	49,1
Литва	47,4	70,1
Советский Союз, 1985 г.	51,7	54,2

Отметим, что в Украине прожиточный минимум устанавливается и отслеживается непрозрачно, а нормы не пересматриваются. По нашему мнению, борьбу с бедностью в нашей стране необходимо начинать с усовершенствования Закона «О прожиточном минимуме», который должен предусматривать прозрачную процедуру определения прожиточного минимума и порядок его мониторинга.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ЦЕН НА ПРОДОВОЛЬСТВЕННОМ РЫНКЕ УКРАИНЫ

Согласно Закону «О государственной поддержке сельского хозяйства Украины» государство осуществляет регулирование цен на отдельные виды сельскохозяйственной продукции, проводя государственные интервенции, т.е. продажу или покупку этой продукции на организованном аграрном рынке для обеспечения ценовой стабильности. К объектам государственного регулирования относятся, в частности, пшеница, рожь, кукуруза, ячмень, горох, гречиха, просо, семена подсолнечника, сахар-песок, мука пшеничная и ржаная, мясо и субпродукты, сухое молоко, сливочное и подсолнечное масло.

Запасы каждого из объектов государственного регулирования должны быть не меньше 20 % объемов их годового внутреннего потребления за предыдущий маркетинговый период, определяемых на базе отчетных балансов спроса и предложения. Если цены на организованном аграрном рынке превышают некоторый установленный максимальный уровень (максимальную интервенционную цену), то проводится товарная интервенция, т.е. продажа сельскохозяйственной продукции, а при падении цен ниже некоторого установленного минимального уровня (минимальной интервенционной цены) проводится финансовая интервенция, т.е. покупка сельскохозяйственной продукции. Эти меры предпринимаются для достижения уровня равновесия.

Минимальная (максимальная) интервенционная цена устанавливается для каждого вида сельскохозяйственной продукции, который является объектом государственного ценового регулирования. Минимальная интервенционная цена от-

дельного объекта государственного регулирования используется для планирования доходов продавцов такого объекта и определяется с учетом среднеотраслевых нормативных затрат на производство, минимального уровня рентабельности не ниже 10 %, конъюнктуры на внутреннем и внешнем рынках. Максимальная интервенционная цена отдельного объекта государственного регулирования определяется с учетом индексов потребительских цен и цен производителей, конъюнктуры на внутреннем и внешнем рынках. Согласно методике, утвержденной постановлением Кабинета Министров Украины № 159 от 11.02.2010 г., минимальная интервенционная цена определяется по формуле $C_{\text{мин}} = H \times (1 + P / 100) + / - Q$, где H — среднеотраслевые нормативные расходы на производство объекта государственного регулирования; P — минимальный уровень рентабельности отдельного объекта государственного регулирования; Q — значение корректировки минимальной интервенционной цены с учетом конъюнктуры на внутреннем и внешнем рынках; символ $+ / -$ взят из оригинального текста закона и обозначает плюс или минус.

Максимальная интервенционная цена рассчитывается следующим образом: $C_{\text{макс}} = C_{\text{мин}} \cdot I + / - Q_1$, где I — индекс цен производителей или индекс потребительских цен на плановый период государственного регулирования; Q_1 — величина корректировки максимальной интервенционной цены с учетом конъюнктуры на внутреннем и внешнем рынках.

Таким образом, параметрами законодательно установленной в Украине процедуры регулирования цен на отдельные виды сельскохозяйственной продукции являются минимальный уровень запасов интервенционного фонда, минимальная и максимальная интервенционные цены. Размер минимальной интервенционной цены влияет на уровень рентабельности сельскохозяйственного производства и на объемы пополнения запасов интервенционного фонда. Если она установлена ниже уровня внутренних цен на объекты государственного регулирования, то обеспечить необходимые объемы пополнения запасов, используя только рыночные механизмы, будет проблематично.

Вызывает сомнение научная обоснованность формул определения других параметров процедуры регулирования цен — минимального уровня запасов интервенционного фонда и максимальной интервенционной цены. Норма Закона Украины «О государственной поддержке сельского хозяйства в Украине», устанавливающая минимальный объем запасов на уровне 20 % годового внутреннего потребления за предыдущий маркетинговый период, не способствует обеспечению продовольственной безопасности в Украине, а наоборот, является источником риска.

К сожалению, существующая формула определения минимальных объемов запасов не базируется на прогнозах спроса на продукты питания в плановом периоде, а привязывается к фактическому уровню потребления за предыдущий маркетинговый период. В результате любое повышение уровня пенсий и зарплат в плановом периоде приводит к росту цен, поскольку оно не будет подкреплено резервированием дополнительных объемов продовольственных ресурсов.

Формула для определения максимальной интервенционной цены не учитывает ни уровня доходов населения, ни физиологических норм потребления продуктов питания. Использование этого параметра в процедуре регулирования цен не может гарантировать гражданам Украины экономической доступности к достаточному количеству безопасной пищи, необходимой для ведения активного и здорового образа жизни.

МОДЕЛЬ СПРОСА НА ОСНОВНЫЕ ПРОДУКТЫ ПИТАНИЯ

Для устранения указанных недостатков в формулах определения основных параметров процедуры регулирования цен на продовольственном рынке в [10]

предложен подход, использующий модель спроса на основные продукты питания. Величина спроса на конкретный товар зависит от доходов покупателей, стоимости этого товара или товара-заменителя, потребительских вкусов и т.д. Для прогнозирования спроса на практике используются эмпирические модели, построенные с помощью методов корреляционно-регрессионного анализа. Как известно, удовлетворительное качество прогноза с использованием функций регрессии можно обеспечить только в условиях стационарности внешней среды и наличии больших объемов различной информации. Это означает, что функцию спроса, построенную с использованием данных, собранных в условиях достаточного предложения продуктов питания, нельзя использовать для прогноза спроса в таких экстремальных условиях, как наличие их острого дефицита и ажиотажного спроса. Кроме того, построение функции спроса для экстремальных рыночных условий является практически невозможным ввиду ограниченности имеющихся эмпирических данных. Поэтому в данной работе разработана модель спроса, основанная на физиологических потребностях в пище, отраженных в нормах потребления продуктов питания.

Рассмотрим следующие уровни суточного потребления продуктов питания:

1) с калорийностью 1950 ккал (граница недоедания), установленной для Украины FAO;

2) с калорийностью 2008,9 ккал, установленной постановлением КМУ № 656;

3) соответствующее минимальным нормам, разработанным в Украине, но без учета норм потребления белков;

4) отвечающее всем минимальным нормам, утвержденным постановлением КМУ № 656;

5) учитывающее физиологические нормы, разработанные в СССР, но без учета норм потребления белков животного происхождения, витаминов и минеральных веществ;

6) включающее, кроме норм пятого уровня, норму потребления белков животного происхождения, разработанную в СССР;

7) включающее, кроме норм шестого уровня, норму потребления витаминов, разработанную в СССР;

8) соответствующее всем нормам потребления, разработанным в СССР.

При моделировании поведения потребителя на продовольственном рынке будем полагать, что в рамках своих доходов он стремится обеспечить себе потребление продуктов питания на максимально возможном уровне, но при этом минимизирует затраты на их покупку. Уровень доходов покупателя и уровень цен на продовольственном рынке не позволяют ему достичь максимально возможного уровня потребления продуктов питания. В табл. 5 по данным Госкомстата Украины представлено распределение населения Украины по уровням среднедушевых общих доходов в первом полугодии 2010 г.

Для построения модели спроса на основные продукты питания введем следующие обозначения:

Таблица 5

Уровень доходов	Распределение населения Украины по уровням доходов, %	Месячный среднедушевой доход, грн
1	0,5	до 300
2	3,6	300,1 – 480
3	8,9	480,1 – 660
4	15,7	660,1 – 840
5	7,3	840,1 – 1020
6	5,5	1020,1 – 1200
7	11,4	1200,1 – 1380
8	7,2	1380,1 – 1560
9	5,9	1560,1 – 1740
10	3,8	1740,1 – 1920
11	10,2	более 1920

I — количество основных продуктов питания, $1 \leq i \leq I$, где i — номер продукта питания;

c_i — цена i -го продукта питания;

S_i — суммарный спрос на i -й продукт питания в масштабах страны;

K — количество уровней потребления продуктов питания, $1 \leq k \leq K$, где k — номер уровня потребления (предполагается, что значение $k=1$ соответствует уровню потребления, ниже которого начинается состояние недоедания);

k_{\min} — номер уровня потребления, соответствующий прожиточному минимуму, принятому в Украине (в настоящее время минимальные нормы потребления продуктов питания превышают границу недоедания, т.е. $k_{\min} > 1$);

J_k — количество показателей питательной ценности продуктов (белки, жиры, углеводы, калорийность, минеральные вещества, витамины), учитываемые в k -м уровне потребления продуктов питания, $1 \leq j \leq J_k$, $1 \leq k \leq K$, где j — номер показателя (предполагается, что при $1 < k \leq K$ выполняется неравенство $J_k > J_{k-1}$, т.е. на каждом последующем уровне потребления продуктов питания увеличивается число показателей, по которым регламентируются его нормы);

d_{jk} — нормативное значение месячной потребности в j -м питательном веществе (или калорийности) для k -го уровня потребления, усредненное для всех основных социально-демографических групп населения (предполагается, что при $1 < k \leq K$ выполняется неравенство $d_{jk} > d_{jk-1}$, $j=1, \dots, J_{k-1}$, т.е. на каждом последующем уровне потребления продуктов питания увеличиваются значения показателей, по которым регламентируются его нормы);

x_{ik} — месячное потребление i -го продукта питания одним человеком на k -м уровне потребления;

a_{ij} — количество j -го питательного вещества (или калорийности), содержащегося в единице i -го продукта питания;

M — количество уровней доходов населения, $1 \leq m \leq M$ (в численной модели $M=11$), где m — номер уровня доходов;

h_m — среднее значение месячного дохода, соответствующее m -му уровню доходов, $1 \leq m \leq M$ (предполагается, что при $1 < m \leq M$ выполняется неравенство $h_m > h_{m-1}$);

ρ_m — часть доходов, которая расходуется на продукты питания, соответствующая m -му уровню, $1 \leq m \leq M$;

μ_m — часть населения, относящаяся к m -му уровню доходов;

γ — часть населения, стоимостная оценка уровня потребления которого ниже прожиточного минимума;

N — общая численность населения.

Для определения спроса на продукты питания необходимо решить K задач линейного программирования следующего вида: минимизировать затраты на покупку продуктов питания

$$\min_{x_{1k}, \dots, x_{Ik}} \sum_{i=1}^I c_i x_{ik} \quad (1)$$

при ограничениях на нормативные потребности в J_k питательных веществах и калорийности, соответствующих k -му уровню потребления,

$$\sum_{i=1}^I a_{ij} x_{ik} \geq d_{jk}, \quad j=1, 2, \dots, J_k, \quad (2)$$

$$x_{ik} \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, I. \quad (3)$$

Поскольку в задаче (1)–(3) нет верхних ограничений на переменные, она всегда имеет решение. Пусть $x_k^* = (x_{1k}^*, x_{2k}^*, \dots, x_{Ik}^*)$ — оптимальные решения за-

дачи (1)–(3) при $k = 1, 2, \dots, K$. Тогда минимальный уровень дохода, обеспечивающий k -й уровень потребления, определяется по формуле

$$F_k = \sum_{i=1}^I c_i x_{ik}^*.$$

Предположим, что цены на продукты питания и уровень доходов всех слоев населения страны таковы, что обеспечено суточное потребление пищи с калорийностью не менее чем 1950 ккал, определяющей границу недоедания, установленную FAO для Украины. Тогда для любого уровня доходов m можно определить соответствующий максимально возможный уровень потребления продуктов питания $k_m = \max k : F_k \leq h_m \rho_m$. В соответствии с нашим предположением о поведении покупателей на продовольственном рынке спрос на i -й продукт питания, формируемый населением с m -м уровнем доходов, вычисляется по формуле $S_{im} = \mu_m N x_{ik_m}^*$, а суммарный спрос будет $S_i = N \sum_{m=1}^M \mu_m x_{ik_m}^*$, $i = 1, 2, \dots, I$.

Таким образом, для определения спроса на продукты питания необходимо решить K задач линейного программирования (1)–(3) и затем воспользоваться формулами для F_k , k_m , S_i .

АЛГОРИТМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЦЕН НА ПРОДУКТЫ ПИТАНИЯ

Продовольственная безопасность страны обеспечена при выполнении неравенства

$$k_{\min} \leq k_1. \quad (4)$$

Если оно нарушено, то уровень потребления продуктов питания частью населения γ с наиболее низкими доходами будет ниже уровня прожиточного минимума:

$$\gamma = \sum_{m=1}^{m^*} \mu_m, \quad (5)$$

где $m^* = \max m : k_m < k_{\min}$. Для того чтобы перейти из состояния, в котором нарушена продовольственная безопасность, в состояние, в котором она обеспечена, проводятся продовольственные интервенции. Их эффективность зависит от критерия, по которому выбирается момент проведения интервенции, и ее объема. В отличие от действующего в Украине порядка определения момента проведения интервенции, базирующегося на понятии максимальной интервенционной цены, в данной статье предлагается проводить продовольственные интервенции в тот момент, когда максимально возможный уровень потребления продуктов питания слоями населения с наименьшим уровнем доходов опускается ниже уровня прожиточного минимума. В рамках представленной модели спроса критерием необходимости проведения продовольственной интервенции является выполнение неравенства

$$k_1 < k_{\min}. \quad (6)$$

В работе [10] предложен эвристический алгоритм, позволяющий определить, интервенции каких продуктов необходимо проводить и в каких объемах. Этот алгоритм использует механизм равновесных цен, которые устанавливаются при равенстве спроса и предложения на продукты питания. Основным в этом алгоритме является решение подзадачи поиска цен c_{i2} , $i = 1, 2, \dots, I$, на продукты питания, при которых выполняется условие продовольственной безопасности (4).

В настоящей статье приведен более элегантный метод решения этой подзадачи, основанный на теории двойственности.

Формально цель интервенций состоит в переходе из состояния, в котором выполняется неравенство (6), в состояние, в котором выполняется неравенство (4).

Пусть c_{i1} , $i=1, 2, \dots, I$, — цены на продукты питания, при которых выполняется неравенство (6). Задача состоит в поиске цен c_{i2} , $i=1, 2, \dots, I$, на продукты питания, при которых выполняется условие продовольственной безопасности (4). Грубо говоря, необходимо найти в некотором смысле минимальные изменения цен c_{i1} , $i=1, 2, \dots, I$, при которых задача (1)–(3) при $k = k_{\min}$ и ограничении (4) имеет решение. Эта задача является квадратической по (c_i, x_i) , поэтому рассмотрим двойственную к (1)–(3) задачу: найти значения двойственных переменных u_j , $j=1, 2, \dots, J_k$, максимизирующие функцию

$$\sum_{1 \leq j \leq J_k} u_j d_{jk} \quad (7)$$

при ограничениях

$$\sum_{1 \leq j \leq J_k} u_j a_{ij} \leq c_i, \quad i=1, 2, \dots, I, \quad (8)$$

$$u_j \geq 0, \quad j=1, 2, \dots, J_k. \quad (9)$$

Согласно неравенству (6) прямая задача (1)–(3) при $k = k_1$, $c_i = c_{i1}$ и дополнительном ограничении

$$\sum c_{i1} x_i \leq h_1 \rho_1 \quad (10)$$

не имеет решения, его можно получить путем интервенции цен, т.е. при некоторых $c_i = c_{i1} - y_i$, $y_i \leq c_{i1}$. Так как оптимальные значения двойственных задач совпадают, следовательно исконые значения u_j , y_i двойственной задачи (7)–(9) должны удовлетворять дополнительным ограничениям

$$\sum_{1 \leq j \leq J_k} u_j d_{jk} \leq h_1 \rho_1, \quad (11)$$

$$c_i = c_{i1} - y_i, \quad y_i \leq c_{i1}, \quad k = k_1. \quad (12)$$

Пусть (u_j^*, y_j^*) , $j=1, 2, \dots, J_{k_1}$, — оптимальное решение задачи (7)–(9), (11), (12).

Максимизацию функции (7) по (u_j, y_j) , $j=1, 2, \dots, J_{k_1}$, при ограничениях (8), (9), (11), (12) можно рассматривать как максимизацию функции

$$\sum_{1 \leq j \leq J_{k_1}} u_j d_{jk} \quad (13)$$

по u_j , $j=1, 2, \dots, J_{k_1}$, при ограничениях

$$\sum_{1 \leq j \leq J_{k_1}} u_j a_{ij_1} \leq c_{i1} - y_i^*, \quad i=1, 2, \dots, I, \quad (14)$$

$$u_j \geq 0, \quad j=1, 2, \dots, J_{k_1}. \quad (15)$$

Решение этой задачи u_j^* , $j=1, 2, \dots, J_{k_1}$, существует, следовательно существует и решение двойственной к ней прямой задачи

$$\min_{x_{1k}, \dots, x_{Ik}} \sum_{i=1}^I (c_{i1} - y_i^*) x_{ik}, \quad (16)$$

$$\sum_{1 \leq j \leq J_{k_1}} a_{ij} x_i \geq d_{jk_1}, \quad x_i \geq 0.$$

Поскольку решение задачи (13)–(15) удовлетворяет ограничениям безопасности (11) и оптимальные значения задачи

$$\min_{x_{1k}, \dots, x_{Ik}} \sum_{i=1}^I (c_{i1} - y_i^*) x_{ik} = \max_u \sum_{1 \leq j \leq J_{k_1}} u_j d_{jk_1} \quad (17)$$

при ограничениях (13), (15), (16) совпадают, то интервенция цен y_i^* , $i=1, 2, \dots, I$, и решение задачи (13)–(16) приводит к требуемому оптимальному решению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализировано состояние продовольственной безопасности в Украине с точки зрения экономической доступности продуктов питания всем слоям населения. При этом использован подход ФАО [21, 22], согласно которому питательная ценность продовольственных продуктов определялась по энергетической ценности, количеству белков и жиров. По этим показателям проведен сравнительный анализ уровня потребления продуктов питания в Украине и других странах.

Дана оценка действующей в настоящее время в Украине процедуры регулирования цен на основные продукты питания, призванной смягчить острую проблему экономической доступности к продовольствию. Установлено, что основные параметры этой процедуры не учитывают ни уровня доходов населения, ни физиологических норм потребления продуктов питания. Поэтому разработана альтернативная процедура, основанная на оригинальной модели спроса, учитывающей физиологические потребности в пище, которые отражены в нормах потребления продуктов питания.

Выражаем благодарность академику НАН Украины В.М. Гецу, члену-корреспонденту НАН Украины Е.Н. Бородиной (Институт экономики и прогнозирования), а также М. Маковскому и Г. Фишеру (IIASA) за многочисленные обсуждения этих проблем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Integrated modeling framework for assessment and mitigation of nitrogen pollution from agriculture: Concept and case study for China / G. Fischer, W. Winiwarter, T. Ermolieva et al. // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. — 2010. — **136**, N 1–2. — P. 116–124.
2. Ermoliev Y., von Winterfeldt D. Risk, security and robust solutions / IIASA Interim Rep. IR-10-013. — Laxenburg, Austria, 2010. — 41 p.
3. Borodina O. Food security and socioeconomic aspects of sustainable rural development in Ukraine / IIASA Interim Rep. IR-09-053. — Laxenburg, Austria, 2009. — 28 p.
4. Integrated modeling approach to the analysis of food security and sustainable rural developments: Ukrainian case study / O. Borodina, E. Borodina, T. Ermolieva, Y. Ermoliev et al. / IIASA Interim Rep. IR-10-017. — Laxenburg, Austria, 2010. — 16 p.
5. Курызук С., Ермолиева Т., Ермолиев Я. Planning sustainable agroproduction for food security under risks // *Economics Agriculture*. — 2011. — **9**. — P. 145–151.
6. Frayer O. Agricultural production intensification in Ukraine: Decision support of agricultural policies based on the assessment of ecological and social impacts in rural areas / IIASA Interim Rep. IR-11-033. — Laxenburg, Austria, 2011. — 27 p.
7. Ermolieva T., Makowski M., Fischer G., Ermoliev Y. Economic evaluation of dams for flood protection: An integrated safety approach / D. de Wrachien, S. Mambretti (eds) // *Dam-break Problems, Solutions and Case Studies*. — Southampton: WIT Press, 2009. — P. 241–272.
8. Курызук С. Model-based risk-adjusted planning for sustainable agriculture under agricultural trade liberalization: Ukrainian case study / IIASA Interim Rep. IR-10-016. — Laxenburg, Austria, 2010. — 28 p.
9. Пепеляев В.А., Голодников Н.А. Оптимизация структуры сельскохозяйственного производства для обеспечения продовольственной безопасности Украины // *Компьютер. математика*. — 2011. — № 1. — С. 46–55.

10. Пепеляев В. А., Голоднікова Н. А. О регулировании цен на продукты питания с целью обеспечения продовольственной безопасности Украины // Теорія оптимальних рішень. — Київ: Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, 2011. — № 10. — С. 9–16.
11. Bonn 2011 Conference. The Water, Energy and Food Security Nexus — Solutions for a Green Economy. — <http://www.water-energy-food.org/en/conference.html>.
12. Meeting the Water Reform Challenge // OECD Studies on Water. — 2012. — 172 p.— <http://dx.doi.org/10.1787/9789264170001-en>.
13. Considering the energy, water and food nexus: Towards an integrated modelling approach / M. Bazilian, H. Rogner, M. Howells et al. // Energy Policy. — 2012. — 39, Issue 12. — P. 7896–7906.
14. Голодніков О. М. Моделювання сільськогосподарського виробництва з урахуванням ризиків // Методи комплексної оцінки та прогнозування стану соціально-економічної сфери України. — Київ: Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, 2009. — С. 83–92.
15. <http://www.fao.org/worldfoodsituation/wfs-home/foodpricesindex/ru/>.
16. Mitchell D. O. A note on rising world food prices // Development Prospects Group, World Bank, Policy Working Paper 4682, July 2008. — 20 p.
17. Slayton T. Rice price forensics: how asian governments carelessly set the world rice market on fire / Center for Global Development, Working Paper 163, March 2009. — 43 p.
18. Fischer G., Ermolieva T., Ermoliev Y., van Velthuisen H.T. Spatial recovering of agricultural values from aggregate information: Sequential downscaling methods // Intern. J. Knowledge and Systems Sci. — 2006. — 3, N 1. — P. 1–6.
19. Fischer G., Ermolieva T., Ermoliev Y., van Velthuisen H.T. Sequential downscaling methods for estimation from aggregate data / K. Marti, Y. Ermoliev, M. Makowski, G. Pflug (eds) // Coping with Uncertainty, Modeling and Policy Issues. — Berlin: Springer-Verlag, 2006 — P. 155–169.
20. ftp://ftp.fao.org/es/esa/policybriefs/pb_02.pdf.
21. <http://faostat.fao.org/site/368/default.aspx#ancor>.
22. http://www.fao.org/DOCREP/W0073e/w0073e08.htm#P9793_1161767.
23. Про затвердження наборів продуктів харчування, наборів непродовольчих товарів та наборів послуг для основних соціальних і демографічних груп населення: Постанова Кабінету Міністрів України № 656, 14 квіт. 2000 р. — <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/656-2000-%D0%BF>
24. <http://unstats.un.org/unsd/mdg/Metadata.aspx?IndicatorId=5>.
25. http://www.google.com/url?q=http://www.fao.org/fileadmin/templates/ess/documents/food_security_statistics/MinimumDietaryEnergyRequirement_en.xls&sa=U&ei=CyXeTpLxGKn-4QSwP PzzBg&ved=0CAQQFjAA&client=internal-uds-cse&usg=AFQjCNEzURA-pVg02GMjdw66i1fS0v6DIQ.
26. Химический состав пищевых продуктов. Книга 1. Справочные таблицы содержания основных пищевых веществ и энергетической ценности пищевых продуктов / Под ред. И.М. Скурихина, М.Н. Волгарева. — 2-е изд. — М.: Агропромиздат, 1987. — 224 с.
27. Нормы питания // Химия и жизнь. — 1983. — № 12. — С. 64–66.
28. Вивчення стану фактичного харчування та його зв'язок із аліментарною захворюваністю дорослого населення 4-х областей України з метою його раціоналізації: Заключ. звіт про наук.-дослід. роботу / ДП «Держ. наук.-дослід. центр з проблем гігієни харчування», № Держреєстрації 01040007328. — К., 2006. — 101 с. — http://www.google.com/url?q=http://www.niipitan.com.ua/files/448169142.doc&sa=U&ei=x1veTvutHdLD8QOqxqG_BA&ved=0CAQQFjAA&client=internal-uds-cse&usg=AFQjCNHGwOeN5a60JZAGL4 D77L7UKyM3rA.
29. http://www.mlsp.gov.ua/control/uk/publish/category?cat_id=35829.
30. <http://www.minagro.gov.ua/page/?4725>.

Поступила 07.12.2011