

УДК 330.46:65.011

к.т.н. Лепило Н. Н.,
к.э.н. Дьячкова В. В.

(ЛГУ им. В. ДАЛЯ, г. Луганск, ЛНР, lepilonn@gmail.com)

МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСЕВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

В статье разработана экономико-математическая модель оптимального распределения посевных площадей сельскохозяйственных культур для максимизации количества произведенной продукции в стоимостном выражении с учетом ограничений по урожаю культур, посевным площадям, использованию удобрений и техники.

Ключевые слова: экономико-математическая модель, оптимальное распределение, посевные площади, сельскохозяйственное предприятие, урожайность.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Сельскохозяйственное производство является стратегически значимой сферой деятельности Луганской Народной Республики. Повышение его эффективности способствует экономической устойчивости и стабилизации экономики ЛНР, а также обеспечению ее продовольственной безопасности и независимости.

В настоящее время большинство сельскохозяйственных предприятий ЛНР находятся в сложном финансово-экономическом состоянии. Это объясняется нестабильностью политической ситуации, потерей украинского внутреннего рынка сбыта и цепочек поставок ресурсов, высокой степенью износа основных производственных фондов и другими факторами [1]. В связи с этим актуальной является задача рационального использования имеющихся на предприятии ресурсов с целью повышения рентабельности его хозяйственной деятельности.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросы эффективного управления производственно-экономической деятельностью сельскохозяйственных предприятий рассмотрены в трудах С. Н. Волкова, А. А. Варламова, В. Д. Кирюхина, М. В. Лысенко, К. М. Кирюхиной, Л. С. Твердовской, А. В. Купчиненко, В. Е. Куликова, А. В. Родионова, Р. Г. Кравченко, И. Г. Попова и др. [1–5].

В работе [2] показана важность использования экономико-математического моделирования в управленческой деятельности сельскохозяйственных предприятий и отмечено, что ввиду сложности моделирования сельскохозяйственных систем, большого количества информации и ограниченности финансовых ресурсов большинство предприятий РФ не используют этот математический метод. Кроме того, как правило, оптимизируются отдельные процессы (распределение удобрений, использование техники и др.)

В работе [1], посвященной экономико-математическому моделированию оптимизации производства продукции, рассмотрено построение оптимизационных моделей для определения приоритетных структур деятельности сельскохозяйственных предприятий с учетом имеющихся условий.

В работе [3] рассмотрена суть следующих оптимизационных задач растениеводства:

- определение оптимальных размеров площадей для каждой культуры и их распределение по конкретным полям хозяйства;
- оптимизация затрат на покупку удобрений, исходя из норм их расхода на каждое поле.

В работе [4] предложена экономико-математическая модель для определения оптимальной структуры посевных площадей типичного аграрного предприятия на основе севооборота.

В работе [5] рассмотрено решение задачи оптимального распределения посевных площадей предприятия, специализирующегося на производстве зерна, на основе использования методов теории игр [6]. При этом задача рассматривается как игра с природой в виде зависимости средней урожайности культур от погодных условий, которая сводится к задаче линейного программирования.

Постановка задачи. Целью статьи является разработка экономико-математической модели оптимального распределения посевных площадей сельскохозяйственных культур для максимизации объема произведенной продукции в стоимостном выражении с учетом ограничений по количеству выращенных культур, посевным площадям, использованию удобрений и техники, а также ее апробация в условиях нечеткой информации об урожайности культур.

Изложение материала и его результаты. Построим экономико-математическую модель, нацеленную на формирование оптимального плана посева сельскохозяйственных культур, позволяющего получить максимальный объем выращенной сельскохозяйственной продукции в стоимостном выражении. Искомыми величинами будут площади, отводимые под посев n культур на m участках. Обозначим через x_{ij} площадь (га), отводимую под посев i -й культуры на j -м участке.

Объем произведенной продукции для i -й культуры в стоимостном выражении составит

$$P_i \cdot \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij}, \quad i = (\overline{1;n}), \quad j = (\overline{1;m}), \quad (1)$$

где P_i — цена за 1 центнер i -й культуры, руб.;

c_{ij} — урожайность i -й культуры на j -м участке, ц/га.

Тогда целевая функция, характеризующая объем произведенной продукции в стоимостном выражении, примет вид

$$F = \sum_{i=1}^n \left(P_i \cdot \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \right) \rightarrow \max. \quad (2)$$

Сформируем систему ограничений. Как правило, при распределении посевных площадей выдвигается требование получить определенное количество выращенных культур. Его может выдвинуть государство для обеспечения потребности населения продуктами питания. Для обеспечения этого требования вводится ограничение

$$\sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \geq C_i, \quad (3)$$

где C_i — урожай i -й культуры, ц.

Поскольку размеры посевных площадей ограничены территорией сельскохозяйственного предприятия, зададим это ограничение в виде

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq S_j, \quad (4)$$

где S_j — площадь j -го участка.

Для повышения урожайности выращиваемых культур необходимо вносить удобрения, расход которых определяется установленными нормами и засеваемой площадью. Если имеется лимит на общий расход удобрения, вводится ограничение

$$u \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \leq U, \quad (5)$$

где u — норма расхода удобрения, л/га; U — резерв удобрения, л.

Для обработки посевных площадей требуется использовать технику, что в условиях ограниченности ресурсов приводит к необходимости задания следующего ограничения

$$k_l \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \leq K_l, \quad (6)$$

где k_l — норма времени работы техники l -го вида, ч/га;

K_l — ресурс времени работы техники l -го вида, ч.

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, БИЗНЕС-ИНФОРМАТИКА

С учетом того, что площади участков, отводимых под посевы, не могут быть отрицательными, получим следующую систему ограничений

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \geq C_i, \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} \leq S_j, \\ u \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \leq U, \\ k \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \leq K, \\ x_{ij} \geq 0. \end{array} \right. \quad (7)$$

Таким образом, задача сведена к следующей задаче линейного программирования: найти такое распределение посевных площадей участков $X = (x_{ij})$, при котором значение целевой функции (2) будет

максимальным при условии соблюдения системы ограничений (7).

Рассмотрим ее решение на примере реальных данных сельскохозяйственного общества с ограниченной ответственностью (ООО) «Ломоватское» (ЛНР) за 2019 г., занимающегося выращиванием зерновых культур, бобовых культур и семян масличных культур. В распоряжении хозяйства имеется 6 участков земли, а также определенное количество удобрений и техники для выполнения сельскохозяйственных работ. Исходные данные о средней урожайности культур на участках и их цене приведены в таблице 1, а данные о размерах участков, ограничениях на количество выращенной продукции, использовании удобрений и тракторов приведены в таблице 2. Кроме того, заданы следующие параметры: норма расхода удобрений — 0,443 л/га; расход времени трактора на обработку 1 га — 8,635 маш./ч. Результаты решения задачи приведены в таблице 3.

Таблица 1

Средняя урожайность культур и их цена

Наименование культур	Урожайность участков, ц. с га						Цена за 1 ц., руб.
	I	II	III	IV	V	VI	
Пшеница	40	35	42	40	30	45	800
Рожь	40	42	35	45	30	44,5	800
Кукуруза	35	42	32,5	32	20	25,5	800
Горох	20	15	22,5	30	10	25	1300
Ячмень	25	40	22,5	35	25	30	700
Подсолнечник	15	20	30	22	10	22,5	1400

Таблица 2

Заданные ограничения

Выращенная продукция		Посевные площади	
Культура	Минимальное количество, ц	Наименование участка	Размер участка, га
Пшеница	15000	I	350
Рожь	2300	II	100
Кукуруза	60	III	95
Горох	270	IV	90
Ячмень	3000	V	70
Подсолнечник	1300	VI	250
Удобрения, л		Тракторы, маш./ч.	
Максимальное количество	350	Максимальное количество	4500

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, БИЗНЕС-ИНФОРМАТИКА

Таблица 3

Результаты расчета при средних значениях урожайности культур

Наименование культур	Искомые площади под засев, га						Ожидаемый урожай, ц
	I	II	III	IV	V	VI	
Пшеница	9,73		51,56	29,89		250,0	15000
Рожь				51,11			2300
Кукуруза		1,43					60
Горох				9,00			270
Ячмень		75,00					3000
Подсолнечник			43,44				1303
Посевные площади, га	9,73	76,43	95,00	90,00	0,0	250,0	

В результате решения задачи получено, что при заданных условиях для получения наибольшего объема сельскохозяйственной продукции в стоимостном выражении второй и третий участки целесообразно использовать частично, а пятый участок вообще не засеивать культурами. При этом остальные участки будут использованы полностью с отведением конкретного участка земли под каждую культуру. По результатам моделирования максимальное значение целевой функции, соответствующее возможному объему реализации продукции в стоимостном выражении, составило 18163567 руб.

Рассмотрим ту же задачу, но для условий возможного диапазона значений урожайности сельскохозяйственных культур, которая зависит от погодных условий. В случае неблагоприятных погодных условий урожайность будет ниже средних значений. Значения урожайности при неблагоприятных погодных условиях по данным экспертов при постоянстве всех прочих исходных данных приведены в таблице 4, а результаты расчета по этим данным — в таблице 5.

Моделирование, выполненное по данным таблицы 4, показало, что в этом случае не могут быть достигнуты заданные ограничения по количеству выращенной продукции для всех сельскохозяйственных культур, и требуется корректировка заданных ограничений по минимальному количеству выращенной продукции. Максимальное значение целевой функции в этих условиях достигается, если сократить площадь под посев ячменя до 8,83 га и получить количество выращенного ячменя 309 ц. Сумма объема реализации в стоимостном выражении при этом составит 16275390 руб. Если требуется выращивать все культуры в той же пропорции, что и при средней урожайности, то можно достичь объема реализации в стоимостном выражении 15975495 руб. При этом количество выращенных культур сократится примерно на 12 % по сравнению с вариантом средней урожайности.

Максимальные значения урожайности при благоприятных погодных условиях приведены в таблице 6, а результаты расчета по этим данным — в таблице 7.

Таблица 4

Минимальная урожайность участков

Наименование культур	Минимальная урожайность участков, ц. с га					
	I	II	III	IV	V	VI
Пшеница	35	30	37	35	25	40
Рожь	35	37	30	40	25	39,5
Кукуруза	30	37	27,5	27	15	20,5
Горох	15	10	17,5	25	5	20
Ячмень	20	35	17,5	30	20	25
Подсолнечник	10	15	25	17	5	17,5

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, БИЗНЕС-ИНФОРМАТИКА

Таблица 5

Результаты расчета при минимальных значениях урожайности культур

Наименование культур	Искомые площади под засев, га						Ожидаемый урожай, ц
	I	II	III	IV	V	VI	
Пшеница	75,70		43,00	21,70		250,0	15000
Рожь				57,50			2300
Кукуруза		1,62					60
Горох				10,80			270
Ячмень		8,83					309
Подсолнечник			52,00				1300
Посевные площади, га	75,70	10,45	95,00	90,00		250,0	

Таблица 6

Максимальная урожайность участков

Наименование культур	Максимальная урожайность участков, ц. с га					
	I	II	III	IV	V	VI
Пшеница	45	40	47	45	35	50
Рожь	45	47	40	50	35	49,5
Кукуруза	40	47	37,5	37	25	30,5
Горох	25	20	27,5	35	15	30
Ячмень	30	45	17,5	40	30	35
Подсолнечник	20	25	35	27	15	27,5

Таблица 7

Результаты расчета при максимальных значениях урожайности культур

Наименование культур	Искомые площади под засев, га						Ожидаемый урожай, ц
	I	II	III	IV	V	VI	
Пшеница	18,21		1,01	36,29		250,0	15000
Рожь				46,00			2300
Кукуруза		1,28					60
Горох				7,71			270
Ячмень		66,67					3000
Подсолнечник			93,99				3290
Посевные площади, га	18,21	67,94	95,00	90,00		250,0	

Как видно из приведенных результатов, при благоприятных погодных условиях рекомендуется значительно увеличить площадь участка под выращивание подсолнечника. При увеличении его количества до 3290 ц получено максимальное значение целевой функции. Сумма объема реализации в стоимостном выражении при этом составит 20944305 руб. Если такое решение неприемлемо с точки зрения реализации подсолнечника, следует изменить ограничения по количеству выращенной продукции для сельскохозяйственных культур.

Для всех рассмотренных вариантов для получения максимального значения объема произведенной продукции в стоимостном выражении пятый участок земли засеивать не рекомендуется, на втором участке целесообразно выращивать ячмень и кукурузу, на третьем — подсолнечник, на четвертом — горох и рожь. Под выращивание пшеницы рекомендуется отводить полностью шестой участок земли и частично четвертый, третий и первый участки. При таком распределении первый и второй участки используются лишь частично.

Таким образом, моделирование позволяет в условиях нечеткой информации об урожайности культур получить оптимальное распределение площадей сельскохозяйственных культур и рассмотреть варианты получения оптимальных решений для различных значений ограничений по количеству выращенных культур.

Выводы и направление дальнейших исследований. Построена экономико-математическая модель, позволяющая по-

лучать оптимальное распределение площадей сельскохозяйственных культур для различных значений ограничений по количеству выращенных культур и данных об их урожайности.

В дальнейшем планируется реализовать рассмотренный подход в виде системы поддержки принятия решений для принятия управленческих решений с целью рационального использования ресурсов сельскохозяйственной организации.

Библиографический список

1. Лысенко, М. В. Экономико-математическое моделирование оптимизации производства продукции [Текст] / М. В. Лысенко, Ю. В. Лысенко, Э. Х. Таипова // *Фундаментальные исследования*. — 2014. — № 11–8. — С. 1750–1755.
2. Майорова, М. А. Экономико-математические модели в управлении производственно-экономической деятельностью сельскохозяйственных предприятий [Электронный ресурс] / М. А. Майорова // *Интернет-журнал «Науковедение»*. — 2014. — Вып. 4 (23). — С. 1–13. — Режим доступа: <http://naukovedenie.ru>.
3. Иванов, В. Н. Экономико-математическое моделирование оптимальных параметров в сельском хозяйстве [Текст] / В. Н. Иванов, Ю. С. Никонова // *Территория науки*. — 2016. — № 2. — С. 83–89.
4. Родионов, А. В. Экономико-математическое моделирование оптимизации структуры посевных площадей аграрных предприятий [Текст] / А. В. Родионов, Е. И. Макарова // *Вестник ЮРГТУ (НПИ)*. — 2016. — № 1. — С. 88–92.
5. Городов, А. А. Оптимальное распределение посевных площадей сельскохозяйственных предприятий на основе решения матричной игры [Текст] / А. А. Городов, А. А. Городова, М. А. Федорова // *Вестник КрасГАУ*. — 2014. — № 10. — С. 3–8.
6. Лепило, Н. Н. Использование игровых моделей для повышения эффективности управленческой деятельности [Текст] / Н. Н. Лепило // *Направления повышения эффективности управленческой деятельности органов государственной власти и местного самоуправления : сборник материалов I междунар. научно-практ. конф.* — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2018. — С. 104–113.

© Лепило Н. Н.

© Дьячкова В. В.

Рекомендовано к печати д.э.н., проф. каф. ЭУ ЛГУ им. В. ДАЛЯ Коваленко Н. В., д.э.н., проф. каф. СКС ДонГТИ Бизяновым Е. Е.

Статья поступила в редакцию 31.03.2021.

PhD in Engineering Lepilo N. N. (LSU named after V. Dahl, Lugansk, LPR, lepilonn@gmail.com),
PhD in Economics Diachkova V. V. (LSU named after V. Dahl, Lugansk, LPR, dyachkova.vika@gmail.com)
OPTIMAL CROP AREA DISTRIBUTION MODEL

The article has developed an economic and mathematical model of optimal crop area distribution to maximize the amount of produced products in value terms considering the crop constraints, planted areas, the use of fertilizers and equipment.

Key words: *economic and mathematical model, optimal distribution, planted areas, agricultural enterprise, crop yield.*