

**А. Д. САПАРБАЕВ<sup>1</sup>, А. Т. МАКУЛОВА<sup>2</sup>, А. А. ЕЛЕУСОВ<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Академия Кайнар, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>НАО «Университет Нархоз», Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Международная академия инновационных технологий,  
Нур-Султан, Казахстан

## **МОДЕЛИ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЗЕРНА В КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЕ ЗЕРНОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ**

*Цель научной статьи состоит в определении оптимальных вариантов прикрепления зерновых хозяйств к хлебоприемным предприятиям. При написании работы были использованы методы изучения библиографических источников и принципы экономико-математического моделирования, систематизации, синтеза, сравнения, количественного и качественного анализа.*

*Результаты исследования: определены оптимальные варианты прикрепления зерновых хозяйств к хлебоприемным предприятиям на условиях эффективного использования технической возможности их по операциям приема, обработки, размещения, формирования партий зерна и оптимальная схема привязки хлебоприемных предприятий к перерабатывающим заводам с учетом расстояния перевозок для целевого назначения, а также годовой потребности.*

**Ключевые слова:** моделирование, экономико-математические модели, информация, планирование, управление, технология, оптимизация.

**Введение.** Для повышения эффективности производства зерна необходимо обеспечить тесную связь зернового хозяйства с отраслями, занимающимися хранением, переработкой зерновых культур и реализацией их продукции.

Правильная организация вывоза выращенного урожая зерновых культур играет важную роль в повышении эффективности функционирования хлебоприемных предприятий (ХПП) и всего отрасли экономики, так как способствует относительному сокращению всех транспортных расходов, повышению качества и сохранности зерна, снижению себестоимости заготовок, совершенствованию экономических взаимоотношений отраслей зерноперерабатывающих производств в процессе транспортно-заготовительных работ в сжатые сроки.

Разного рода встречные, излишне дальние перевозки зерновых культур отвлекают транспортные средства от действительно нужных зерновых перевозок, необоснованно увеличивают объем транспортных и погрузочно-разгрузочных работ, что, в свою очередь, вызывает нерациональный расход государственных средств, выделяемых на возмещение затрат по организации работ транспортных систем. Следовательно, снижения расходов по вывозу можно добиться на основе рациональных схем перевозок путем оптимальной увязки зерновых хозяйств с ХПП [1, 2].

**Материал и методы исследования.** Решение такой комплексной многовариантной проблемы может быть осуществлено только на базе применения интенсивных методов формирования решений, а именно на основе использования экономико-математических моделей и компьютерных информационных технологий.

Обязательным условием заготовок зерна является сдача его на ХПП в возможно более короткие сроки. При этом необходимо организовать своевременную доставку зерна от хлебосдатчиков к ХПП.

При оптимизации технологии заготовок зерна в системе «поле-заготовка» можно определить основные параметры объема заготовок и формирование оптимальных потоков перевозки зерна транспортными средствами. К ним относятся: выявление возможной величины объема заготовок и удельного веса зерновых культур, а также установление числа формируемых партий зерна по целевым назначениям в зависимости от состояния и технологического достоинства.

Задача увязки зерновых хозяйств с ХПП относится к классу задач оперативного планирования. Математическая модель задачи увязки зерновых хозяйств с ХПП сформулирована как многоиндексная транспортно-распределенная задача линейного программирования большой размерности.

Необходимо отыскать в области допустимых значений такие решения, при котором минимизируются работы, выполняемые транспортными средствами по перевозке зерновых культур в системе «поле-заготовка».

Перейдем к рассмотрению математической модели задач.

Требуется минимизировать

$$F(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T R_{il} X_{ijlt} \quad (1)$$

при ограничениях:

на объем выращиваемых зерновых культур

$$\sum_{l=1}^L X_{ijlt} \geq Q_{ijt}, \quad i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}; t = \overline{1, T}; \quad (2)$$

на объем заготовок зерна каждого ХПП

$$\sum_{i=1}^m X_{ijlt} \geq P_{jlt}, \quad l = \overline{1, L}; j = \overline{1, n}; t = \overline{1, T}; \quad (3)$$

на вместимость ХПП

$$\alpha_l \leq \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^T X_{ijlt}, \quad l = \overline{1, L}; \quad (4)$$

на технические возможности ХПП

$$\sum_{i=1}^m U_{ijt} X_{ijlt} \leq V_{ilt} P_{jlt}, \quad j = \overline{1, m}; l = \overline{1, L}; t = \overline{1, T}; \quad (5)$$

при естественном требовании неотрицательности переменных

$$X_{ijlt} \leq 0 \quad i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}; l = \overline{1, L}; t = \overline{1, T}; \quad (6)$$

где  $i$  – индекс зернового хозяйства;  $j$  – индекс вида зерновых культур;  $l$  – индекс ХПП;  $t$  – индекс временного подпериода;  $Q_{ijt}$  – объем зерновых культур  $j$ -го вида в  $i$ -хозяйстве, который необходимо перевезти в подпериод  $t$ ;  $P_{jlt}$  – объемы заготовок  $l$ -го ХПП по  $j$ -ой культуре в подпериоде  $t$ ;  $\alpha_l$  – минимальный объем зерна необходимый для бесперебойной работы  $l$ -го ХПП;  $R_{il}$  – расстояние между  $i$ -ми зерновыми хозяйствами и  $l$ -ном ХПП;  $U_{ijt}$  – удельный вес  $j$ -ой культуры в  $i$ -ом хозяйстве подпериоде

$t$ ;  $V_{jlt}$  – удельный вес  $j$ -ой культуры в  $l$ -ой ХПП а подпериоде  $t$ ;  $X_{ijlt}$  – объемы поставляемых зерновых культур  $j$ -го вида с выращенного  $i$ -го зернового хозяйства к  $l$ -му в подпериоде  $t$ .

В более общем случае модель (1)–(6) следует дополнить неравенствами типа (4), учитывающим зерносушильные мощности ХПП. Однако математическое содержание модели от этого изменится.

При решении задачи (1)–(6) обычными методами линейного программирования возникают значительные трудности, связанные с большой размерностью задачи и ограниченностью объема быстросействующей памяти компьютерной техники [3].

Специфика системы ограничений (1)–(6) позволяет использовать метод агрегирования: заменяется процесс решения исходной задачи решением ряда задач значительно меньшей размерности с соответствующей увязкой получаемых решений.

Экспериментальные расчеты по модели (1)–(6) выполнялись на реальных данных Акмолинского областного департамента сельского хозяйства и Комитета статистики Министерств Национальной экономики Республики Казахстан за последние годы с помощью разработанного специализированного диалогового комплекса «ASTYK», обеспечивающего решение в реальном масштабе времени задачи увязки зерновых хозяйств с ХПП на территории области. Предназначенные для проведения расчетов по линейным моделям различного содержания размерности и структуры на базе типовых программных средств, а также процедуры предусматривают параметрическую генерацию моделей, их дорасчетную диагностику, автоматическую настройку программ генерации отчетов, управление диалогом [4, 5].

В соответствии с этим программное обеспечение осуществляет: табличный ввод информации; контроль и коррекцию исходной информации; расчет оптимального плана увязки; анализ и коррекцию полученных результатов; выдачу выходных форм документов.

Экспериментальные расчеты состоят из трех этапов: 1) подготовка исходной информации для решения конкретного варианта задачи; 2) решение задачи; 3) выдача результатов решения в удобной для пользователя форме.

На первом этапе для представления исходной информации в современных пакетах решения оптимизационных задач математического программирования принят MPS-формат представления данных.

Нами разработан комплекс программ, осуществляющий перевод данных в MPS-формат, позволяющий представлять входные данные в виде таблиц, быстро и эффективно корректировать вводимую информацию.

На втором этапе для установления оптимального варианта увязки зерновых хозяйств с ХПП решались следующие задачи: группирование зерновых хозяйств по ХПП с учетом существующего перечня на основании договоров контрактации; группирование зерновых хозяйств по ХПП с учетом наименьшего расстояния подвоза зерна в пределах области; группирование зерновых хозяйств по ХПП с учетом наименьшего расстояния подвоза зерна в пределах района.

При оценке схемы привязки исследуемых вариантов проведенный анализ решения показал, что наиболее оптимальным считается второй вариант, т.е. увязки зерновых хозяйств за ХПП с учетом наименьшего расстояния подвоза зерна в пределах области.

В результате работы хозяйств, ХПП и автомобильного транспорта в соответствии с оптимальной схемой увязки хозяйств с ХПП среднее расстояние подвоза зерна на предприятия сократилось против существующего на 13,1 км, т.е. сократилась стоимость перевозки 1 т зерна на 3024 тенге в целом по области. От оптимизации увязки зерновых хозяйств с ХПП общая экономическая эффективность составила (расчетно) 709128 тыс. тенге.

На третьем этапе на основании полученного решения и первичной информации вычисляются интересующие нас технико-экономические показатели в форме отчетов.

Экспериментальные расчеты показали необходимость учета в модели (1)–(6) еще целого ряда условий и ограничений, причем таких, которые, как правило, заранее неизвестны, и могут быть актуализированы только специалистом-экономистом непосредственно в процессе формирования плана.

**Результаты и их обсуждение.** В приведенной модели (1)–(6) предполагается, что все величины являются детерминированными, однако исследования показывают, что считать заранее определенными эти величины нельзя, так как в различных условиях они могут значительно изменяться. Поэтому детерминированная модель (1)–(6) не отражает условий, связанных со случайным характером величин, и возникает необходимость рассматривать модели стохастического программирования, учитывающие вероятностный характер исходной информации.

Предположим, что все данные модели (1)–(6), кроме правых частей неравенств (3) и (5), заранее известны. Пусть величина  $P_{jlt}$  – объемы заготовок зерна ХПП – является случайной величиной с заданным законом распределения. Тогда задачу (1)–(6) можно сформулировать как одноэтапную стохастическую задачу в виде:

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T R_{ilt} X_{ijlt} + M \left( \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T \alpha_{jlt} \left( \max \left( 0; \sum_{i=1}^m X_{ijlt} - P_{jlt}(\Theta) \right) \right) \right) + \quad (7)$$

$$+ M \left( \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T \beta_{jlt} \left( \max \left( 0; \sum_{i=1}^m U_{ijl} X_{ijlt} - V_{ilt} P_{jlt}(\Theta) \right) \right) \right) \rightarrow \min,$$

$$\sum_{t=1}^T X_{ijlt} \geq Q_{ijl}, \quad i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}; t = \overline{1, T}; \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^L X_{ijlt} \geq \alpha_1, \quad l = \overline{1, L}, \quad (9)$$

$$X_{ijlt} \leq 0 \quad i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}; l = \overline{1, L}; t = \overline{1, T}; \quad (10)$$

где  $\alpha_{jlt}$ ,  $\beta_{jlt}$  – штрафные множители.

Полученная задача является сложной экспериментальной задачей. Для ее решения неприменимы известные методы линейного программирования. Следует отметить, что сложность решения связана с тем, что практически невозможно получить точное выражение функции  $Z$  и ее производных. Поэтому для решения задачи (7)–(10) целесообразно применять прямые вероятностные методы стохастического программирования, в частности метод стохастической линеаризации [6].

Таким образом, по экспериментальному расчету при наименьшем расстоянии подвоза зерна создается экономическая предпосылка по уменьшению расходов на заготовку зерна в зерноперерабатывающем производстве.

Снижение транспортных расходов при транспортировке зерна в комплексной системе «поле–заготовка–переработка», сохранение их качества за счет ускорения транспортировки достигается приложением наиболее рациональных схем перевозок путем оптимальной координации и взаимоувязки его составляющих подсистем.

Нами разработаны двухэтапные оптимизационные модели управления формированием запасов и реализацией целевых партий пшеницы в производственной системе «поле–заготовка–переработка» [7].

Математическая модель транспортировки зерна в комплексной системе «поле–заготовка–переработка» сформулирована как производственно-транспортная задача линейного программирования большой размерности.

Решение задачи транспортировки зерна в комплексной системе «поле–заготовка–переработка» осуществлялось в двух этапах: «поле–заготовка» и «заготовка–переработка», определяющих формирование оптимальных запасов и реализацию целевых партий пшеницы.

Расчеты по системе «поле–заготовка» показывают, что в целом в области: из 104 зерновых хозяйств обеспечены необходимой вместимостью 74, а зерносушильной производительностью – 99, хорошо оснащены ХПП зерноочистительной техникой, так как по третьему варианту расчета почти сбалансирована ее необходимая и фактическая производительность.

**Выводы.** В комплексной системе «поле–заготовка–переработка» на примере Акмолинской области определены оптимальные варианты прикрепления зерновых хозяйств к хлебоприемным предприятиям на условиях эффективного использования технической возможности их по операциям приема, обработки, размещения, формирования партий зерна и оптимальная схема привязки хлебоприемных предприятий к перерабатывающим заводам с учетом расстояния перевозок для целевого назначения, а также годовой потребности. Данные решения моделей могут быть использованы для обоснования вместимости, пропускной способности хлебоприемных элеваторов и управления реализацией зерна.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Изтаев А.И., Кулажанов К.С., Сапарбаев А.Д. Инновационные технологии и логистики перерабатывающих производств АПК. – Алматы: ТОО «Фортуна Полиграф». 2019. – 722 с. [Iztaev A.I., Kulazhanov K.S., Saparbaev A.D. Innovacionnyye tekhnologii i logistiki pererabatyvayushchih proizvodstv APK. – Almaty: ТОО «Fortuna Poligraf». 2019. – 722 s.]

2 Сапарбаев А.Д. Транспортная логистика в зерноперерабатывающем производстве. – Алматы: ТОО «Фортуна Полиграф». 2019. – 242 с. [Saparbaev A.D. Transportnaya logistika v zernopererabatyvayushchem proizvodstve. – Almaty: ТОО «Fortuna Poligraf». 2019. – 242 s.]

3 Михалевич В.С., Трубин В.А., Шор Н.З. Оптимизационные задачи производственно-транспортного планирования: модели, методы, алгоритмы. – М.: Наука, 2006. – 264 с. [Mihalevich V.S., Trubin V.A., SHor N.Z. Optimizacionnyye zadachi proizvodstvenno-transportnogo planirovaniya: modeli, metody, algoritmy. – М.: Nauka, 2006. – 264 s.]

4 Михалевич В.С., Архангельский Ю.С. О диалоговых моделях планирования // Моделирование и информатика в РАС и ОГАС. – Киев: Ин-т кибернетики им.В.М. Глушкова АН УССР, 1999.

– С.4-16. [Mihalevich B.C., Arhangel'skij YU.S. O dialogovyh modelyah planirovaniya // Modelirovanie i informatika v RAS i OGAS. – Kiev: In-t kibernetiki im.V.M. Glushkova AN USSR, 1999. – S.4-16.]

5 Brockington N.R. Computer modelling in agriculture. Oxford: Clarendon Press, 2009. – 156 p.

6 Ермолев Ю.М., Ястремский А.И. Стохастические модели и методы в экономическом планировании. – М.: Наука, 2009. – 253 с. [Ermol'ev YU.M., YAstremskij A.I. Stokhasticheskie modeli i metody v ekonomicheskom planirovanii. – М.: Nauka, 2009. – 253 s.]

7 Saparbayev A.D. Modeling logistic flows in the transport of cereals // International scientific journal «Austria-science». – Innsbruck: Austria-science, 2017. – №.2. – P.126-130. [Saparbayev A.D. Modeling logistic flows in the transport of cereals // International scientific journal «Austria-science». – Innsbruck: Austria-science, 2017. – №.2. – P.126-130.]

**А. Д. САПАРБАЕВ<sup>1</sup>, А. Т. МАКУЛОВА<sup>2</sup>, А. А. ЕЛЕУСОВ<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Қайнар академиясы, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>“Нархоз университеті” КЕАҚ, Алматы, Қазақстан

<sup>3</sup>Халықаралық инновациялық технологиялар академиясы, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

### **АСТЫҚТЫ ҚАЙТА ӨНДЕУ ӨНДІРІСТЕРІНІҢ КЕШЕНДІ ЖҮЙЕСІНДЕ АСТЫҚТЫ ТАСЫМАЛДАУ МОДЕЛЬДЕРІ**

Ғылыми мақаланың мақсаты – астық қабылдау кәсіпорнына астық шаруашылықтарын бекітудің оңтайлы нұсқаларын анықтау. Жұмысты жазу кезінде библиографиялық дереккөздерді және экономикалық-математикалық модельдеу, жүйелеу, синтездеу, салыстыру, сандық және сапалық талдау принциптерін зерттеу әдістері қолданылды.

Зерттеу нәтижелері – астық қабылдау кәсіпорындарын, олардың өнімді қабылдау, өңдеу, орналастыру, қалыптастыру жұмыстарын жүргізу үшін техникалық мүмкіндіктерін тиімді пайдалану тұрғысында, астық өндіретін шаруашылықтармен тиімді байланыстыру жолдары мен тасымалдау қашықтығын ескере отырып, сондай-ақ жылдық талаптарына сай астық қабылдау кәсіпорындарын өңдеуші зауыттармен байланыстырудың оңтайлы схемасын анықтау болып табылады.

**Түйін сөздер:** модельдеу, экономикалық және математикалық модельдер, ақпарат, жоспарлау, басқару, технология, оңтайландыру.

**A. D. SAPARBAEV<sup>1</sup>, A. T. MAKULOVA<sup>2</sup>, A. A. ELEUSOV<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Akademiya Kainar, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Narkhoz University, Almaty, Kazakhstan

<sup>3</sup>International Academy of innovative technologies, Nur-Sultan, Kazakhstan

### **MODELS OF GRAIN TRANSPORTATION IN A COMPLEX SYSTEM OF GRAIN PROCESSING PLANTS**

The purpose of the scientific article is to determine the optimal options for attaching grain farms to grain receiving enterprises. When writing the work were used methods for studying bibliographic sources and the principles of economic and mathematical modeling, systematization, synthesis, comparison, quantitative and qualitative analysis.

Results of the study – the optimal options for attaching grain farms to grain receiving enterprises were determined on the basis of the effective use of their technical ability in operations of receiving, processing, placing, forming batches of grain and the optimal scheme for linking grain receiving enterprises to processing plants taking into account the distance of transportation for the intended purpose, as well as the annual needs.

**Key words:** modeling, economic and mathematical models, information, planning, management, technology, optimization.