

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ УБОРОЧНО-ТРАНСПОРТНО-ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫМ КОНВЕЙЕРОМ

Бакурадзе Л.А., – аспирант
Кубанский государственный аграрный университет

В статье рассматривается математическая модель оперативного (ежесуточного) управления уборочно-заготовительными процессами в АПК на региональном и районном уровнях. Модель реализована в виде программной системы, внедрение которой в 8 районах Краснодарского края, Республики Адыгея и Курской области на уборке и заготовке зерновых колосовых, сахарной свеклы и риса, что позволило получить прямой экономический эффект более 500 миллионов рублей.

В период заготовки сельскохозяйственных культур (зерновых колосовых, сахарной свеклы, картофеля и других) возникает **проблема** такой организации уборочно-транспортно-заготовительного конвейера, чтобы с одной стороны в минимальные сроки доставить на заготовительные и перерабатывающие предприятия заготавливаемую продукцию, а с другой стороны использовать при этом минимальное количество транспортных средств различной ведомственной принадлежности и при этом потратить минимальное количество горюче-смазочных материалов, не создавая очереди и пробок на погрузочных пунктах, заготовительных предприятиях и автотрассах.

Известно большое количество оптимизационных и рационализирующих транспортных моделей, в том числе транспортная задача линейного программирования, а также задачи имитационного моделирования этих процессов. Однако рассматриваемая проблема не может быть решена путем применения этих моделей по целому ряду причин:

– отсутствует программный инструментарий, реализующий эти модели в такой форме, которая обеспечивает их применение на практике для оперативного управления данными процессами, в частности не генерируются и не выдаются выходные формы для всех участников этих процессов,

содержащие поминутные технологические инструкции для них на день планирования;

– данная проблема вообще не является транспортной задачей, т.к. у нее другие критерии рационализации (согласование межотраслевых Интересов) и другие ограничения, в частности данная задача имеет слишком большую размерность (количество участников) для транспортной задачи; в транспортной задаче транспорт обобществлен, а на практике он имеет различную ведомственную принадлежность и не может назначаться на любые маршруты;

– жестко ограничено время на решение этой задачи (не более нескольких часов), что при реальных размерностях и существующих компьютерах (как правило персональных) не позволяет применить методы имитационного моделирования.

Поэтому авторами предлагается математическая модель и реализующий ее программный инструментарий, отвечающий сформулированным требованиям.

Математическая модель процесса уборки-заготовки урожая

Формализованное описание товарной зоны приведено в работе автора [7]. В общем случае математическую модель уборочно-транспортно-заготовительного процесса на фиксированной транспортной сети объекта управления можно представить соотношениями (1) - (3) :

$$F(t) = \sum_{a=1}^A F(a, t) \quad (\text{тонн}) \quad (1)$$

где: $F(t)$ - аналитически обоснованные имеющиеся совокупные технологические возможности Заготовительного предприятия по регламентированной за время t приемке и обработке всех входящих товарных потоков всех видов принимаемой продукции своей товарной зоны, определяемые суммарными возможностями всех постов разгрузки по максимальному объему приемки

$$F(t) = \sum_{u=1}^U Wu(t) \quad (\text{тонн}) \quad (2)$$

$F(a,t)$ - аналитически обоснованные необходимые технологические возможности n -го Заготовительного предприятия по регламентированной во времени t приемке и обработке входящих товарных потоков по видам продукции a своей товарной зоны.

$$F(a,t) = \sum_{x=1}^X \sum_{j=1}^J \sum_{c=1}^C Wc_j x(a,t) \quad (\text{тонн}) \quad (3)$$

$Wc_j x(a,t)$ - аналитически обоснованные наличествующие технологические возможности Сельхозпроизводителей j по регламентированной во времени уборке-отгрузке товарной продукции вида a в разрезе пунктов погрузки в сочетании с аналитически обоснованными технологическими возможностями Автотранспортных организаций x по регламентированной во времени t транспортировке товарной продукции с пунктов погрузки Сельхозпроизводителей на пункты разгрузки Заготовительного предприятия по элементарным транспортным каналам c транспортной сети товарной зоны.

Модель декларирует **обязательность установления соответствия** технологических возможностей приемки Заготовительного предприятия с технологическими возможностями отгрузки Сельхозпроизводителей и технологическими возможностями транспортировки Автотранспортных организаций в едином временном формате.

Уборочно-транспортно-заготовительные работы, осуществляемые уборочно-транспортно-заготовительным комплексом в течение регламентированного времени t по товарной зоне n -го Заготовительного предприятия, в общем виде опишем следующими основными балансными уравнениями:

1. По объемам поставки-приемки (отправляемым Сельхозпроизводителями и принимаемым Заготовительным предприятием объемам товарной продукции по видам) (4);

2. По объемам грузоперевозок (работ), выполняемых по транспортной сети Автотранспортными организациями (5).

$$En(a) = \sum_{j=1}^J Mjn(a) \quad (\text{тонн}) \quad (4)$$

$$An = \sum_{x=1}^J Wn(x) * t \quad (\text{тонн*км}) \quad (5)$$

Процесс погрузки-транспортировки-разгрузки по товарной зоне Заготовительного предприятия запишем как уравнение балансов выходящих (отправляемых) и входящих (принимаемых) потоков товарной продукции в следующем виде (*потоковое соотношение*):

$$\sum_{y=1}^Y \sum_{l=1}^L Pt(y,l) = \sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L Pijnt(m,l) \quad (\text{тонн/час}) \quad (6)$$

где: $Pt(y,l)$ - входящие товарные потоки (принимаемые Заготовителем);

$Pijnt(m,l)$ - выходящие товарные потоки (отправляемые Поставщиками);

Для выполнения потокового соотношения (5) декларируем следующие производственно-технологические условия:

- в регламентированные сроки t на пунктах погрузки i Сельхозпроизводителей j , в формате спроектированного ежесуточного плана работ, должна отгружаться на подаваемый в установленное время подвижной состав АТО подготовленная к сдаче товарная продукция a (с соблюдением установленной сортности);

- транспортные средства Автотранспортных организаций в предписанные для них сроки должны осуществить своевременную подачу под погрузку распределенного в формате спроектированного ежесуточного плана работ подвижного состава, произвести транспортировку и доставку товарной продукции от мест погрузки к месту разгрузки;

- на приемном пункте Заготовительного предприятия товарная продукция должна быть принята (проверено соответствие качества, осуществлено взвешивание и разгрузка) в полном объеме и в регламентированные сроки в формате показателей ежесуточного плана работ.

Ресурсно-балансная технологическая модель процесса

Ресурсная часть обеспечивает описание декларированных участниками кампании на сутки планирования видов, объемов и режимов работ и выставляемых ресурсов. Проводит определение по каждому участнику фактических возможностей осуществления предполагаемых работ назначаемыми ресурсами.

В формате Поставщиков: подготовленных к сдаче объемов товарной продукции по видам и сортности; выставляемых для производства погрузочных работ погрузочных средств (технические ресурсы); регламентов работ.

В формате Заготовителя: принимаемых объемов товарной продукции по видам и сортности; выставляемого для производства разгрузочных работ разгрузочного оборудования/техники (технических ресурсов); регламентов работ.

В формате Транспортировщиков: выставляемого для производства перевозок подвижного состава автотранспортной техники (технических ресурсов); регламентов работ.

При этом ресурсы и регламенты работы всех Участников процесса не фиксированы и не сбалансированы.

Балансная часть модели обеспечивает согласование ресурсов всех участников и увязку их фактических возможностей: определение возможностей Заготовителя по приёму декларированных Поставщиками его товарной зоны объемов подготовленной к сдаче товарной продукции по видам и сортности; определение фактических объемов поставки товарной продукции по видам и сортности для каждого Производителя; определение регламента приемо-сдаточных работ на сутки.

Определим количественные соотношения модели.

Выявление ресурсных возможностей по Сельхозпроизводителям.

Соотношение между заявленным объемом сельхозпродукции и возможностью отгрузки на пункте погрузки:

$$P_{ij}(a) \neq P_{ijn}(a, d) \quad (\text{тонн}) \quad (7)$$

Соотношение между объемом сельхозпродукции, который может быть предъявлен к вывозу с пункта погрузки и заявленным объемом :

$$\begin{aligned} P_{ijn}(a) &= P_{ij}(a) && - \text{если } P_{ij}(a) \leq P_{ijn}(a, d) \\ P_{ijn}(a) &= P_{ijn}(a, d) && - \text{если } P_{ij}(a) > P_{ijn}(a, d) \quad (\text{тонн}) \end{aligned} \quad (8)$$

Общий объём каждого вида сельхозпродукции, который может отгрузить и сдать на Заготовительное предприятие Сельхозпроизводитель:

$$M_{jn}(a) = \sum_{u=1}^U P_{ijn}(a) \quad (\text{тонн}) \quad (9)$$

Общий объём каждого вида сельхозпродукции, который могут отгрузить и сдать все закрепленные за Заготовительным предприятием Производители сельхозпродукции:

$$M_n(a) = \sum_{j=1}^J M_{jn}(a) \quad (\text{тонн}) \quad (10)$$

Выявление ресурсных возможностей по Заготовителю.

Объем сельхозпродукции одного вида, который может быть принят группой выделенных для этого вида сельхозпродукции постов разгрузки за время работы пункта приемки:

$$P_{en}(a) = \sum_{u=1}^U W_{en}(u) * T_n \quad (\text{тонн}) \quad (11)$$

Общий объем сельхозпродукции одного вида, который может быть принят Заготовителем за время работы приемного пункта (ресурс) :

$$P_n(a) = \sum_{e=1}^E P_{en}(a) \quad (\text{тонн}) \quad (12)$$

Баланс сдачи - приемки по каждому виду сельхозпродукции определяется выражением, устанавливающим соотношение между объемом товарной продукции, который может быть принят Заготовительным предприятием и определенным по Сельхозпроизводителям к сдаче общим объемом сельхозпродукции:

$$\begin{aligned} En(a) &= Pn(a) && \text{- если } Pn(a) \leq Mn(a) \\ En(a) &= Mn(a) && \text{- если } Pn(a) > Mn(a) \quad (\text{тонн}) \end{aligned} \quad (13)$$

Конвейерно-поточная модель процесса

Включает количественные приемы, способы и методы ведения погрузочных, транспортных и разгрузочных работ, обеспечивающие: формирование единого, параметрически увязанного, уборочно-транспортно-заготовительного конвейера; определение непрерывных, нормированных по времени объёмов грузовых потоков товарной продукции по *элементарным транспортным каналам* от мест погрузки к местам разгрузки; определение необходимых транспортных ресурсов в разрезе Поставщиков.

Уравнение для определения объема работы по транспортировке сельхозпродукции в формате пунктов погрузки Сельхозпроизводителей имеет вид:

$$Aijn(a) = Mijn(a) * Sijn \quad (\text{тонн*км}) \quad (14)$$

Уравнение для определения необходимой мощности элементарного транспортного канала по транспортировке сельхозпродукции в формате пунктов погрузки Сельхозпроизводителей имеет вид (*основное соотношение модели процесса*):

$$Wijn(a) = \frac{Aijn(a)}{Tij} \quad (\text{тонн*км/час}) \quad (15)$$

Соотношение, определяющее необходимую мощность совокупного транспортного канала по Сельхозпроизводителю в целом:

$$Wjn = \sum_{a=1}^A \sum_{i=1}^I Wijn(a) \quad (\text{тонн*км/час}) \quad (16)$$

Соотношение, определяющее необходимые для Сельхозпроизводителя транспортные ресурсы в целом:

$$Wj = \sum_{n=1}^N Wjn \quad (\text{тонн*км/час}) \quad (17)$$

Соотношение, определяющее необходимые по товарной зоне транспортные ресурсы в целом:

$$Wn = \sum_{x=1}^X Wn(x) \quad (\text{тонн*км/час}) \quad (18)$$

Дорожно-транспортная модель работ

Дорожная часть модели обеспечивает моделирование уборочно-транспортно-заготовительного процесса по каждой стадии и на каждом этапе (в контексте необходимых к выполнению потоков работ по *элементарным транспортным каналам* от мест погрузки к местам разгрузки). Обеспечивает оперативное конфигурирование топологии транспортной сети для осуществления процесса и технологическое определение общей мощности необходимых по каждой Автотранспортной организации транспортных ресурсов и качественно(марки)-количественный состав выставяемого автоотряда.

Транспортная часть модели обеспечивает структурированное (качественное и количественное) определение достаточных транспортных ресурсов в разрезе Автотранспортных предприятий и Автопарков Производителей, временных и технологических параметров работы отрядов Автотранспортных организаций и каждого транспортного средства.

Формализуем процесс определения ресурсов Автотранспортных организаций. Определение качества и количества необходимых транспортных ресурсов Автопарков Сельхозпроизводителей и централизованных

Автотранспортных организаций осуществляется с применением следующих уравнений и соотношений.

Уравнение, определяющее перекрытие всех товарных потоков по всем каналам транспортной сети товарной зоны Заготовительного предприятия ресурсами автоотрядов всех Автотранспортных организаций имеет вид:

$$\sum_{c=1}^C W_{ijn}(c) = \sum_{x=1}^X \sum_{b=1}^B \sum_{l=1}^L W_x(b, l) \quad (\text{тонн*км/час}) \quad (19)$$

где $W_x(b, l)$ - транспортный ресурс автоотряда Автопарка Сельхозпроизводителя или централизованного АТП.

Уравнение для определения кода марки транспортного средства из списка автоотряда имеет вид:

$$b = |R * Q(x) + 1| \quad (20)$$

Соотношение, определяющее общий транспортный ресурс автоотряда Автопарка Сельхозпроизводителя:

$$W_{jj} = \sum_{b=1}^B \sum_{l=1}^L W_j(b, l) \quad (\text{тонн*км/час}) \quad (21)$$

Соотношение, определяющее общий транспортный ресурс автоотряда централизованного АТП:

$$W_k = \sum_{b=1}^B \sum_{l=1}^L W_k(b, l) \quad (\text{тонн*км/час}) \quad (22)$$

Соотношение, определяющее совокупный транспортный ресурс автоотрядов всех автотранспортных организаций:

$$W_n = W_{jj} + W_k \quad (\text{тонн*км/час}) \quad (23)$$

Транзитная часть модели обеспечивает назначение автотранспортных средств на конкретные маршруты и их расстановку в пространстве товарных потоков на актуализированной транспортной сети сформированного единого информационного поля технологического взаимодействия.

$$G = \sum_{z=1}^Z G(z) \quad (\text{тонн*км/час}) \quad (24)$$

где $G(z)$ – многопараметрический вектор сосредоточенной транспортной единицы маршрута “ z ”, инсталлированного в формате единого информационного поля товарных потоков на территориально-временном пространстве актуализированной на текущий день транспортной сети.

Задача обеспечения эффективности движения транспорта состоит в том, чтобы каждая из участвующих в перевозках транспортных единиц **не мешала** всем остальным наряженным автотранспортным средствам. Такие условия обеспечиваются применением ортонормирования.

Суть такого подхода состоит в следующем. Наряженная на маршрут автотранспортная единица представляется в виде многопараметрического вектора в пространстве единого информационного поля товарных потоков на актуализированной, на текущий день, транспортной сети. Расстановка транспортных единиц осуществляется применением ортонормирования векторов транзита каждого автотранспортного средства в пространстве единого информационного поля товарных потоков путем минимизации корреляции векторов автотранспортных средств за счет сдвига их по временной оси (фазе).

$$Disp [G(z)] \Rightarrow \min \quad (25)$$

При этом достигается практически почти взаимно-ортогональное расположение многопараметрических векторов транзита для каждой из назначенных транспортных единиц по отношению друг к другу, за счёт чего достигается фактическое, пространственно-временное рассредоточение подвижного состава по товарно-сырьевой зоне на день планирования с параметрической увязкой процессов технологического взаимодействия в толкающе-тянущем режиме в течение рабочего дня.

В *заключение* хотелось бы отметить, что авторами была разработана автоматизированная система оперативного управления транспортно-заготовительными процессами в АПК, реализующая данную математическую модель. *Внедрение* этой автоматизированной системы в Краснодарском крае, Республике Адыгея и Курской области продемонстрировало ее высокую эффективность и правильность принятых при разработке математической модели решений. В частности, только за счет экономии ГСМ был получен прямой экономический эффект более *500 млн.рублей* (в действующих ценах). Необходимо отметить, что существуют и другие источники экономической эффективности, такие как повышение качества продукции за счет возможности выбора рациональных сроков уборки и заготовки, уменьшения количества смесей высококачественного зерна с зерном более низкого качества на элеваторах и другие, которые не учитывались при расчете приведенного экономического эффекта.

Литература

1. Бакурадзе Л.А. Персональная проблемно-ориентированная система Дельта на базе микро-ЭВМ Искра-226: ИЛ о НТД №87-11 – Краснодар: ЦНТИ. 1987. – 4 с.

2. Бакурадзе Л.А., Луценко Е.В., Самсонов Г.А. Руководящие материалы по эксплуатации первой очереди автоматизированной информационно-управляющей системы агропромышленного комплекса (АИУС-АПК) с применением ПЭКВМ Искра-226: Руководящие материалы, Курский облисполком – Курск: ЦНТИ. 1986. – 46 с.

3. Бакурадзе Л.А., Самсонов Г.А. Автоматизированный оперативно-го планирования работы предприятий РАПО в период уборки и вывоза урожая сельскохозяйственных культур: Статья (научное издание). – Москва: Э.И. ЦНИИТЭИ приборостроения, вып.14. 1-16, Серия: «Приборное обеспечение АПК» 1985. – 5 с.

4. Бакурадзе Л.А. Автоматизация оперативного планирования и управления работой предприятий РАПО (постановка задачи): №2648-85 Деп., Деп.науч.работы - Москва: Естест. и точные науки, техника. Ежем.библ.указатель ВИНТИ №8(166), 1985, №699. – 13 с.

5. Бакурадзе Л.А., Луценко Е.В. Математическая модель и алгоритм решения задачи оперативного планирования и управления в условиях РАПО: №2650-85 Деп.: Деп.науч.работы-Москва: Естест. и точные науки, техника. Ежем.библ.указатель ВИНТИ №8(166), 1985, №699. – 15 с.

6. Бакурадзе Л.А. Программно-информационное обеспечение задачи оперативного планирования и управления в условиях РАПО (Система “План”: №2649-85 Деп.: Деп.науч.работы-Москва: Естест. и точные науки, техника. Ежем.библ.указатель ВИНТИ №8(166), 1985, №699. – 15 с.

7. Бакурадзе Л.А. Композитная математическая модель навигации уборки – заготовки урожая в АПК / Л.А. Бакурадзе // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2007. – №33(9). Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2007/09/pdf/01.pdf>.