



АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

А. А. ЕФРЕМОВ

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКА

Исследуются некоторые проблемы оптимизации оперативно-производственного планирования машинно-тракторного парка агропромышленных предприятий и предлагаются возможные пути их решения. В частности обосновывается необходимость учета комплектования тракторов и комбайнов соответствующими сельскохозяйственными агрегатами.

Ключевые слова: агропромышленный комплекс, машинно-тракторный парк, оптимизация.

УДК 631.15

Проблема повышения эффективности сельскохозяйственных работ рассматривается в экономической литературе уже достаточно давно. Еще в 1962 г. Л. В. Канторович предложил оптимизационную модель использования машинно-тракторного парка (далее — МТП), содержащую 3 500 переменных и 4 000 ограничений. Занимались этой проблемой и белорусские ученые, такие как А. В. Ленский [1], А. С. Сайганов [2; 3], Т. А. Непарко и др. Одним из серьезных недостатков предлагаемых ими моделей является то, что они не учитывают такой важный аспект агротехнических работ, как необходимость комплектования тракторов и комбайнов соответствующими сельскохозяйственными машинами и орудиями. В данной статье мы постараемся научно обосновать необходимость учета этого фактора, а также показать, что его включение в модель может существенно отразиться на результатах оптимизации.

Постановка задачи. Рассмотрим следующую оптимизационную задачу.

Управляемые параметры:

x_{ij} — количество наличных тракторов (комбайнов) марки j для выполнения механизированной работы i ;

y_{ij} — время работы наличных тракторов (комбайнов) марки j для выполнения работы i в течение рабочего дня (в часах).

Андрей Александрович ЕФРЕМОВ (andrefrem@tut.by), аспирант кафедры прикладной математики и экономической кибернетики Белорусского государственного экономического университета (г. Минск, Беларусь).

Экзогенные переменные:

D — длительность периода, в течение которого согласно плану необходимо выполнить рассматриваемые агротехнические работы (в рабочих днях);

T_{\max} — нормативная продолжительность рабочей смены, т. е. наибольшее возможное время, которое в течение дня может быть отработано одним трактором либо комбайном (в часах);

V_i — общий объем механизированных работ вида i (в соответствующих единицах измерения: т, га);

K_j — количество наличных тракторов (комбайнов) марки j ;

$\|p_{ij}\|$ — матрица производительности трактора (комбайна) марки j при выполнении механизированной работы i ;

$\|c_{ij}\|$ — матрица цен 1 ч работы трактора (комбайна) марки j при выполнении механизированной работы i .

Целевая функция:

$F(x_{ij}, y_{ij})$ — совокупные прямые затраты на выполнение всего комплекса механизированных работ (в ден.ед.)

$$F(x_{ij}, y_{ij}) = D \sum_j \sum_i x_{ij} \cdot y_{ij} \cdot c_{ij} \rightarrow \min.$$

Ограничения:

по наличному количеству тракторов (комбайнов)

$$\sum_i x_{ij} \leq K_j.$$

В каждый момент времени совокупное число тракторов (комбайнов) марки j , работающих одновременно на всех агротехнических операциях, не должно превышать их наличное количество;

по выработке в течение смены

$$\sum_i y_{ij} \leq T_{\max}.$$

Количество часов, отработанных одним трактором (комбайном), не должно превышать нормативной длительности рабочей смены;

по выполнению плановых объемов агротехнических работ

$$D \sum_j p_{ij} \cdot x_{ij} \cdot y_{ij} \geq V_i.$$

Общий объем работ, выполненных трактором (комбайном), закрепленным за конкретной механизированной работой, должен быть не меньше объема по плану (здесь считается, что превышение плана теоретически возможно, хотя на результатах моделирования это никак не отразится);

по экономическому содержанию управляемых параметров

$$x_{ij} \in Z_+, y_{ij} \in Q_+.$$

Число тракторов (комбайнов), закрепленных за конкретной операцией, должно выражаться целым неотрицательным числом, т. е. допускается равенство нулю. Количество часов работы в течение смены каждого трактора (комбайна) должно выражаться рациональным неотрицательным числом.

Данная задача нелинейной оптимизации может быть решена методом обобщенного приведенного градиента (ОПГ), основная идея которого состоит в том, чтобы сократить размерность задачи путем исключения зависимых (базисных) переменных и применить метод приведенного градиента [4]. Данный

метод используется для определения направления спуска и в качестве критерия при установлении оптимальности [5].

Для решения задачи методом ОПГ будем использовать инструмент «Поиск решения», встроенный в MS Excel.

Апробация модели на практике. Рассмотрим возможности применения данной модели к решению прикладной задачи, основанной на реальных статистических данных.

Суть задачи: агропромышленному предприятию в рамках выполнения плана весенне-полевых работ требуется осуществить сельскохозяйственные операции по возделыванию озимых и яровых зерновых, зернобобовых, кукурузы, свеклы. Исходные данные для модели представлены в табл. 1–3 и перечне. В качестве начального примем тот план, который использовался на данном агропромышленном предприятии в ретроспективе.

Таблица 1. Объемы механизированных работ по плану, т

Номер работы	Вид механизированных работ	Объем работ
1	Погрузка органических удобрений	5 000
2	Подготовка органических удобрений	5 000
3	Внесение органических удобрений	6 000

Наличный состав машинно-тракторного парка

<i>Марка трактора (комбайна)</i>	<i>Наличное количество, ед.</i>
Amkodor	2
MT3-82	4
K-700	4
Atles 946 RZ+	1

Таблица 2. Матрица производительности тракторов (комбайнов), т/ч

Вид механизированных работ	Amkodor	MT3-82	K-700	Atles 946 RZ+
Погрузка органических удобрений	38,47	32,13	28,79	33,12
Подготовка органических удобрений	24,3	26,8	29,08	31,22
Внесение органических удобрений	19,3	8,77	14,09	25,41

Таблица 3. Матрица цен одного часа работы тракторов (комбайнов), р.

Вид механизированных работ	Amkodor	MT3-82	K-700	Atles 946 RZ+
Погрузка органических удобрений	36 288	44 674	43 212	40 980
Подготовка органических удобрений	30 650	24 987	37 098	23 998
Внесение органических удобрений	34 623	36 576	30 945	36 543

Полученные в ходе решения результаты представлены в табл. 4 и 5.

Таблица 4. Матрица закрепления (выходные параметры), ед.

Вид механизированных работ	Amkodor	MT3-82	K-700	Atles 946 RZ+
Погрузка органических удобрений	2	1	1	0
Подготовка органических удобрений	0	2	1	0
Внесение органических удобрений	0	0	2	1

Таблица 5. Матрица режима работы (выходные параметры), ч

Вид механизированных работ	Amkodor	MT3-82	K-700	Atles 946 RZ+
Погрузка органических удобрений	4,64	0	0	0
Подготовка органических удобрений	0	6,67	0	0
Внесение органических удобрений	3,36	0	8	8

В рамках найденного решения все без исключения ограничения выполнены. Оптимальное значение целевой функции составило $F = 2\,039\,8084$ р.

В табл. 6 приведено примерное расписание работы машинно-тракторного парка, которое позволит достичь локального оптимума совокупных прямых затрат.

Таблица 6. Оптимальное распределение машинно-тракторного парка для выполнения весенне-полевых механизированных работ

Вид механизированных работ	Закрепленные тракторы (комбайны)	Время работы одной единицы техники, часов в смену
Погрузка органических удобрений	Amkodor (2)	4,64
Подготовка органических удобрений	MT3-82 (2)	6,67
Внесение органических удобрений	K-700 (2)	8
	Atles 946 RZ+ (1)	8

Примечание: в скобках указано количество единиц техники.

Рассмотрим, изменятся ли результаты решения, если в модели учесть дополнительный фактор, а именно комплектование тракторов (комбайнов) сельскохозяйственными машинами и агрегатами.

Введем в модель новые переменные:

r_{ijk} — нормативная потребность, т. е. количество сельхозмашин (орудий) марки k для выполнения трактором (комбайном) марки j механизированной работы вида i ;

R_k — наличное количество сельхозмашин (орудий) марки k ;

r'_{ijk} — фактическая потребность, т. е. количество сельхозмашин (орудий) марки k , которое в соответствии с оптимальным планом предполагается фактически задействовать для выполнения тракторами (комбайнами) марки j механизированной работы вида i с учетом количества тракторов (комбайнов).

Введем в модель новые ограничения

$$\sum_j \max_i r'_{ijk} \leq R_k.$$

Поясним экономический смысл данного ограничения. Величина $\max_i r'_{ijk}$ строится следующим образом: из всех агротехнических операций выбирается та, в которой в любой момент времени задействовано наибольшее количество единиц техники конкретной марки. Затем определяется количество единиц сельскохозяйственных машин (орудий), которые должны быть задействованы в данной операции. Основная суть ограничения сводится к тому, что одни и те же сельхозмашины вполне могут быть использованы в разных операциях тракторами (комбайнами) различных марок, но никак не одновременно.

В данной задаче для упрощения будем считать, что в соответствии с технологией выполнения рассматриваемых весенне-полевых работ агрегаты должны быть задействованы только на одной агротехнической операции — внесении органических удобрений в почву, причем должны использоваться (в определенной последовательности) и разбрасыватель органических удобрений ПРТ-10, и разбрасыватель органических удобрений РОУ-6, и полуприцеп самосвальный тракторный ПСТ-9 (табл. 7, 8 и перечень).

Таблица 7. Матрица потребности в сельхозмашинах и орудиях

Операция	Сельхозмашина	Amkodor	MTЗ-82	К-700	Atles 946 RZ+
Погрузка органических удобрений	ПРТ-10	0	0	0	0
	РОУ-6	0	0	0	0
	ПСТ-9	0	0	0	0
Подготовка органических удобрений	ПРТ-10	0	0	0	0
	РОУ-6	0	0	0	0
	ПСТ-9	0	0	0	0
Внесение органических удобрений	ПРТ-10	1	1	1	1
	РОУ-6	1	1	1	1
	ПСТ-9	1	1	1	1

Наличное количество сельскохозяйственных машин, ед.

ПРТ-10	4
РОУ-6	4
ПСТ-9	4

Таблица 8. Оптимальный план с учетом комплектования

Операция	Закрепленные тракторы (комбайны)	Время работы единицы техники, часов в смену
Погрузка органических удобрений	Amkodor (2)	4,64
Подготовка органических удобрений	MTЗ-82 (1)	4
Внесение органических удобрений	Atles 946 RZ+ (1)	8
	К-700 (4)	7,6

Примечание: в скобках указано количество единиц техники.

В рамках найденного решения все без исключения ограничения выполнены. Оптимальное значение целевой функции составило $F = 21\,983\,266$ р.

Как видно из значений целевой функции, результаты решения двух задач различаются, причем достаточно существенно. Относительная погрешность при использовании упрощенной модели составит 7,2 % (для рассматриваемой задачи).

Таким образом, можно сделать вывод, что учет такого важного фактора, как комплектование тракторов (комбайнов) сельскохозяйственными машинами и орудиями существенно влияет на результаты оптимизации оперативно-производственного планирования на предприятиях АПК, а значит, в обязательном порядке должен учитываться при моделировании выполнения комплекса взаимосвязанных сельскохозяйственных работ.

Литература

1. Ленский, А. В. Организационно-экономические основы развития машинно-технологических станций в АПК Республики Беларусь : автореф. дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / А. В. Ленский; Ин-т аграрной экономики Нац. акад. наук Беларуси. — Минск, 2003. — 20 с.

Lenskiy, A. V. Organizatsionno-ekonomicheskie osnovyi razvitiya mashinno-technologicheskikh stantsiy v APK Respubliki Belarus [Business application of farm machinery depots in AIC of the Republic of Belarus] : avtoref. dis. ... kand. ekon. nauk : 08.00.05 / A. V. Lenskiy; In-t agrarnoy ekonomiki Nats. akad. nauk Belarusi. — Minsk, 2003. — 20 p.

2. Сайганов, А. С. Предпосылки и перспективы создания и функционирования машинно-технологических станций в Беларуси / А. С. Сайганов // Экономические

проблемы агропромышленного комплекса : материалы междунар. науч.-практ. конф. — Минск, 1999. — С. 257—261.

Sayganov, A. S. Predposylki i perspektivyi sozdaniya i funktsionirovaniya mashinno-technologicheskikh stantsiy v Belarusi [Background and prospects of creation and operation of farm machinery depots in Belarus] // *A. S. Sayganov // Ekonomicheskie problemyi agropromyishlennogo kompleksa : materialyi mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* — Minsk, 1999. — P. 257—261.

3. *Сайганов, А. С.* Механизм формирования и регулирования рынка производственно-технических услуг в районном звене АПК : моногр. / А. С. Сайганов, М. И. Белько // *Акад. аграрных наук Респ. Беларусь ; Белорус. науч.-исслед. ин-т экономики и информации АПК.* — Минск, 1998.

Sayganov, A. S. Mehanizm formirovaniya i regulirovaniya ryinka proizvodstvenno-technicheskikh uslug v rayonnom zvene APK [Mechanism of organization and regulation of production and technical service in the regional layer of AIC] : monogr. / A. S. Sayganov, M. I. Belko // *Akad. agrarnyih nauk Resp. Belarus ; Belorus. nauch.-issled. in-t ekonomiki i informatsii APK.* — Minsk, 1998.

4. *Мицель, А. А.* Методы оптимизации. Часть 1 : учеб. пособие / А. А. Мицель, А. А. Шелестов. — Томск : Том. межвуз. центр дистан. образования, 2002. — С. 116—121.

Mitsel, A. A. Metodyi optimizatsii. Chast 1 [Mitsel Methods of optimization. Part 1] : ucheb. posobie / A. A. Mitsel, A. A. Shelestov. — Tomsk : Tom. mezhvuz. tsentr distan. obrazovaniya, 2002. — P. 116—121.

5. *Кузнецов, А. В.* Руководство к решению задач по математическому программированию : учеб. пособие / А. В. Кузнецов, Н. И. Холод, Л. С. Костевич. — Минск : Выш. шк., 1978. — С. 194—201.

Kuznetsov, A. V. Rukovodstvo k resheniyu zadach po matematicheskomu programmirovaniyu [Kuznetsov Mathematical programming guidance] : ucheb. posobie / A. V. Kuznetsov, N. I. Holod, L. S. Kostevich. — Minsk : Vyish. shk., 1978. — P. 194—201.

ANDREI EFREMOV

***PLANNING OPTIMIZATION
OF MACHINE AND TRACTOR FLEET***

Authors affiliation. *Andrei EFREMOV* (andrefrem@tut.by), *Belarusian State Economic University (Minsk, Belarus).*

Abstract. The paper considers some problems concerning optimization of production scheduling of machine and tractor fleet of agro-industrial enterprises. Possible ways of dealing with these problems are provided. In particular, the need is substantiated to take into account equipping tractors and combine harvesters with proper farm machinery units.

Keywords: nonlinear optimization, agriculture, machine and tractor fleet, production scheduling.

UDC 631.15

*Статья поступила
в редакцию 15.09. 2014 г.*

БДЭУ. Беларускі дзяржаўны эканамічны ўніверсітэт. Бібліятэка.
БГЭУ. Белорусский государственный экономический университет. Библиотека.^o
BSEU. Belarus State Economic University. Library.
<http://www.bseu.by> elib@bseu.by