

УДК 631.15, 330.46

ОПТИМИЗАЦИЯ ОПЕРАТИВНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АПК

А. А. Ефремов

аспирант

Белорусский государственный экономический университет

В статье рассматриваются некоторые проблемы оптимизации оперативно-производственного планирования машинно-тракторного парка предприятий АПК и предлагаются возможные пути их решения. В частности, сделан акцент на применении нелинейных оптимизационных моделей и обоснованы их преимущества. Предложена экономико-математическая модель оптимизации использования комплекта тракторов и машин сельскохозяйственного предприятия при выполнении комплекса взаимосвязанных механизированных работ. Приведен расчет по описанной модели на основе данных реального предприятия. Особое внимание уделено интерпретации полученных результатов с экономической точки зрения.

Ключевые слова: нелинейная оптимизация, сельское хозяйство, машинно-тракторный парк, оперативно-производственное планирование.

Введение

Одним из приоритетных направлений повышения эффективности АПК Республики Беларусь в настоящее время остается механизация сельского хозяйства. Она имеет огромное значение для национальной экономики, так как обуславливает рост производительности труда, снижение себестоимости сельскохозяйственного сырья, а следовательно, и продуктов его переработки, позволяет сократить сроки выполнения агротехнических работ, облегчает труд человека, способствует высвобождению трудовых ресурсов.

Объектами механизации в земледелии и растениеводстве выступают такие агротехнические процессы, как: осушение и орошение земель, обработка почвы, посев, внесение удобрений, борьба с вредителями, болезнями, уборка урожая (в некоторых случаях и его переработка), а также ремонт сельскохозяйственной техники.

Технико-экономическая эффективность использования средств механизации сельскохозяйственного производства в большой степени зависит от структуры машинно-тракторного парка, которым располагает агропромышленное предприятие. В связи с этим возникает необходимость в дальнейшей разработке методики научно обоснованного комплексного оптимального проектирования количественного состава машинно-тракторного парка предприятий АПК.

© Ефремов А.А., 2015

Проблема повышения эффективности выполнения механизированных работ за счет оптимизации состава и структуры машинно-тракторного парка рассматривается в экономической литературе уже достаточно давно. Еще в 1962 г. Л.В. Канторович предложил оптимизационную модель использования машинно-тракторного парка, содержащую тысячи переменных и сотни ограничений. Рассматривали эту проблему и белорусские ученые, такие, как А.В. Ленский [1], А.С. Сайганов [2–3], Т.А. Непарко и др. Один из основных недостатков предлагаемых ими моделей заключается в том, что все они относятся к линейным (а значит, слишком упрощают действительность и не позволяют в полной мере учесть все особенности сельскохозяйственного производства). В данной статье мы постараемся устранить этот пробел: показать и научно обосновать преимущества нелинейных моделей.

Постановка задачи

Рассмотрим следующую оптимизационную задачу.

Управляемые параметры:

x_{ij} – количество наличных тракторов (комбайнов) марки j на выполнение механизированной работы i ;

y_{ij} – время работы наличных тракторов (комбайнов) марки j на выполнение работы i в течение рабочего дня (в часах).

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 тракторов (комбайнов) марки j при выполнении механизированной работы i ;

$\|c_{ij}\|$ – матрица цен 1 часа работы тракторов (комбайнов) 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.).

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

Ограничения:

а) По наличному количеству тракторов (комбайнов):

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

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

б) По выработке в течение смены:

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

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

в) По выполнению плановых объемов агротехнических работ:

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

Общий объем работ, выполненных тракторами (комбайнами), закрепленными 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).

г) 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). Число часов работы в течение смены каждого трактора (комбайна) должно выражаться рациональным неотрицательным числом.

Выбор инструмента решения.

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.

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 сельскохозяйствен-

ные операции по возделыванию озимых и яровых зерновых, зернобобовых, кукурузы, свеклы. Исходные данные для модели представлены в таблицах 1–4. В качестве начального плана примем тот, который был использован на данном агропромышленном предприятии в ретроспективе.

Таблица 1 – Объемы механизированных работ по плану, т

№ Работы	Вид механизированных работ	Объем работ
1	Погрузка органических удобрений	5000
2	Подготовка органических удобрений	5000
3	Внесение органических удобрений	6000

Таблица 2 – Наличный состав машинно-тракторного парка

Марка трактора (комбайна)	Наличное количество, ед.
Amkodor	2
МТЗ-82	4
К-700	4
Atles 946 RZ+	1

Таблица 3 – Матрица производительности тракторов (комбайнов), т/ч

	Amkodor	МТЗ-82	К-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 4 – Матрица цен 1 часа работы тракторов (комбайнов), руб.

	Amkodor	МТЗ-82	К-700	Atles 946 RZ+
Погрузка органических удобрений	36288	44674	43212	40980
Подготовка органических удобрений	30650	24987	37098	23998
Внесение органических удобрений	34623	36576	30945	36543

Полученные в ходе решения результаты представлены в таблицах 5 и 6.

В рамках найденного решения все без исключения ограничения выполнены.

Таблица 5 – Матрица закрепления (выходные параметры), ед.

	Amkodor	МТЗ-82	К-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 6 – Матрица режима работы (выходные параметры), ч

	Amkodor	МТЗ-82	К-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

Оптимальное значение целевой функции составило $F = 20\,398\,084$ (руб.).

Интерпретация результатов.

Для того чтобы разработанная модель могла успешно применяться на практике, нужно четко определить, как именно следует интерпретировать полученные с ее помощью результаты. Интерпретация должна быть точной, однозначной, непротиворечивой и соответствующей экономическому содержанию моделируемых объектов и процессов.

В данном случае таблица 5 представляет собой матрицу закрепления и показывает, сколько единиц техники каждой марки будет работать на конкретной агротехнической операции. Следует особо подчеркнуть, что таблицы 5 и 6 тесно связаны между собой. Так, если конкретному элементу матрицы закрепления соответствует нулевой элемент матрицы режима работы, значит, трактор данной марки **не используется** на данной механизированной работе.

Так, например, подготовкой органических удобрений занимаются не 2 трактора МТЗ-82 и 1 трактор К-700 (см. табл. 5), а лишь 2 трактора МТЗ-82 (т.к. трактору К-700 и данному виду работ в таблице 6 соответствует нулевое значение).

Верно и обратное. Рассмотрим, в частности, работу трактора Amkodor на внесении органических удобрений. По матрице закрепления (табл. 5) видно, что на данной сельскохозяйственной операции трактор не работает, а из матрицы режима работы можно сделать вывод, что он работает на этой операции 3,36 ч. Исходя из логического смысла, единственно правильным в данной ситуации будет считать, что трактор Amkodor при внесении удобрений **не используется**.

Значит, для простоты понимания выходных данных, лучше устранить нулевые значения и значения, соответствующие нулевым, и свести результаты в таблицу 7.

Таблица 7 – Оптимальное распределение машинно-тракторного парка для выполнения весенне-полевых механизированных работ

Наименование вида механизированных работ	Закрепленные тракторы (комбайны)*	Время работы 1 единицы техники (часов в смену)
Погрузка органических удобрений	Amkodor (2)	4,64
Подготовка органических удобрений	МТЗ-82 (2)	6,67
Внесение органических удобрений	К-700 (2)	8
	Atles 946 RZ+ (1)	8

*В скобках указано количество единиц техники

По таблице 6 – матрице режима работы – можно определить, сколько часов в смену должен отработать трактор конкретной марки на каждой механизированной работе. Так, например, тракторы Amkodor в количестве 2-х единиц должны распределить свое рабочее время между погрузкой и внесением органических удобрений.

Здесь возникает вопрос – какой из двух вариантов предпочтительнее: один трактор закрепить за погрузкой удобрений, а другой – за внесением их в почву, либо оба трактора совмещают в течение рабочего дня две агротехнические операции, один раз за смену переходя от одной к другой.

Модель дает однозначный ответ: выбирается второй вариант. Только так можно интерпретировать полученные результаты. Solver рассмотрел множество вариантов и предложил на выходе именно тот, который является наилучшим из рассмотренных. При внесении корректировок в оптимальный план “вручную” мы можем ожидать лишь ухудшения значения целевой функции.

Также особый интерес конкретно в данной задаче представляет режим работы тракторов МТЗ-82 и Amkodor. Их рабочая смена состоит из 4,64 и 6,67 ч соответственно. На первый взгляд, налицо неиспользованный резерв рабочего времени (т.к. нормативная длительность смены по условию составляет 8 ч), который можно направить на то, чтобы ускорить выполнение комплекса агротехнических работ. Однако при более детальном рассмотрении становится ясно, что такое решение сделает план механизированных работ неоптимальным. Причина заключается в том, что наша цель при решении поставленной задачи – минимизация денежных затрат, а не затрат времени. Главное, чтобы комплекс взаимосвязанных работ был полностью закончен за 14 дней. Ускорение работ отрицательно скажется на стоимости их выполнения. Поэтому в данном случае недоиспользованные мощности не являются признаком неудачного решения и могут быть направлены на какие-либо другие сельскохозяйственные работы (при их наличии).

Важно также отметить, что в оптимальном плане остались незадействованными 2 единицы трактора МТЗ-82 и 2 единицы трактора К-700. Если в течение сезона на данном агропромышленном предприятии не предусмотрено выполнение каких-либо иных механизированных работ, можно предложить сдать эти 4 трактора в лизинг, или поместить их на консервацию, или оставить в резерве производственных мощностей на случай ремонта уже задействованной техники либо форс-мажорных обстоятельств.

Заключение

Рассмотренная в статье оптимизационная модель позволяет сделать один немаловажный вывод: использование нелинейных моделей по сравнению с линейными имеет по отношению к данной задаче целый ряд преимуществ. В частности, введение рациональных (но не обязательно целочисленных) неизвестных u_j позволяет достичь более высокой точности результатов (за счет того, что в область допустимых решений попадает намного большее количество планов). В то же время такой подход дает возможность формировать более гибкое расписание работы сельскохозяйственной техники, в котором смена не обязательно длится 8 ч. Такой подход позволит выявить резервы рабочего времени и направить их на другие механизированные работы, повысив тем самым эффективность функционирования агропромышленного предприятия.

Таким образом, можно заключить, что использование нелинейных моделей оптимизации использования машинно-тракторного парка предприятий АПК позволяет получить более точные и подходящие к применению на практике результаты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Ленский, А. В.** Организационно-экономические основы развития машинно-технологических станций в АПК Республики Беларусь : автореф. дис. ... канд. экон. н. / А. В. Ленский ; Государственное научное учреждение "Институт аграрной экономики Национальной академии наук Беларуси". – Минск, 2003. – 20 с. – Библиогр.: С. 16–17.
2. **Сайганов, А. С.** Предпосылки и перспективы создания и функционирования машинно-технологических станций в Беларуси / А. С. Сайганов // Экономические проблемы агропромышленного комплекса : научные труды международной научно-практической конференции. – Минск, 1999. – С. 257–261.
3. **Сайганов, А. С.** Механизм формирования и регулирования рынка производственно-технических услуг в районном звене АПК : монография / А. С. Сайганов, М.И. Белько ; Академия аграрных наук Республики Беларусь. Белорусский научно-исследовательский институт экономики и информации АПК ; Академия аграрных наук Республики Беларусь, Белорусский научно-исследовательский институт экономики и информации АПК. – Минск : [б. и.], 1998.

4. **Мицель, А. А.** Методы оптимизации : учебное пособие / А. А. Мицель, А. А. Шелестов. – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2002. – Ч. 1. – С. 116–121.
5. **Кузнецов, А. В.** Руководство к решению задач по математическому программированию : учебное пособие / А. В. Кузнецов, Н. И. Холод, Л. С. Костевич. – Минск : Вышэйшая школа, 1978. – С. 194–201.

Поступила в редакцию 07.04.2015 г.

Контакты: +375-29-326-80-71 (Ефремов Андрей Александрович)

Yefremov A.A. OPTIMIZATION OF PRODUCTION SCHEDULING OF AIC ENTERPRISES.

The article 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 application of non-linear optimization models is emphasized and their advantages are proved.

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