

Таблица 2

Результаты расчетов

Группа	Доля реализации, %	Координаты размещения, км
I	100	$X_C = 169,4; Y_C = 210,0$
	80	$X_C = 169,1; Y_C = 209,7$
	60	$X_C = 168,8; Y_C = 209,4$
II	100	$X_C = 206,2; Y_C = 81,7$
	80	$X_C = 206,5; Y_C = 81,9$
	60	$X_C = 206,8; Y_C = 82,0$
III	100	$X_C = 90,8; Y_C = 173,7$
	80	$X_C = 90,5; Y_C = 173,4$
	60	$X_C = 90,2; Y_C = 173,0$

этому в расчетах были заложены три варианта реализации продукции 100, 80 и 60 % от объема производства.

Полученные результаты позволили определить оптимальное месторасположение распределительного центра для каждой группы районов (табл. 2).

По полученным результатам распределительный центр для первой группы районов определили северную часть Сергиево-Посадского района,

для второй группы — на границе Балашихинского и Ногинского районов и для третьей группы — юго-западную часть Истринского района.

В дальнейшем была проведена корректировка полученных результатов с учетом транспортных развязок, класса и интенсивности загрузки дорог, удаленности от логистических центров, располагающих парком транспорта, который можно было бы использовать при организации движения грузопотоков.

Сформулированные предложения позволят экономически и технически обоснованно подходить к решению вопросов продовольственного обеспечения области, а также будут способствовать развитию механизмов долгосрочных и взаимовыгодных отношений между производителями и потребителями сельскохозяйственной продукции при посредническом участии распределительного центра.

Список литературы

1. Удельный вес продукции растениеводства в продукции сельского хозяйства по категориям хозяйств по субъектам Российской Федерации [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики. — Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/economy/#

УДК 631.86:631.15

Л.С. Качанова, канд. техн. наук

Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

М.В. Вуколов

Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЙ В ОРГАНИЗАЦИЯХ АПК

ООН и международные сельскохозяйственные организации все чаще актуализируют вопрос о переходе на биологическое земледелие с использованием органических удобрений, как важный этап восстановления окружающей среды и природных процессов. Органические удобрения являются неотъемлемой частью биологического земледелия — единственного абсолютно безопасного вида сельскохозяйственной деятельности для окружающей среды и человека.

Основным направлением развития АПК является внедрение систем органического земледелия с применением минеральных и органических удобрений. Использование удобрений в сельском хозяйстве обеспечивает примерно половину прибавки урожая. Минеральные и органические удоб-

рения по-разному влияют на объекты окружающей среды, что необходимо учитывать при их практическом использовании [1].

Известно, что растение является в определенной степени самонастраивающейся системой. Тем не менее величина урожая во многом определяется фактором, элементом питания, который оказывается «узким местом». Одной из задач системы удобрений является своевременное выявление подобных факторов и нейтрализация их тормозящего воздействия [2]. При этом в каждом конкретном случае должны быть использованы взаимосвязи между урожаем и основными затратами, определяющими его величину и качество. Наилучшим образом такие взаимосвязи находят свое выражение в производственных функциях «почва, климат — удобрение — урожай» [3].

Систематизировать подобные взаимосвязи, получить оптимальный план размещения удобрений не представляется возможным без использования экономико-математических и статистических методов и средств вычислительной техники.

Первоочередной задачей разработки систем удобрения является максимальная отдача от вкладываемых средств за счет наиболее рационального их распределения с учетом значимости получаемой продукции для внутривладельческого потребления и реализации на внешнем рынке.

Разработка экономико-математической матричной модели применения системы удобрений с блочным расположением информации содержит следующие составляющие.

Система переменных экономико-математической модели:

- x_r — общий прирост урожайности r культуры, ц;
- x_f — количество закупаемого минерального и органического удобрения f вида, кг д. в., т;
- x_{rk} — прирост урожайности r культуры по k интервалу прибавки, ц;
- x_{rlk} — дозы действующего вещества l , соответственно N , P_2O_5 и K_2O , отнесенные на прирост урожайности r культуры по k интервалу прибавки, кг д. в/га;
- x_{rlf} — дозы в физической массе f удобрения для t способа внесения под r культуру, ц/га;
- x_{jn} — поголовье j вида животного n половозрастной группы, гол.;
- x_{rvwl} — приход v и расход w гумуса, без учета органического удобрения вида l под прирост урожайности с.-х. культур r на всю площадь, т.

Система ограничений экономико-математической модели.

1. Группа ограничений по балансу выноса элементов питания продукцией и внесения их с удобрениями. Ограничения обеспечивают соответствие норм удобрений в единицах действующего вещества приросту урожайности. Обобщенная математическая запись ограничений данной группы имеет следующий вид:

$$-\lambda_l x_{rk} + a_{rlk} x_{rk} = 0, \quad (k \in K, l \in L, r \in R), \quad (1)$$

где r — номер r культуры, $r \in R$; R — множество, составленное номерами r культур; l — номер вида удобрения (элемента питания), $l \in L$; L — множество, составленное номерами видов удобрений (элементов питания); k — номер интервала прибавки урожайности, $k \in K$; K — множество, составленное номерами интервалов прибавки урожайности; λ_l — содержание элементов питания l -го вида в единице действующего вещества удобрения l -го вида; a_{rlk} — затраты действующего вещества удобрений l -го вида на единицу прироста урожайности r -й культуры в k -м интервале прибавки, кг д. в/га; x_{rk} — искомая доза действующего вещества удобрения l -го вида, отнесенная на прирост урожайности r -й культуры по k -му интервалу прибавки, кг д. в/га; x_{rk} — искомый прирост урожайности r -й культуры в k -м интервале прибавки, ц/га.

2. Группа ограничений по границе интервалов прибавки урожайности.

Ограничения реализуют условия по пределу прироста урожайности элементарной культуры в выделенном интервале прибавки.

Обобщенная математическая запись ограничений данной группы:

$$\lambda_{rk} x_{rk} \leq b_{rk}, \quad (k \in K, r \in R), \quad (2)$$

где b_{rk} — граница k -го интервала прибавки урожайности r -й культуры, ц/га; λ_{rk} — выход основной продукции с единицы прироста урожайности r -й культуры по k -му интервалу прибавки; $\lambda_{rk} = 1$, ($k \in K, r \in R$).

3. Группа ограничений по формированию годовых норм удобрений в ассортименте поставки. Ограничения предназначены для перехода от суммарной годовой нормы удобрений в единицах действующего вещества к дозам конкретных форм удобрений в единицах физической массы.

Обобщенная математическая запись:

$$\sum_{k \in K} (\lambda_l x_{rlk}) - \sum_{t \in T} \sum_{f \in F} (V_{ef} x_{rlf}) = 0, \quad (3)$$

$$(\lambda_l = 1, l \in L, r \in R),$$

где f — номер формы удобрения, $f \in F$; F — множество, образованное номерами форм удобрений; F_l — подмножество множества F , составленное номерами форм удобрений, отнесенных к l -му виду удобрений; t — номер срока внесения удобрений, $t \in T$; T — множество, составленное номерами сроков внесения удобрений; V_{ef} — содержание действующего вещества l -го вида в единице физической массы f -й формы удобрения, кг д. в/га; x_{rlf} — искомая доза f -й формы удобрения для внесения в t -й срок под r -ю культуру, ц.

4. Группа ограничений по распределению годовых норм удобрений по срокам внесения. Ограничения предназначены для формирования доз удобрений в ассортименте в соответствии с требованиями по агросрокам применения удобрений.

Обобщенная математическая запись ограничений данной группы:

$$-\sum_{f \in F} (V_{lf} x_{rlf}) + W_{lt} \left(\sum_{t \in T} \sum_{f \in F_l} (V_{lf} x_{rlf}) \right) \leq 0, \quad (4)$$

$$(l \in L, r \in R),$$

где W_{lt} — предельно допустимая доля внесения в t -й срок удобрения l -го вида в годовой норме удобрения l -го вида.

5. Группа ограничений по допустимому удельному весу отдельных форм удобрений в общей дозе.

Обобщенная математическая запись ограничений данной группы:

$$V_{lf} x_{rlf} - W_{lft} \sum_{f \in F_l} (V_{lf} x_{rlf}) \leq 0, \quad (5)$$

$$(f \in F, t \in T, r \in R),$$

где W_{lft} — предельно допустимая доля дозы внесения в t -й срок f -й формы удобрения l -го вида в общей дозе удобрения, в рассматриваемый срок внесения этого же вида.

6. Группа ограничений по суммарному приросту урожайности на участке. Ограничения выполняют вспомогательную функцию: позволяют сформировать значение специальной переменной, характеризующей общую прибавку урожайности по каждой культуре, суммированием частных приростов урожайности по интервалам прибавки.

Обобщенная математическая запись:

$$\sum_{k \in K} (\lambda_r x_{rk}) - x_r = 0, (r \in R), \quad (6)$$

где λ_r — выход продукции с единицы прироста урожайности r -й культуры; $x_r = 1$ ($r \in R$); x_r — вспомогательная переменная, обозначающая суммарный прирост урожайности по r -й культуре, ц.

7. Группа ограничений по балансу ресурсов и потребления удобрений.

Ограничения входят в состав связующего блока.

а. Группа ограничений по балансу ресурсов и потребления минеральных удобрений. Обобщенная математическая запись:

$$W_f \sum_{r \in R} \sum_{t \in T} (a_r x_{rtf}) \leq b_f, (f \in F), \quad (7.1)$$

где W_f — технико-экономический коэффициент, определяющий изменение единиц измерения, $W_f = 0,1$ ($f \in F$); a_r — площадь участка под r -й культурой, га; b_f — фонды удобрений f -й формы, т.

б. Группа ограничений по балансу ресурсов и потребления органических удобрений. Обобщенная математическая запись:

$$W_f \sum_{r \in R} \sum_{t \in T} (a_r x_{rtf}) - W_r \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} (d_{jn} t_{jn} x_{jn}) \leq 0, \quad (7.2)$$

$(f \in F),$

где W_r — технико-экономический коэффициент, определяющий изменение единиц измерения, $W_r = 0,001$; d_{jn} — технико-экономический коэффициент, определяющий суточный выход навоза от j вида животного n половозрастной группы, кг/гол.; t_{jn} — продолжительность стойлового периода животных j вида n половозрастной группы, дней; x_{jn} — поголовье j вида животного n половозрастной группы, гол.

8. Группа ограничений по производству продукции.

Ограничения реализуют условия по выполнению заданий по производству отдельных видов продукции в натуре (прирост урожая за счет удобрений). Обобщенная математическая запись:

$$W_r a_r \sum_{r \in R_m} (\lambda_{rm} x_r) \geq b_m, (\lambda_{rm} = 1, m \in M), \quad (8)$$

где m — номер вида интегральной продукции, $m \in M$; M — множество, составленное номерами видов продукции; R_m — подмножество множества R , составленное номерами культур, отнесенных к m -му виду интегральной продукции; λ_{rm} — выход продукции m -вида в пересчете на единицу продукции r -й культуры; W_r — масштабный множитель перевода центнеров в тонны, $W_r = 0,1$ ($r \in R$); b_m — минимальный допустимый объем производства продукции m -го вида, т.

9. Группа ограничений по поддержанию бездефицитного баланса гумуса в почве. Ограничения реализуют условия по поддержанию бездефицитного баланса гумуса в почве с целью создания условий для воспроизводства почвенного плодородия. Математическая запись ограничения имеет следующий вид:

$$\sum_{r \in R} \beta_{ir} a_r + W_f \sum_{f \in F} x_{rtf} k_{if} a_r \geq 0, \quad (9)$$

где β_{ir} — норма минерализации (накопления) гумуса, т. е. ресурса вида i под посевами культур и угодий вида r ; вводится со знаком плюс в случае образования гумуса и со знаком минус при его выносе; k_{if} — коэффициент перевода органических удобрений вида f в гумус (ресурс вида i).

10. Группа ограничений по наличию скотомест для размещения поголовья половозрастных групп животных в стойловый период.

Обобщенная математическая запись:

$$x_{jn} \leq a_{jn} (j \in J, n \in N), \quad (10)$$

где a_{jn} — количество скотомест для размещения животных j вида n половозрастной группы, гол.

11. Группа ограничений по покупке удобрений. Ограничения реализуют условия по покупке минеральных и органических удобрений, причем отдельные их виды могут быть дефицитными. Математическая запись ограничения имеет следующий вид:

$$Z_f x_f \leq E_f, (f \in F), \quad (11)$$

где Z_f — цена минерального и органического удобрения вида f , тыс. р./т.; E_f — финансовые ресурсы на покупки удобрений вида f , тыс. р.; x_f — количество закупаемого минерального и органического удобрения вида f .

12. Группа ограничений по приходу и расходу гумуса, без учета органического удобрения под прирост урожайности.

Обобщенная математическая запись:

$$x_{rvwl} \leq \sum_{r=1}^R a_r (b_{vrl} - b_{wrl}), (r \in R), \quad (12)$$

где v — разновидность прихода гумуса при расчете баланса без учета действия органического удобрения вида f ; w — разновидности расхода гумуса при расчете его баланса; V — совокупность приходных статей гумуса без учета действия органического удобрения; W — совокупность расходных статей гумуса; b_{vrl} — количество гумуса, образованное из пожнивных и корневых остатков r культуры, без учета действия органического удобрения вида f , т/га; b_{wrl} — потери гумуса за счет минерализации, от эрозии, т/га.

Условия неотрицательности переменных экономико-математической модели: переменные всех групп неотрицательны.

В качестве критерия оптимальности использован показатель дополнительного чистого дохода, отнесенного на удобрение.

Обобщенная математическая запись целевой функции может быть представлена следующим образом:

$$\max z = \sum_{r \in R} \left[a_r ((c_{mr} - c_r)x_r) - \sum_{i \in T} \sum_{f \in F} (c_{if} x_{if}) \right], \quad (13)$$

где c_{if} — удельные суммарные затраты на применение в t -й срок 1 ц f -й формы удобрения. Суммарные затраты складываются из затрат на приобретение, транспортировку, приготовление и внесение удобрений и накладных расходов, в расчете на 1 ц удобрений, p ; c_{mr} — цена 1 ц продукции r -й элементарной культуры, отнесенной к m -му виду интегральной продукции, p ; c_r — удельные затраты на уборку, транспортировку и доработку 1 ц продукции r -й элементарной культуры, $ц$.

Используя разработанную модель применения системы удобрений, определим объемы вносимых удобрений, величину дополнительного чистого дохода, отнесенного на удобрение в соответствии с возможностями СПК (колхоз) «Колос» Матвеево-Курганского район Ростовской области приобрести минеральные удобрения и с учетом развития животноводства (для органических удобрений). В качестве анализируемых культур выбраны: озимая пшеница, яровой ячмень, подсолнечник и кукуруза на зерно.

В отчетах (рис. 1), полученных в ходе оптимизации экономико-математической модели по распределению фондов удобрений СПК (колхоз) «Колос», представлены следующие основные результаты:

1. При распределении минеральных и органических удобрений по участкам возделывания с.-х. культур, максимальный чистый доход от использования удобрений составил 21 644 717,08 р.

2. При использовании органических удобрений появилась возможность высвободить некоторую часть минеральных удобрений, что скажется на снижении себестоимости возделывания с.-х. культур; так ресурс КАС-32 остался полностью не использован — 139,1 кг д.в. (организации рекомендовано отказаться от применения данного удобрения), сульфат аммония недоиспользован на 68,79 кг д.в.

3. Рекомендуемые оптимизированные объемы удобрений для СПК (колхоз) «Колос» Матвеево-Курганского район Ростовской области представлены на рис. 2.

4. Рекомендуемые объемы приобретения минеральных и органических удобрений для получения наибольшей урожайности с.-х. культур суперфосфат простой порошкообразный — 280 т, соль калийная — 2,94 т, органические удобрения — 90 т.

5. Теневая цена, представленная в отчете по устойчивости модели (рис. 3), определяет изменение величины функционала при изменении значения объема ограничения. Например: увеличение заданий по производству зерна озимой пшеницы и ярового ячменя на 1 т приведет к уменьшению целевой функции на 13 347,1 и 2820,8 р., соответственно; увеличение объемов приобретения на 1 т суперфосфата простого порошкообразного и ам-

Microsoft Excel 14.0 Отчет о результатах

Лист: [Mode_2013_10_25.xls]Ud3

Отчет создан: 26.10.2013 20:41:28

Результат: Решение найдено. Все ограничения и условия оптимальности выполнены.

Модуль поиска решения

Модуль: Поиск решения линейных задач симплекс-методом

Время решения: 0,484 секунд.

Число итераций: 101 Число подзадач: 0

Параметры поиска решения

Максимальное время Без пределов, Число итераций Без пределов, Precision 0,000001

Максимальное число подзадач Без пределов, Максимальное число целочисленных решений Без пределов,

Целочисленное отклонение 5%, Считать неотрицательными

Ячейка целевой функции (Максимум)

Ячейка	Имя	Исходное значение	Окончательное значение
\$DM\$85	x ввод формул	0,00	21644717,08

Ограничения

Ячейка	Имя	Значение ячейки	Формула	Состояние	Допуск
\$DM\$11	ц д.в. ввод формул	0,00	\$DM\$11=\$DL\$11	Привязка	0
\$DM\$61	ц д.в. ввод формул	0,00	\$DM\$61<=\$DL\$61	Привязка	0
\$DM\$65	т ввод формул	0,00	\$DM\$65<=\$DL\$65	Без привязки	139,1
\$DM\$60	ц д.в. ввод формул	0,00	\$DM\$60=\$DL\$60	Привязка	0
\$DM\$83	т ввод формул	90,00	\$DM\$83<=\$DL\$83	Привязка	0
\$DM\$66	т ввод формул	8,50	\$DM\$66<=\$DL\$66	Привязка	0
\$DM\$67	т ввод формул	45,40	\$DM\$67<=\$DL\$67	Без привязки	68,79856953
\$DM\$63	ц ввод формул	0,00	\$DM\$63=\$DL\$63	Привязка	0
\$DM\$68	т ввод формул	3,80	\$DM\$68<=\$DL\$68	Привязка	0
\$DM\$69	т ввод формул	0,00	\$DM\$69<=\$DK\$69	Привязка	0
\$DM\$69	т ввод формул	0,00	\$DM\$69<=\$DL\$69	Привязка	0

Рис. 1. Фрагмент отчета по результатам экономико-математической модели по распределению фондов удобрений СПК (колхоз) «Колос»

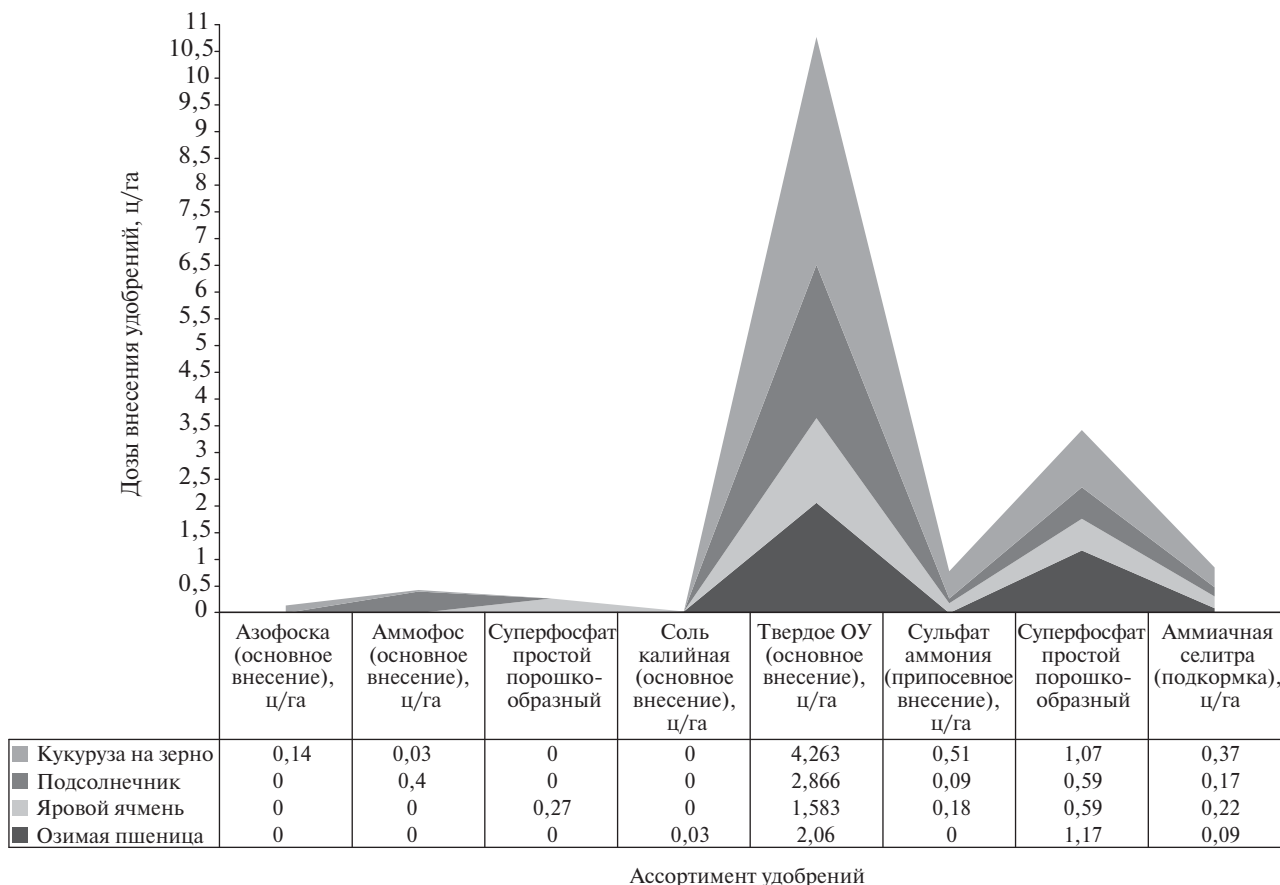


Рис. 2. Оптимальные дозы удобрений для СПК (колхоз) «Колос» Матвеево-Курганского район Ростовской области

Microsoft Excel 14.0 Отчет об устойчивости
Лист: [Mode_2013_10_25.xls]Ud3
Отчет создан: 26.10.2013 20:41:32

Ограничения

Ячейка	Имя	Окончательное Значение	Тень Цена	Ограничение Правая сторона	Допустимое Увеличение	Допустимое Уменьшение
\$DM\$11	ц д.в. ввод формул	1,77636E-15	36258,5	0	0	16,48313485
\$DM\$12	ц ввод формул	10,3	0	12	1E+30	1,7
\$DM\$14	ц д.в. ввод формул	8,60222E-15	438189,1938	0	0	6,911342767
\$DM\$23	ц д.в. ввод формул	3,55271E-14	16544,59429	0	3,701502352	17,59248824
\$DM\$15	ц д.в. ввод формул	4,56239E-15	36258,5	0	0	16,48313485
\$DM\$82	т ввод формул	0	31333,08415	0	21,81796711	0
\$DM\$70	т ввод формул	-2,03393E-13	0	0	2,94065	47,05935
\$DM\$58	ц д.в. ввод формул	-3,12639E-13	25262,94667	0	9,696391394	9,216995443
\$DM\$72	т ввод формул	1176,26	-13347,13759	1176,26	184,4624477	58,80968
\$DM\$68	т ввод формул	3,8	180925,8846	3,8	5,231828698	15,29344168
\$DM\$69	т ввод формул	-2,89901E-12	0	0	1E+30	-2,83116E-14
\$DM\$69	т ввод формул	-2,89901E-12	69440,66441	0	0	39,4637672
\$DM\$10	ц д.в. ввод формул	-1,77636E-14	438189,1938	0	2,382268759	6,911342767
\$DM\$73	т ввод формул	387,6	-2820,794496	387,6	61,2	162,2515596
\$DM\$71	т ввод формул	3,81988E-11	6,82121E-13	0	6212,440317	266,5196835
\$DM\$75	т ввод формул	1576,19	0	766,29	809,9	1E+30

Рис. 3. Фрагмент отчета по устойчивости экономико-математической модели по распределению фондов удобрений СПК (колхоз) «Колос»

мофоса приведет к увеличению целевой функции на 69 440,6 и 31 333,08 р. соответственно.

Аналогично анализируется показатель нормированной стоимости переменных, который опреде-

ляет изменение величины функционала при изменении значения переменной.

Разработанная модель апробирована с применением практических данных СПК (колхоз) «Ко-

лос» Матвеево-Курганского район Ростовской области. Оптимизация фондов, сроков применения удобрений позволит с.-х. организации получать необходимое количество продукции растениеводства при существенной экономии средств на покупку удобрений, внесении их в почву, а также использовать ценный ресурс — навоз от различных групп животных, выращиваемых в с.-х. организации. Навоз выступает как сырье для получения высококачественных органических удобрений, которые в свою очередь являются источником пополнения питательных веществ почвы, а главное — источником восстановления гумуса.

УДК 631.171/.173.003.12

Н.И. Селезнёва

Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ОЦЕНКИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО УРОВНЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В последние годы в агропромышленном комплексе сохраняется тенденция сокращения наличия сельскохозяйственной техники. Парк машин к уровню 1990 года уменьшился более чем наполовину. В настоящее время поступление новой техники составляет не более 3 % от ее наличия, а списание — 4...8 % [1]. Вследствие износа ремонтного оборудования значительно падает качество производимой продукции. Остро встает вопрос обновления как парка сельскохозяйственных машин, так и ремонтно-обслуживающей базы. Для того чтобы руководителям предприятий легче было определиться с выбором нового оборудования, необходима методика оценки технико-экономического уровня машин и оборудования.

К основным технико-экономическим показателям технологического оборудования относятся:

- стоимость оборудования по каталогу производителя (дилера), C_T ;
- срок эксплуатации оборудования, $T_{сл}$;
- масса оборудования, M ;
- норма амортизации оборудования, Z_a ;
- монтажно-наладочные расходы, $C_{мн}$;
- численность обслуживающего персонала, L ;
- суммарные затраты на заработную плату персонала, которая складывается из основной и дополнительной заработной платы с учетом социальных отчислений, $ZП$;
- часовая производительность оборудования, $P_ч$;
- годовая производительность, $W_г$;

Список литературы

1. Бондаренко А.М., Забродин В.П., Курочкин В.Н. Механизация процессов переработки навоза животноводческих предприятий в высококачественные органические удобрения: монография. — Волгоград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2010. — 184 с.
2. Вуколов М.В. Автоматизированное рабочее место «АГРОНОМ-АГРОХИМИК»: методические указания для студентов агрономических специальностей. — М.: МСХА, 1992. — 62 с.
3. Качанова Л.С., Вуколов М.В. Моделирование распределения фондов минеральных удобрений сельскохозяйственной организации: методические рекомендации по выполнению курсовой работы. — М.: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2013. — 36 с.

- норма затрат на техническое обслуживание и ремонт (% от балансовой стоимости), $H_{тор}$;
- расход электроэнергии, $Q_{эл}$;
- стоимость электроэнергии, $Ц_{эл}$.

Текущие издержки (эксплуатационные затраты) при использовании технологического оборудования рассчитываются так:

$$Z_{экс} = ZП + Z_{эл} + Z_a + Z_{тор}, \quad (1)$$

где $ZП$ — суммарная заработная плата (с начислениями) обслуживающего персонала (основная и дополнительная, учитывающая надбавки за стаж, квалификацию, доплаты за качество и количество произведенной продукции); $Z_{эл}$ — затраты на электроэнергию; Z_a — затраты на амортизацию оборудования; $Z_{тор}$ — затраты на ремонт и техническое обслуживание.

Заработная плата обслуживающего персонала на единицу работы:

$$ZП = \frac{ZП_{общ} L W_г}{P_ч}, \quad (2)$$

где $ZП_{общ}$ — общая заработная плата всего обслуживающего персонала со всеми отчислениями за 1 ч работы; L — численность обслуживающего персонала; $W_г$ — годовая наработка; $P_ч$ — часовая производительность.

Затраты на электроэнергию:

$$Z_{эл} = Q_{эл} Ц_{эл} W_г, \quad (3)$$

где $Q_{эл}$ — расход электроэнергии при использовании технологического оборудования; $Ц_{эл}$ — цена электроэнергии.