

## **МЕХАΝІЗАЦЫЯ І ЭНЕРГЕТЫКА**

УДК 631.151.2:633/635

*Е. Г. РОДОВ, А. В. ЛЕНСКИЙ*

### **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕСУРСОПОТРЕБЛЕНИЯ И ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ**

*Институт механизации сельского хозяйства НАН Беларуси*

*(Поступила в редакцию 16.02.2006)*

**Введение.** Обоснование рациональных уровней урожайности и ресурсопотребления является важнейшим и наиболее ответственным этапом выбора перспективных направлений механизации технологических процессов и формирования системы машин для отрасли. В методическом плане задача зачастую сопряжена с необходимостью принятия решений в условиях недостаточного информационного обеспечения, а иногда и отсутствия требуемых для этого исходных данных. Сказанное в первую очередь относится к решению задачи минимизации ресурсопотребления в том случае, когда оптимальные варианты механизации выбирают не из имеющихся (или хотя бы уже известных) технологий и технических средств, а на этапе поиска тех из них, которые обеспечивают ресурсосбережение. Разумеется, речь должна вестись об удельном (в расчете на единицу продукции) ресурсопотреблении, поскольку интенсификация производства является одной из приоритетных задач для республики.

Интенсификация – это процесс производства продукции путем сокращения затрат потребляемых технических, материальных и трудовых ресурсов. Увеличение объемов производства при этом происходит на основе научно-технического прогресса (в отличие от экстенсивного пути развития, когда наращивание производства обеспечивается количественным ростом технической базы, увеличением объемов применяемых ресурсов и числа работающих).

**Объекты и методы исследования.** Объектом исследования являлись технологии и средства механизации, которые изучали с позиций затрат производственных ресурсов на выполнение технологических операций и процессов. При исследовании применялись следующие методы: расчетно-конструктивный, абстрактно-логический, математического моделирования, подобия.

В качестве основного направления ресурсосбережения рассматривались интенсификация производства и факторы, ее определяющие. Интенсификация – это рациональный путь развития для отрасли, когда основной задачей является не столько увеличение валовых сборов продукции, сколько ресурсосбережение при ее производстве. Если же, наряду с ресурсосбережением, не менее важно увеличить производство продукции, должны быть задействованы не только интенсивные, но и экстенсивные факторы. В этом случае речь следует вести о таком увеличении затрат производственных ресурсов, которое сопровождается опережающим ростом урожайности и валовых сборов возделываемых сельскохозяйственных культур.

**Результаты и их обсуждение.** Выполненные ранее исследования закономерности изменения полных энергозатрат показали, что на каждый процент повышения урожайности при возделывании и уборке зерновых и кукурузы на силос полные энергозатраты увеличиваются на 0,7%, картофеля – на 0,6, сахарной свеклы, кормовых корнеплодов и льна – на 0,9% [1]. Это обусловлено тем, что в технологии возделывания и уборки сельскохозяйственных культур такие работы, как основная и предпосевная подготовка почвы, посев и уход за посевами, выполняются вне зависи-

мости от уровня урожайности, а энергоемкость других технологических операций не всегда пропорциональна изменению урожайности. Так, повышение урожайности картофеля в 2 раза ведет к увеличению расхода топлива при работе картофелеуборочного комбайна в среднем на 10%, поскольку малый удельный вес клубней в поступающем на грохот комбайна ворохе (почва, клубни, механические включения) не оказывает существенного влияния на производительность уборочного агрегата.

Совершенно иначе этот фактор сказывается на работе зерноуборочных комбайнов, производительность которых обратно, а энергоемкость прямо пропорциональны урожайности.

Выполненные нами расчеты по изменению расхода ресурсов на единицу прироста урожайности по сельскохозяйственным культурам в целом показывают, что ресурсопотребление в долях на единицу прироста урожайности значительно варьирует в зависимости от вида ресурсов и возделываемых культур (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Изменение расхода ресурсов в долях на единицу прироста урожайности, ед/ед.

Сельскохозяйственная культура	Ресурсы				
	труд	горючее	минеральные удобрения	пестициды	эксплуатационные затраты
Зерновые колосовые	0,59	0,81	0,90	1,00	0,89
Кукуруза на силос и зеленый корм	0,78	0,77	0,95	0,33	0,84
Сахарная свекла	0,90	0,88	1,00	0,60	0,90
Картофель	0,78	0,50	0,57	0,63	0,55
Рапс	0,80	0,78	0,50	0,60	0,68
Лен-долгунец*	0,66	0,84	0,98	0,77	0,84
Капуста белокочанная	0,65	0,61	1,00	0,54	0,68

\* Вся продукция в пересчете на волокно.

Следует отметить также существенные недостатки, присущие применяемой в настоящее время энергетической оценке машин и технологий. Полные энергозатраты как показатель, предлагаемый для характеристики энергоемкости процесса, технологии или комплекса машин [2] и представляющий собой сумму прямых и овеществленных энергозатрат на единицу произведенной продукции или работы, не может выполнять предписываемые ему функции критерия при энергетическом анализе эффективности использования различных производственных ресурсов из-за сложности обоснования энергетических эквивалентов. В первую очередь это относится к энергетической оценке затрат труда, который, в отличие от других видов производственных ресурсов наиболее эффективно используется за счет интеллекта человека, умеющего расходовать этот ресурс наиболее экономично. В результате замена ручного труда машинным сопровождается зачастую непропорциональным увеличением энергозатрат. В условиях чрезвычайно низкой стоимости труда это не стимулирует разработку и внедрение трудосберегающих машин и технологий.

Другим недостатком критерия полной энергоемкости, не позволяющим объективно оценивать различные производственные ресурсы, является то, что их энергетические эквиваленты существенно разнятся в зависимости от того, где и как был получен ресурс. А поскольку в настоящее время большинство из них приобретается за рубежом, оценка путем пересчета в энергоемкость вообще теряет смысл из-за ограниченной возможности влиять на уровень ресурсозатрат. К тому же потребителя объективно интересуют не затраты ресурсов, тем более искаженные несовершенным пересчетом, а цена машины. В условиях рынка она должна учитывать и стоимость ресурсов, расходуемых на ее изготовление.

Наиболее адекватную характеристику ресурсопотребления и ресурсосбережения при применении новых агроприемов, машин и технологий дают затраты производственных ресурсов в натуральном выражении. В качестве таковых следует учитывать труд, расход горючего, металла, минеральных удобрений и пестицидов: трудовые и материальные ресурсы – в соответствующих этим факторам измерителях, а минеральные удобрения и пестициды – в денежных единицах (из-за многообразия применяемых видов, различного содержания действующего вещества и т. п.).

Нами были выполнены расчеты по определению затрат указанных ресурсов на основе сравнения двух вариантов технологических карт (перспективного и базового), отличающихся составом и эксплуатационными показателями применяемых технических средств.

В базовый вариант включены технические средства, находящиеся на производстве у нас в республике и в странах СНГ (в основном в Российской Федерации) и получившие наиболее высокую оценку по уровням ресурсосбережения [3]. В перспективный вариант, наряду с выпускаемыми, включены технические средства, которые будут освоены производством в рамках республиканской системы машин на 2006–2010 годы, а также эффективные в наших условиях средства механизации дальнего зарубежья.

Урожайность культур принималась в достаточно широком диапазоне: зерновые культуры, например, – от 20 до 60 ц/га, картофель – от 120 до 350 ц/га (по 5 градаций). Каждая из этих градаций требует разработки своего варианта технологических карт, что весьма трудоемко. С учетом имеющегося опыта задачу можно значительно упростить, сведя ее решение к двум предельным градациям в предположении, что зависящий от урожайности характер ресурсопотребления может быть описан линейной зависимостью (правомерность принятия такой гипотезы обоснована ниже). В этом случае параметр интенсификации можно определить по формуле

$$I = \frac{R_{ij} / R_{iБ}}{U_{ij} / U_{iБ}}, \quad (1)$$

где  $R_{ij}$  и  $R_{iБ}$  – текущий и базовый уровни потребления  $i$ -го ресурса, соответствующие  $j$ -й и базовой урожайности, ед/га;  $U_{ij}$  и  $U_{iБ}$  – значения текущего и базового уровней урожайности, ц/га.

В выражении (1) величины  $R_{ij}$  и  $U_{ij}$  можно представить соответственно в виде

$$R_{ij} = R_{iБ} + \Delta R_{ij}, \quad U_{ij} = U_{iБ} + \Delta U_{ij}. \quad (2)$$

С учетом (2) выражение (1) примет вид

$$I = \left(1 + \frac{\Delta R_{ij}}{R_{iБ}}\right) / \left(1 + \frac{\Delta U_{ij}}{U_{iБ}}\right). \quad (3)$$

Параметр интенсификации  $I$  говорит о том, сколько долей увеличения удельного ресурсопотребления приходится на единицу повышения урожайности. Очевидно, что если это отношение меньше единицы, то рост урожайности обеспечивается за счет факторов интенсификации, в противном случае мы имеем дело с экстенсивным ростом урожайности.

Величину показателей ресурсопотребления для текущих значений урожайности можно определить с помощью линейной алгебры, по аналогии с тем, как это сделано в работе [4].

Обозначим искомый уровень расходования  $i$ -го ресурса при  $j$ -й урожайности  $R_{ij}$ , соответствующую ему урожайность  $U_{ij}$ , минимальные и максимальные значения указанных показателей для данного вида ресурсов –  $R_{iБ}$ ,  $R_{iП}$  и  $U_{iБ}$ ,  $U_{iП}$  соответственно (рис. 1).

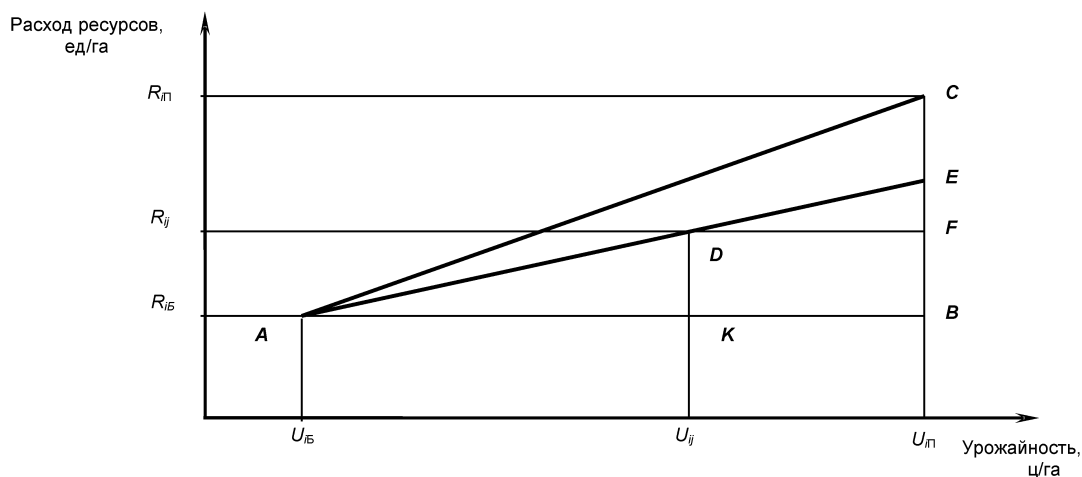


Рис. 1. Схема к определению показателей ресурсопотребления

Величине  $(R_{ij} - R_{iБ})$  соответствуют отрезки  $DK$  и  $FB$ , которые можно определить из подобия пар треугольников  $DEF$  и  $AEB$ ,  $ADK$  и  $AEB$ .

Исходя из того, что  $FB = CB - CF$ ,  $EF/EB = DF/AB$ , а  $EB/DK = AB/AK$ , можно найти неизвестные величины  $EF$  и  $FB$ :

$$EF = \frac{EB \cdot DF}{AB} = \frac{AB \cdot DK}{AK \cdot AB} \cdot DF = \frac{DK \cdot DF}{AK},$$

$$FB = CB - \frac{DK \cdot DF}{AK}.$$

Как следует из рис. 1,  $FB = DK = R_{ij} - R_{iБ}$ ;  $DF = U_{iП} - U_{ij}$ ;  $AK = U_{ij} - U_{iБ}$ ;  $CB = R_{iП} - R_{iБ}$ . С учетом этого можно записать

$$R_{ij} - R_{iБ} = R_{iП} - R_{iБ} - \frac{(R_{ij} - R_{iБ})(U_{iП} - U_{ij})}{U_{iП} - U_{iБ}}. \quad (4)$$

Раскрыв скобки и приведя подобные члены выражения (4), получим уравнение для определения удельного показателя расхода  $i$ -го вида ресурса при возделывании  $j$ -й культуры:

$$R_{ij} = \frac{R_{iП}(U_{ij} - U_{iБ}) + R_{iБ}(U_{iП} - U_{ij})}{U_{iП} - U_{iБ}}. \quad (5)$$

**Пример расчета.** Определить уровень ресурсопотребления и параметр интенсификации для урожайности зерновых 30 ц/га, если для базовой урожайности ( $U_{iБ} = 20$  ц/га) расход ресурса (автотракторное топливо) составляет 122 кг/га, для перспективной ( $U_{iП} = 60$  ц/га) – 213 кг/га.

$$R_{ij} = \frac{213 \cdot (30 - 20) + 122 \cdot (60 - 30)}{60 - 20} = 144,8 \text{ кг/га};$$

$$\Delta R_{ij} = R_{ij} - R_{iБ} = 144,8 - 122 = 22,8 \text{ кг/га};$$

Т а б л и ц а 2. Расход ресурсов на производство 1 т продукции растениеводства

Сельскохозяйственные культуры, варианты механизации	Расчетная урожайность, ц/га	Расход ресурсов на 1 т продукции				
		труд, чел.-ч	горючее, кг	минеральные удобрения, у. е.	пестициды, у. е.	эксплуатационные затраты, у. е.
<b>Зерновые колосовые</b>						
перспективный	60	2,4	24,1	6,5	4,4	56,8
базовый	35	4,5	33,0	8,0	6,4	70,6
<b>Кукуруза на силос и зеленый корм</b>						
перспективный	350	0,38	4,9	1,9	1,0	8,1
базовый	200	0,49	6,4	2,0	3,0	9,7
<b>Сахарная свекла</b>						
перспективный	500	0,75	5,7	1,5	5,6	8,8
базовый	300	0,83	6,5	1,5	9,3	9,8
<b>Картофель</b>						
перспективный	350	2,1	5,8	5,1	6,3	14,0
базовый	180	2,8	11,7	8,9	10,0	25,6
<b>Рапс</b>						
перспективный	25	5,1	40,2	19,4	8,6	86,5
базовый	15	6,4	51,9	22,9	14,4	126,7
<b>Лен-долгунец*</b>						
перспективный	13	65,0	131,2	53,2	31,5	280,5
базовый	10	99,2	156,7	54,3	41,0	335,0
<b>Капуста белокочанная</b>						
перспективный	500	4,8	8,9	1,1	1,3	20,4
базовый	270	7,5	14,6	1,1	2,4	30,0

\*Вся продукция в пересчете на волокно.

$$\Delta U_{ij} = U_{ij} - U_{iБ} = 30 - 20 = 10 \text{ ц/га};$$

$$I = \left(1 + \frac{22,8}{122}\right) / \left(1 + \frac{10}{20}\right) = 0,79.$$

Поскольку  $I < 1,0$ , повышение урожайности от 20 ц/га (базовый вариант) до 30 ц/га по расходу автотракторного топлива достигнуто путем интенсификации: при росте ресурсопотребления на 19% урожайность увеличилась в 1,5 раза.

Результаты расчета затрат производственных ресурсов на возделывание и уборку основных сельскохозяйственных культур для перспективного и базового вариантов механизации приведены в табл. 2.

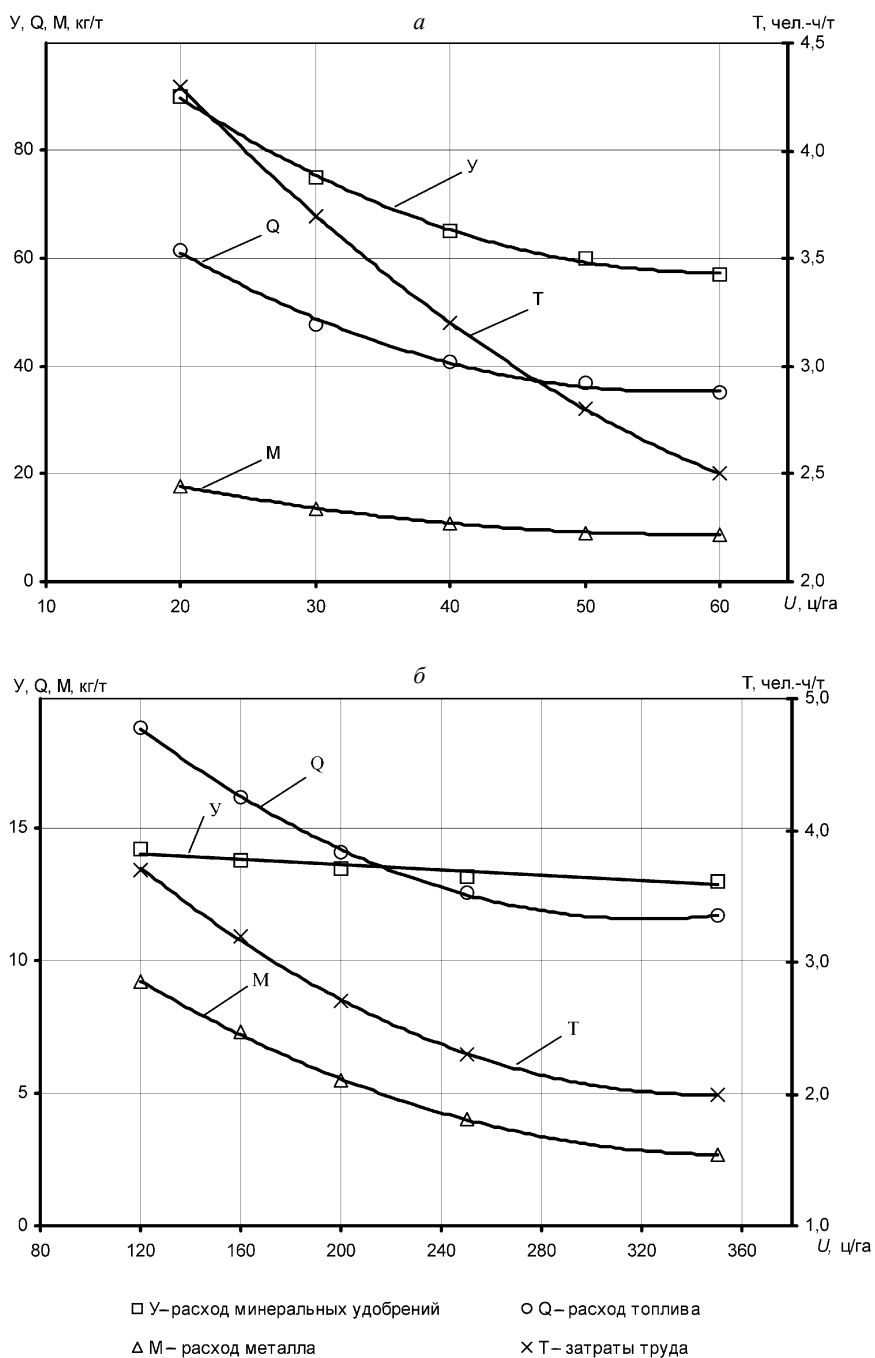


Рис. 2. Зависимость затрат производственных ресурсов от урожайности возделываемых культур: а – зерновые, б – картофель

Характер изменения затрат ресурсов для широкого диапазона урожайности зерновых и картофеля в расчете на тонну продукции показан на рис. 2, а соответствующие указанным зависимостям уравнения регрессии – в табл. 3.

Как следует из рис. 2 и табл. 3, затраты ресурсов с весьма высокой достоверностью описываются полиномиальными зависимостями. В то же время с достаточной для решения практических задач точностью их можно заменить линейными: в этом случае уравнения регрессии значимы по критерию Фишера для всех видов ресурсов, за исключением расхода топлива при производстве картофеля, но и в этом случае значение  $F$  весьма близко к табличному (8,573 и 9,552 соответственно).

Таблица 3. Достоверность аппроксимации ресурсозатрат различными уравнениями регрессии

Ресурс	Уровень ресурсопотребления при урожайности, ц/га					Уравнение регрессии	Оценка значимости
	20	30	40	50	60		
<b>Зерновые</b>							
<b>У</b>	90,0	75,0	65,0	60,0	57,0	Исходные значения	
	89,7	75,4	65,2	59,2	57,3	$Y = 0,021x^2 - 2,47x + 130,8$	$F = 464,185 > F_{таб} = 19,163$ – уравнение значимо
	85,6	77,5	69,4	61,3	53,2	$Y = -0,81x + 101,8$	$F = 16,107 > F_{таб} = 9,552$ – уравнение значимо
<b>Q</b>	61,6	47,6	40,8	37,0	35,0	Исходные значения	
	61,0	48,8	40,5	36,1	35,5	$Q = 0,019x^2 - 2,18x + 96,92$	$F = 100,532 > F_{таб} = 19,163$ – уравнение значимо
	57,1	50,8	44,4	38,0	31,6	$Q = -0,638x + 69,92$	$F = 11,078 > F_{таб} = 9,552$ – уравнение значимо
<b>М</b>	17,7	13,6	10,9	9,1	8,8	Исходные значения	
	17,7	13,6	10,8	9,2	8,7	$M = 0,0061x^2 - 0,709x + 29,44$	$F = 2001,187 > F_{таб} = 19,163$ – уравнение значимо
	16,5	14,2	12,0	9,8	7,5	$M = -0,223x + 20,94$	$F = 14,403 > F_{таб} = 9,552$ – уравнение значимо
<b>Т</b>	4,3	3,7	3,2	2,8	2,5	Исходные значения	
	4,3	3,7	3,2	2,8	2,5	$T = 0,0005x^2 - 0,085x + 5,8$	$F = 8,5 \times 10^{19} > F_{таб} = 19,163$ – уравнение значимо
	4,2	3,7	3,3	2,8	2,4	$T = -0,045x + 5,1$	$F = 86,786 > F_{таб} = 9,552$ – уравнение значимо
<b>Картофель</b>							
<b>У</b>	14,2	13,8	13,5	13,2	13,0	Исходные значения	
	14,2	13,8	13,5	13,2	13,0	$Y = 0,0000243x^2 - 0,017x + 15,84$	$F = 890,316 > F_{таб} = 19,163$ – уравнение значимо
	14,0	13,8	13,6	13,4	12,8	$Y = -0,0051x + 14,64$	$F = 13,243 > F_{таб} = 9,552$ – уравнение значимо
<b>Q</b>	18,8	16,2	14,1	12,6	11,7	Исходные значения	
	18,8	16,2	14,2	12,5	11,7	$Q = 0,00018x^2 - 0,113x + 29,84$	$F = 946,671 > F_{таб} = 19,163$ – уравнение значимо
	17,5	16,3	15,1	13,7	10,7	$Q = -0,030x + 21,09$	$F = 8,573 < F_{таб} = 9,552$ – уравнение не значимо
<b>М</b>	9,2	7,3	5,5	4,0	2,7	Исходные значения	
	9,2	7,2	5,5	4,0	2,7	$M = 0,00012x^2 - 0,084x + 17,61$	$F = 1375,903 > F_{таб} = 19,163$ – уравнение значимо
	8,4	7,3	6,2	4,8	2,0	$M = -0,028x + 11,75$	$F = 16,758 > F_{таб} = 9,552$ – уравнение значимо
<b>Т</b>	3,7	3,2	2,7	2,3	2,0	Исходные значения	
	3,7	3,2	2,7	2,3	2,0	$T = 0,0000336x^2 - 0,023x + 6,03$	$F = 619,229 > F_{таб} = 19,163$ – уравнение значимо
	3,5	3,2	2,9	2,5	1,8	$T = -0,0073x + 4,36$	$F = 14,074 > F_{таб} = 9,552$ – уравнение значимо

Условные обозначения: **У** – расход минеральных удобрений; **Q** – расход топлива; **М** – расход металла; **Т** – затраты труда.

**Заключение.** Ресурсосбережение является важнейшей задачей при выборе перспективных направлений механизации технологических процессов и формировании системы машин. В методическом плане ее решение сопряжено с несовершенством применяемых критериев оценки и необходимостью принятия решений в условиях недостаточного информационного обеспечения.

Применяемый в настоящее время критерий, предусматривающий пересчет физических объемов потребляемых ресурсов в энергию, не выполняет функций объективной оценки ресурсопотребления из-за сложности обоснования энергетических эквивалентов, ограниченной возможности управлять эффективностью овеществленных в машинах импортированных ресурсов, варьирования показателя суммарных энергозатрат в зависимости от того, где и как были получены ресурсы.

Наиболее объективную характеристику ресурсопотребления и ресурсосбережения при применении новых агроприемов, машин и технологий дают затраты производственных ресурсов в натуральном выражении. В качестве таковых следует учитывать затраты труда, расход горючего, металла, минеральных удобрений и средств химической защиты растений. В статье предложена апробированная на конкретных примерах методика решения этой задачи.

При возделывании и уборке сельскохозяйственных культур многие технологические операции основной и предпосевной подготовки почвы, ухода за посевами выполняются вне зависимости от уровня урожайности. Поэтому интенсификация производства продукции является определяющим условием ресурсосбережения. Предложен показатель, позволяющий объективно оценивать, за счет каких факторов (интенсивных или экстенсивных) обеспечен рост урожайности, определять соответствующие этому показателю граничные уровни ресурсопотребления и потенциальные возможности ресурсосбережения.

## Литература

1. Родов Е. Г. Оптимизация системы машин для мелкотоварного производства в сельском хозяйстве: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Мн., 1994.
2. Севернев М. М. Энергосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве. Мн., 1994.
3. Шило И. Н., Родов Е. Г. Обобщенный показатель для комплексной оценки машин и технологий // Интенсификация с.-х. производства и формирование системы машин. Мн., 1989.
4. Ленский А. В., Родов Е. Г. Определение цены новых машин по удельным показателям // Механизация и электрификация сельского хозяйства: Межвед. тем. сб. Мн., 2005. Вып. 39. С. 9–16.

*E. G. RODOV, A. V. LENSKY*

## PREDICTION OF THE INDICES OF RESOURCES CONSUMPTION AND PRODUCTION INTENSIFICATION IN PLANT GROWING

### Summary

Resources consumption is estimated depending on the level of the production intensification. Its regularities are established and methodical approaches to solving the resource-saving problem are outlined. It is shown that the expenses of production resources per each unit growth of crop yield are 0.6 – 0.9 of unit growth. This points to the intensification efficiency as a resource-saving factor and is caused by the fact that many works are being carried out irrespective of the crop yield level.