

## КУРСОВАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ПАХОТНОГО МТА ПРИ РАБОТЕ С НЕСИММЕТРИЧНОЙ ТЯГОВОЙ НАГРУЗКОЙ

Г.С. Горин, д.т.н., профессор (УО БГАТУ); И.С. Сушко, М.М. Казак (РУП МЗШ);  
А.В. Захаров, аспирант (УО БГАТУ)

### Аннотация

*В статье рассмотрены задачи курсовой устойчивости пахотного МТА при движении правыми колёсами по дну борозды, образованной предыдущим проходом плуга. Установлена связь курсовой устойчивости ходовой системы трактора с устойчивостью полунавесного плуга в горизонтальной плоскости и рассматривается как курсовая устойчивость движения пахотного агрегата в целом. Показано влияние на динамику плуга отклонения остова трактора: изменение нагрузок на полевые доски корпусов и отклоняющих моментов, действующих на последние, угла отклонения балки плуга и смещения корпусов плуга в сторону вспаханного поля "бочение". Предложены рекомендации для настройки пахотного агрегата в составе полунавесного плуга при движении правыми колёсами трактора по дну борозды.*

### Введение

В статье [1] рассматривалась задача об оценке показателей курсовой устойчивости МТА при движении с несимметричной тяговой нагрузкой правыми колёсами по дну борозды, открытой предыдущим проходом плуга. На основе математической теории трения, у истоков которой стоял белорусский исследователь Ф. А. Опейко, предложена схема для расчёта кинематических показателей курсовой устойчивости

трактора при работе с несимметричной тяговой нагрузкой. Приведён алгоритм расчёта кинематических показателей ходовой системы трактора. Установлено, что из-за большого отклоняющего момента, стабилизация прямолинейности курсового движения пахотного агрегата, работающего с несимметричной тяговой нагрузкой, путём блокировки межколёсных дифференциалов (МКД) и межосевого привода (МБП) недостаточно эффективна и трактор при работе переходит на криволинейную траекторию движения с ра-

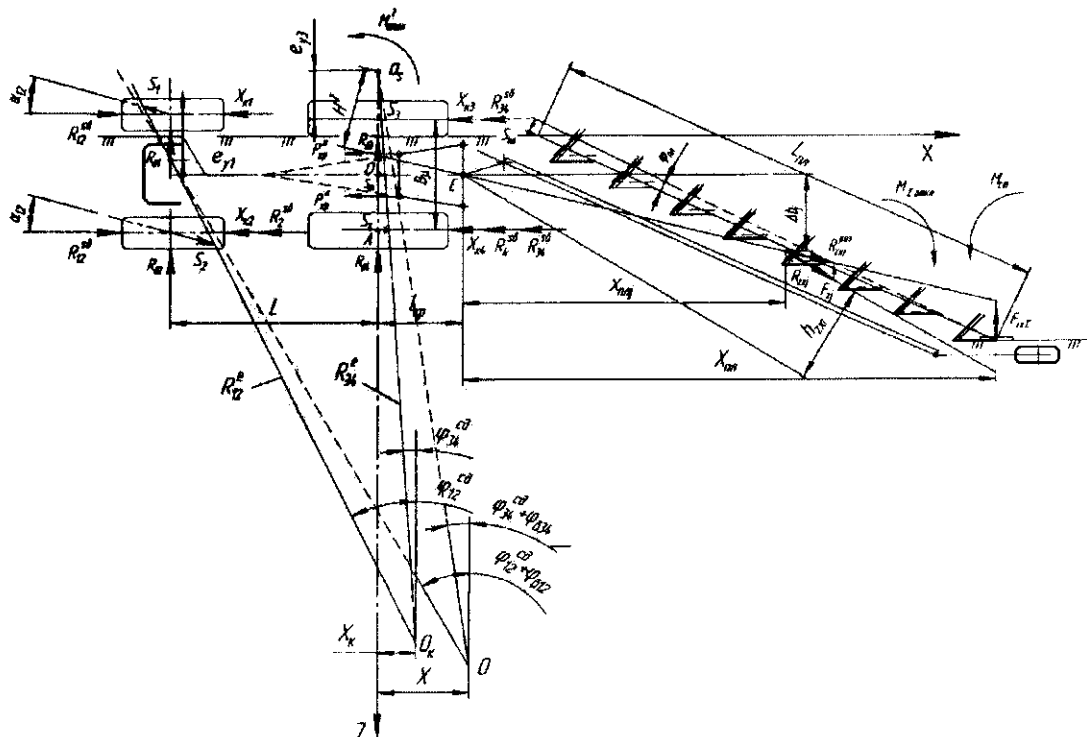


Рисунок 1. Схема для расчёта усилий, действующих на полевые доски плуга, и отклоняющих моментов в пахотном агрегате.

диусом 25...30м вокруг некоторого смещённого назад центра скоростей. Поэтому необходимо рассмотреть устойчивость плуга в горизонтальной плоскости и влияние на его динамику отклонения остова трактора.

**УСТОЙЧИВОСТЬ ПЛУГА В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ ПРИ ОТКЛОНЕНИИ ОСТОВА АГРЕГАТИРУЕМОГО С НИМ ТРАКТОРА**

На рисунке 1 показано, что на каждый  $j$ - корпус плуга действует вектор силы  $R_{xj}$

$$R_{xj} = R_{xj} + R_{zj},$$

наклонённый к оси  $x$  под углом  $\Delta_j$ .

Из теории плуга известно, что при отклонении линии тяги на угол  $\Delta$  вправо полевые доски плуга разгружаются на величину  $tg\Delta R_x$ , при отклонении влево - догружаются на ту же величину.

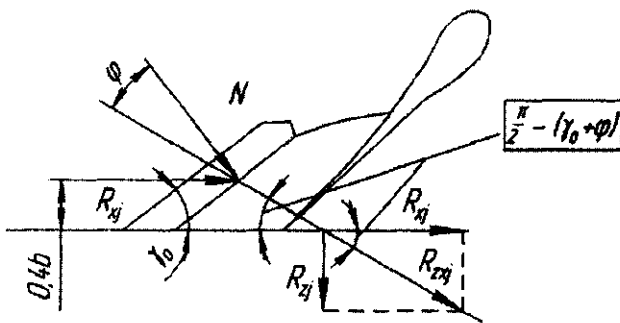


Рисунок 2. Схема сил, действующих на корпус плуга.

Следовательно, для каждого корпуса из (рис.1 и 2) запишем:

$$R_{zj}^{\Sigma} = R_{zj} \pm \Delta R_{zj}$$

$$R_{zj} = R_{xj} \cdot tg \left[ \frac{\pi}{2} - (\gamma_0 + \varphi) \right] = R_{xj} ctg(\gamma_0 + \varphi),$$

$$\Delta R_{zj} = tg\Delta_j R_{xj},$$

где  $\gamma_0$  - угол, образуемый лезвием лемеха со стенкой борозды (у современных плугов  $\gamma_0 = 38^{\circ}$ );

$\varphi$  - угол трения почвы по стали  $\varphi \approx 27,5^{\circ}$ .

Отсюда

$$R_{zj}^{\Sigma} = R_{xj} [ctg(\gamma_0 + \varphi) \pm tg\Delta_j]. \quad (1)$$

Для каждого  $j$ - корпуса можно рассчитать:

- отклонения линии тяги

$$\pm tg\Delta_j = \frac{\Delta b_j}{x_{njj}},$$

где  $x_{njj}$  и  $\Delta b_j$  - продольная и поперечная координата точки приложения результирующей  $R_{xj}$   $j$ - корпуса относительно шарнира  $E$ ;

- боковые составляющие приращений

$$\Delta R_{zj} = tg\Delta_j R_{xj};$$

- отклоняющие моменты относительно шарнира сочленения

$$M_{j \text{ откл}} = R_{zj} \cdot h_{zsj}, \quad (2)$$

где  $h_{zsj}$  - плечо действия вектора силы  $R_{zj}$  относительно шарнира  $E$  крепления рамы плуга к трактору.

Суммарный отклоняющий момент, действующий относительно шарнира  $E$

$$M_{\Sigma \text{ откл}} = \sum_{j=1}^n M_{j \text{ откл}}, \quad (3)$$

где  $n$  - число корпусов;

равен стабилизирующему моменту,

$$M_{ст} = F_{x\Sigma} \cdot X_{n1}, \quad (4)$$

который создаёт полевая доска последнего корпуса

$$* - R_{\Sigma} = \eta \cdot k \cdot a \cdot b$$

Таблица 1

Расчётные значения усилий, действующих на полевые доски плуга ППН-8-30/50 и ПКМ-6-40Р, и отклоняющих моментов при  $R_x = 3,08 \text{ кН}$ ,  $R_z = 1,4 \text{ кН}$ ,  $R_{zx} = 3,38 \text{ кН}$

Количество корпусов	$\Delta_j$ , град	$\Delta R_{zj}$ , кН	$R_{zj}^{\Sigma}$ , кН	$M_{j \text{ откл}}$ , кН·м	$M_{\Sigma \text{ откл}}$ , кН·м	$F_{x\Sigma}$ , кН
8	+13°	0,708	2,108	3,38	19,83	5,83
	-4°	-0,215	1,185	3,10		
	-8°	-0,432	0,968	2,83		
	-12°	-0,654	0,745	2,56		
	-16°	-0,883	0,517	2,29		
	-18°	-1,001	0,399	2,16		
	-20°	-1,120	0,280	1,89		
	-21,5°	-1,210	0,190	1,62		
					16,32	3,21

где  $\eta$  – КПД плуга,  $\eta=0,6-0,8$ ;

$a$  – глубина вспашки,  $a=0,22$  м;

$b$  – ширина захвата одного корпуса,  $b=0,4$  м

Удельное сопротивление почвы  $k$  находится для различного типа почв в пределах 20...150 кН/м<sup>2</sup> [2]. Из табл.1 следует, что максимальные боковые силы и отклоняющие моменты действуют на передние корпуса, соответственно, у них наибольшие потери на трение.

При векторном сложении сил  $\vec{R}_{zj}$  и  $\vec{F}_{zj}$  формируется результирующая сила тягового сопротивления, проходящая через шарнир  $E$

$$R_{рез} = \sum_{j=1}^n (\vec{R}_{zj} + \vec{F}_{zj}).$$

В свою очередь, результирующая сила тягового сопротивления  $R_{рез}$

– на плече  $H^T$  относительно полюса трения  $O_S$  создаёт отклоняющий корпус трактора момент

$$M_{откл}^T = R_{рез} \cdot H^T, \quad (5)$$

– на плече  $H_{ЦВТН}$  относительно центра вращения нижних тяг навески (ЦВТН) создаёт момент, поворачивающий тяги навески

$$M_{откл}^H = R_{рез} \cdot H_{ЦВТН}. \quad (6)$$

За счёт сдвиговых деформаций контакта колёс  $S_3$  и  $S_4$ , вызванных дополнительными тангенциальными реакциями (ДТР), при блокировке межколёсных дифференциалов (МКД) и межосевого привода (МБП), [1] происходит продольное смещение шарнира  $E$  назад на величину  $S_E$ . Из рисунка 1 найдём перемещение центра заднего моста трактора  $S_{34}$  с учётом угла увода  $\varphi_{\delta 34}$ . Из подобия треугольников следует

$$\frac{\ell_{y3} + B_{34}/2}{S_{34}} = \frac{\ell_{y3} + B_{34}}{S_4} = \text{tg}(\varphi_{34}^{co} + \varphi_{\delta 34}),$$

где  $\varphi_{34}^{co}$  – угол увода, вызванный продольными сдвигами контактов колёс с почвой.

Так как сдвиг контактного отпечатка

$$S_4 = \sqrt{(S_4^x)^2 + (S_4^y)^2} = S_4^x = \text{tg} \varphi_{34}^{co} [1],$$

то перемещение центра заднего моста с учётом угла увода  $\varphi_{\delta 34}$

$$S_E = S_{34} = \frac{(\ell_{y3} + B_{34}/2) \cdot \text{tg}(\varphi_{34}^{co} + \varphi_{\delta 34})}{\ell_{y3} + B_{34}}. \quad (7)$$

Уравнение связи

$$\frac{(\ell_{y3} + B_{34}/2) \cdot \text{tg}(\varphi_{34}^{co} + \varphi_{\delta 34})}{\ell_{y3} + B_{34}} = L_{ш} \text{tg} \varphi_{ш}. \quad (8)$$

В свою очередь, продольное смещение шарнира  $S_E$  совместно с отклоняющим моментом  $M_{откл}$

вызывает поперечное смещение передних корпусов  $S_{ш}$  – “бочение” плуга. Поворот корпуса плуга происходит вокруг задней полевой доски, что вызывает разгрузку передних и догрузку задних полевых досок.

Из уравнения связи перемещения:

– центрального шарнира  $E$  соединения плуга с навеской трактора (полунавесная система)

$$S_{34} = S_E = S_{ш} = \frac{(\ell_{y3} + B_{34}/2) \cdot \text{tg}(\varphi_{34}^{co} + \varphi_{\delta 34})}{\ell_{y3} + B_{34}}; \quad (9)$$

– шарнира  $B^{\Pi}$  механизма навески в горизонтальной плоскости

$$S_{B^{\Pi}} = \frac{(\ell_{y3} + B_{34}/2 - B_T/2) \cdot \text{tg}(\varphi_{34}^{co} + \varphi_{\delta 34})}{\ell_{y3} + B_{34}}; \quad (10)$$

– шарнира  $B^{\text{II}}$  механизма навески в горизонтальной плоскости

$$S_{B^{\text{II}}} = \frac{(\ell_{y3} + B_{34}/2 + B_T/2) \cdot \text{tg}(\varphi_{34}^{co} + \varphi_{\delta 34})}{\ell_{y3} + B_{34}}. \quad (11)$$

**Таблица 2**

**Расчётные значения  $S_{ш}$  при различных углах отклонения линии тяги  $\Delta$  и номинальной  $P_{кр}$  для агрегата «Беларус 2522»+ППН-8-30/50**

$\Delta$ , град	$\text{tg}(\varphi_{34}^{co} + \varphi_{\delta 34})$ , град*	$\ell_{y3}$ , м	$S_{ш}$ , м	$S_{ш}$ , см
0	15,32	0,259	0,1588	15,9
5	13,25	0,257	0,1268	12,7
10	10,53	0,255	0,0943	9,4
15	7,24	0,253	0,0630	6,3
20	4,71	0,248	0,0313	3,1

данные статьи, опубликованной в 4-м номере за 2006г.

С увеличением  $\Delta$  происходит перераспределение нормальных нагрузок с правого борта трактора на левый, снижаются продольная составляющая  $P_{кр} \cdot \cos \Delta$  тягового сопротивления плуга и ДТР  $R_4^{s\delta}$ ,  $R_2^{s\delta}$ , вызванные блокировкой МКД, а, следовательно, происходят приращения буксований  $\Delta \delta_i$ , сдвиговые деформации  $S_i$  контакта колёс с почвой и  $\varphi_{34}^{co}$ . Растёт поперечная составляющая тяговой нагрузки  $P_{кр} \sin \Delta$ , которую воспринимают боковые

Таблица 3

**Показатели качества технологического процесса вспашки**

Наименование показателей	Значение показателей						
	По ТЗ	По результатам испытаний					
		«Беларус 1522»+ПКМ 6-40Р			«Беларус 1522»+ВВ-100-6		
1	2	3	4	5	6	7	8
Установочная глубина обработки, см	До 25	22			22		
Установочная ширина захвата корпуса, см	30-50	30	38	50	30	38	50
Глубина обработки средняя, см	До 25	23	23	23	23	22	23
Отклонение от заданной глубины пахоты, ±см	2	1	1	1	1	0	1
Рабочая ширина захвата плуга средняя, см	1,8-3,0	1,61	2,18	2,97	1,66	2,23	3,02
Отклонение от конструктивной ширины захвата, см	10	-19	-10	-3	-14	-5	+2
Гребнистость поверхности пашни (высота гребней), см	До 7	4	4	2	4	3	2

реакции  $R_{\delta 3}$  и  $R_{\delta 4}$  задних колёс трактора. В результате этого, отклонение остова трактора и смещение плуга  $S_{пл}$  больше зависит от угла бокового увода

$$\varphi_{\delta} = \frac{R_{\delta}}{K_y}, \text{ где } K_y, \text{ кН/град коэффициент сопротивления боковому уводу (жёсткость шины).}$$

В таблице 3 приводятся экспериментальные данные о показателях качества технологического процесса вспашки полунавесным плугом ПКМ-6-40Р производства ПРУП «Минский завод шестерён», в сравнении с зарубежным аналогом ВВ-100-6 «Kverneland» [3].

По данным таблицы 3 видно, что отклонение от конструктивной ширины захвата довольно значительно и снижается с увеличением ширины захвата и угла отклонения линии тяги  $\Delta$ .

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО НАСТРОЙКЕ ПАХОТНОГО АГРЕГАТА**

Для снижения величины отклоняющих моментов необходимо уменьшить плечи, на которых действуют силы их вызывающие. Отсюда вытекают следующие рекомендации по настройке полунавесного пахотного агрегата необходимо:

1. догрузить грузами левые колёса трактора для выравнивания нормальных нагрузок на колёсах мос-

тов трактора. При этом полюс трения  $O_s$  сместится к центру заднего моста трактора  $O$ . По номограмме на рис.3 находятся необходимые значения нормальных нагрузок и подставляются в выражения (16) и (17) для вычисления балластных грузов.

Кривые  $N_i$  при движении пахотного агрегата всеми колёсами по стерне:

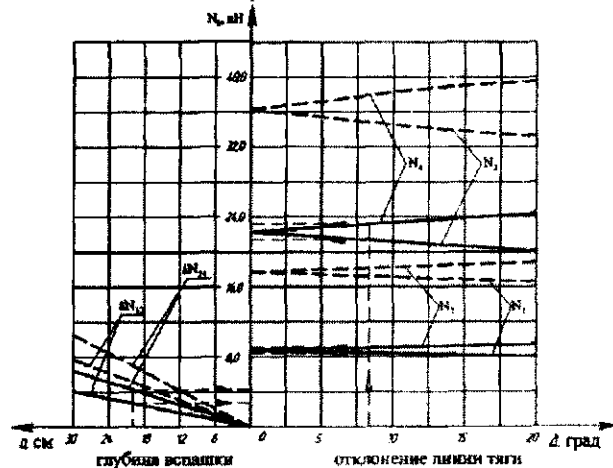


Рисунок 3. Номограмма для расчета массы балластных грузов при номинальной силе тяги  $P_{кр}$  для тракторов «Беларус 2522» и «Беларус 1523».

$$N_{1,2} = \frac{G_{1,2}}{2} + \frac{P_{кр} \cos \Delta \cdot h_1 - P_{кр} \sin \gamma_{кр} \cdot l_{кр} - \sum_{i=1}^{n=4} X_{ki} r_i \cos \alpha}{2L} \pm \frac{P_{кр} \sin \Delta \cdot l_{кр} \cdot h_{кр}}{B_k L}, \quad (12)$$

$$N_{3,4} = \frac{G_{3,4}}{2} + \frac{P_{кр} \sin \gamma_{кр} \cdot l_{кр} + \sum_{i=1}^{n=4} X_{ki} r_i \cos \alpha}{2L} \pm \frac{P_{кр} \sin \Delta \cdot (L + l_{кр}) \cdot h_{кр}}{B_k L}; \quad (13)$$

где  $G_{12}, G_{34}$  – вес трактора, приходящийся на соответственно, переднюю и заднюю оси;

$P_{кр}$  – нагрузка на крюке.  $P_{кр} = R_{рез}$ ;

$h_{кр}$  – расстояние по нормали от уровня опорной поверхности до шарнира  $E$  сцепного устройства;

$h_1$  – расстояние по нормали от шарнира  $E$  до оси задних колёс;

$l_{кр}$  – продольное расстояние от центра шарнира

$E$  до оси задних колёс;

$B_x$  – колея трактора;

$L$  – продольная база трактора;

$r_i$  – динамические радиусы  $i$  – колёс.

Характеристики взаимодействия ведущих колёс с почвой: – касательной силы тяги при прямолинейном движении  $P_{Ki} = \varphi_{maxi} N_i (1 - e^{-\beta_i \delta_i})$ ; силы сопротивления качению  $P_{fi} = f_i N_i$ ; толкающей реакции  $X_{Ki} = P_{Ki} - P_{fi}$ ,

где  $\beta_i$  – константа аппроксимации;  $\varphi_{maxi}$  – максимальный коэффициент сцепления;  $f$  – коэффициент сопротивления качению;  $\delta_i$  – буксование;

задавались при следующих условиях:

$$f_1 = f_2, \quad f_3 = f_4, \quad \beta_1 = \beta_2, \quad \beta_3 = \beta_4, \quad \delta_1 = \delta_2, \quad \delta_3 = \delta_4.$$

Кривые  $\Delta N_i$  перераспределения веса трактора в поперечной плоскости при движении правым бортом трактора в борозде:

– для передней оси

$$\Delta N_{12} = \frac{h_{цт} \cdot G_{12} \cdot \sin \Delta \varphi}{0,5 B_{12}}; \quad (14)$$

– для задней оси

$$\Delta N_{34} = \frac{h_{цт} \cdot G_{34} \cdot \sin \Delta \varphi}{0,5 B_{34}}; \quad (15)$$

где  $h_{цт}$  – расстояние от опорной поверхности до центра тяжести трактора;

$$\Delta \varphi \approx \arcsin \frac{a}{B_x}, \quad a - \text{глубина пахоты.}$$

Масса балластного груза левого переднего колеса  $i = 2$

$$m_{Б2} = [(N_1 + \frac{\Delta N_{12}}{2}) - (N_2 - \frac{\Delta N_{12}}{2})] \cdot 100; \quad (16)$$

Масса балластного груза левого заднего колеса  $i = 4$

$$m_{Б4} = [(N_3 + \frac{\Delta N_{34}}{2}) - (N_4 - \frac{\Delta N_{34}}{2})] \cdot 100. \quad (17)$$

Пример для трактора «Беларус 1523»+ПКМ-6-40Р. Глубина пахоты 20см, отклонение линии тяги от продольной оси трактора  $\Delta = 8^\circ$ , тогда

$$m_{Б2} = [(8,4 + \frac{2,5}{2}) - (9,0 - \frac{2,5}{2})] \cdot 100 = 190 \text{ кг};$$

$$m_{Б4} = [(21,5 + \frac{4,3}{2}) - (23,2 - \frac{4,3}{2})] \cdot 100 = 260 \text{ кг}.$$

2. С навешенным плугом выехать в поле после образования свального гребня или развальной борозды, когда правые колёса будут двигаться в борозде, а все корпуса плуга пахать на необходимую глубину и с необходимой шириной захвата (для плугов с изменяемой шириной захвата). При настройке пахотного агрегата на горизонтальной площадке, подложив подкладки под правые колёса трактора, укорачивают правый раскос навески трактора, выравнивая плуг в горизонтальной плоскости. В результате нижние левая и правая тяги трактора поворачиваются на углы  $\mu_x$  и  $\mu_n$  относительно первоначального положения, показанного штриховыми линиями (рис.4).

Ослабить поперечные стяжки (рис. 4) так, чтобы навесное устройство свободно поворачивалось в горизонтальной плоскости, и подать трактор вперёд, пока навесное устройство не выстроится по направлению действия результирующей  $R_{рез}$  тягового сопротивления плуга. В этом положении затя-

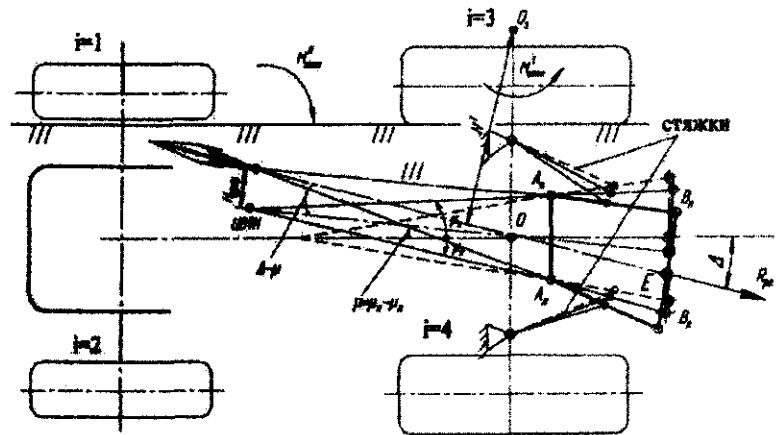


Рисунок 4. Схема настройки механизма навески трактора в горизонтальной плоскости.

нуть стяжки, зафиксировав положение навесного устройства трактора в горизонтальной плоскости.

### Выводы

При выполнении этих настроек в многозвеннике навесного устройства отклоняющий момент  $M_{откл}^H$  будет отсутствовать. Результирующая  $R_{рез}$  тягового сопротивления плуга будет проходить через центр  $O$  заднего моста трактора или в непосредственной близости от него. Т.к. при догрузке левых колёс трактора полюс трения  $O_s$  сместится к центру заднего моста трактора, то отклоняющий момент  $M_{откл}^T$ , действующий на сам трактор, будет сведён к минимуму.

Предложенные настройки снизят нагрузку на тракториста при управлении, предотвратят разворот остова трактора и смещение передних корпусов в сторону вспаханного поля во время работы "бочение" плуга, повысят качество работы и энергетику пахотного агре-

гата в целом. Однако при работе полунавесного пахотного агрегата в составе оборотного плуга такие настройки нереализуемы. Поэтому встаёт вопрос об автоматическом регулировании (стабилизации) в горизонтальной плоскости на основе мехатронной системы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Захаров А.В. Курсовая устойчивость МТА при движении со смещённой тяговой нагрузкой //Агропанорама, № 4, 2006. – С. 31-34.
2. Синекоков Г. Н. Проектирование почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение. 1965. – 310 с.
3. Отчёт "Исследования работы плугов полунавесных с полувинтовыми отвалами ПКМ-6-40Р и ПКМ-5-40Р, разработанных РУП «Минский завод шестерён» в различных почвенных условиях использования в РБ". ГУ «Белорусская МИС». 2002. – 58 с.

УДК 339.13: 633.521

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 2.04.2007

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СБАЛАНСИРОВАННОГО РЫНКА ЛЬНОПРОДУКЦИИ

А.Н. Гридюшко, к.э.н. (УО БГСХА)

### Аннотация

*Раскрываются проблемы производства, переработки и рынка льнопродукции, которые в настоящее время требуют применения неотложных мер. Предлагается необходимость создания благоприятных условий экономического, правового и административного характера для возрождения этой отрасли в Беларуси. Оценивается сложившаяся ситуация и выдвигаются принципы возрождения рынка льнопродукции.*

Рынок льнопродукции – это сложная система экономических отношений и форм продуктообмена, находящаяся в развитии вследствие постоянно возобновляющихся процессов производства, обмена и потребления конечных продуктов льнопереработки в интересах удовлетворения потребностей общества.

Среди совокупности обязательных требований особая роль принадлежит принципам, которые находятся в основе важнейших мер по формированию рыночных отношений, задают направленное движение и равновесие основным категориям рыночного механизма. Строгое соблюдение экономической сущности принципов способствует сбалансированности рыночных отношений, преодолению противоречий, ускорению становления рынка, как системы экономических отношений, сокращению переходного к рыночной экономике периода. Важнейшими являются следующие принципы:

1. Принцип свободной зоны означает необходимость становления льняного подкомплекса в качестве

свободной и открытой зоны для вложения капитала. Основывается на закономерности свободного перелива капитала между производствами и перемещении средств из сфер достигших высокого уровня интенсификации в отрасли, отстающие по уровню капитальных вложений, и имеющие повышенную окупаемость вкладываемых средств.

По нашим исследованиям, экспортная направленность свидетельствует, что льняной подкомплекс является отраслью со сравнительно высоким уровнем отдачи вложений и поэтому он притягателен для различного рода инвестиций.

В льняном подкомплексе АПК довольно острым остается вопрос привлечения внешних инвестиций. Экономически обособленные предприятия подкомплекса не представляются достаточно надежными как потенциальные объекты инвестирования, поскольку результаты работы отдельного предприятия во многом зависят от смежников. В этой связи, как отмеча-