

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра сельскохозяйственных машин**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ ПОДЪЕМА НАВЕСНОГО ПЛУГА**

*Методические указания по выполнению лабораторной работы по дисциплине «Сельскохозяйственные машины» для студентов специальностей 1-74 06 01 «Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства» 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники»*

**Минск 2007**

УДК 631.354.2(07)  
ББК 40.728я7  
О 62

Рекомендовано научно-методическим советом агрономического факультета БГАТУ

Протокол № 3 от 03 мая 2007 г.

Составители: канд. техн. наук, проф. *В.И. Ходосевич*,  
канд. техн. наук, доцент *Г.А. Радишевский*,  
д-р техн. наук, доцент *А.В. Кузьмицкий*,  
канд. техн. наук, доцент *Р.С. Сташинский*,  
лаборант I категории *Т.В. Авласенко*

Рецензенты: канд. техн. наук, доцент *А.П. Ляхов*,  
канд. техн. наук, доцент *И.С. Крук*

УДК 631.354.2(07)  
ББК 40.728я7  
О 62

БГАТУ, 2007

**1. Цель работы.** Определить графоаналитическим методом усилия подъема плуга в транспортное положение без воздействия почвы и в момент начала его выглубления из борозды. Сравнить результаты расчета усилия подъема плуга в транспортное положение с результатами экспериментального измерения этого усилия.

**2. Теоретическая часть.** Усилие подъема (усилие в штоке гидроцилиндра) навесного орудия зависит:

- от веса орудия;
- расположения его центра тяжести;
- размеров и положения звеньев механизма навесной системы трактора;
- воздействия или отсутствия воздействия почвы.

Усилие подъема плуга в транспортное положение без воздействия почвы зависит только от силы тяжести  $G$  плуга.

Максимальное усилие подъема плуга будет иметь место при его выглублении из борозды. В этом случае сопротивление подъему плуга зависит не только от силы тяжести  $G$  плуга, но и от веса почвы на корпусах плуга  $G'$ , сил сопротивления  $R_{xz}$  деформации и перемещению почвы, реакции  $N_k$  почвы на опорное колесо и силы трения  $F_{\text{плд}}$  полевых досок о стенку борозды.

Усилие в штоке гидроцилиндра или в звеньях механизма навески можно замерить или определить, используя графоаналитический метод, применив принцип рычага акад. Н.Е. Жуковского. Этот принцип сводится к построению планов скоростей, повернутых на  $90^\circ$ , и приложению к соответствующим точкам этих планов действующих сил. При этом сумма моментов всех сил относительно полюса планов скоростей равна нулю.

Академик Н.Д. Лучинский предложил весьма удобный способ построения повернутых на  $90^\circ$  планов скоростей звеньев механизма на схеме самого механизма. При этом если масштаб планов скоростей принять равным угловой скорости поворота звеньев относительно полюса этого плана, то точки

конца векторов абсолютных скоростей будут совпадать с точками конца звеньев.

**3. Содержание работы.** В продольно-вертикальной плоскости построить в принятом масштабе схемы механизма навески плуга на трактор в рабочем и транспортном положениях. На этих схемах построить планы скоростей звеньев механизма, повернутые на  $90^\circ$ ; приложить в соответствующих точках планов скоростей действующие на корпус плуга и механизм навески силы; определить усилия в штоке гидроцилиндра механизма навески графоаналитическим способом для рабочего и транспортного положений плуга.

Для транспортного положения плуга с помощью манометра замерить давление масла в гидроцилиндре механизма навески и определить усилие в штоке гидроцилиндра в поднятом положении или непосредственно замерить это усилие с помощью измерительного тензометрического комплекса «Speider-8». Сравнить результаты измерений с результатами расчета.

Для транспортного положения плуга расчет усилия в штоке гидроцилиндра для рабочего положения плуга провести в начальный момент выглубления плуга из борозды без сравнения с экспериментальными данными.

**4. Оборудование, приборы и инструмент.** Установка, состоящая из навесной системы трактора, однокорпусного плуга и гидравлической системы. Измерительный тензометрический комплекс «Speider-8».

## **5. Порядок выполнения работы**

### **5.1 Рабочее положение плуга — построение расчетной схемы**

5.1.1 Опустить корпус плуга на опорную площадку (заглубленное положение плуга) и выровнять раму плуга в горизонтальной плоскости.

5.1.2 Согласно данным таблицы 1 и рисунка 1 вычертить на миллиметровой бумаге элементы навески трактора и однокорпусного плуга в заглубленном на заданную глубину  $a$  пахоты положении (рисунок 2). Длина звена  $FE$  определяется из построения. Угол  $\alpha$  наклона нижней тяги навески  $AB_1$

может быть замерен на установке при заглубленном положении плуга или определен по формуле:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{Z_A - (Z_{B1} - a)}{A_{B1}}\right). \quad (1)$$

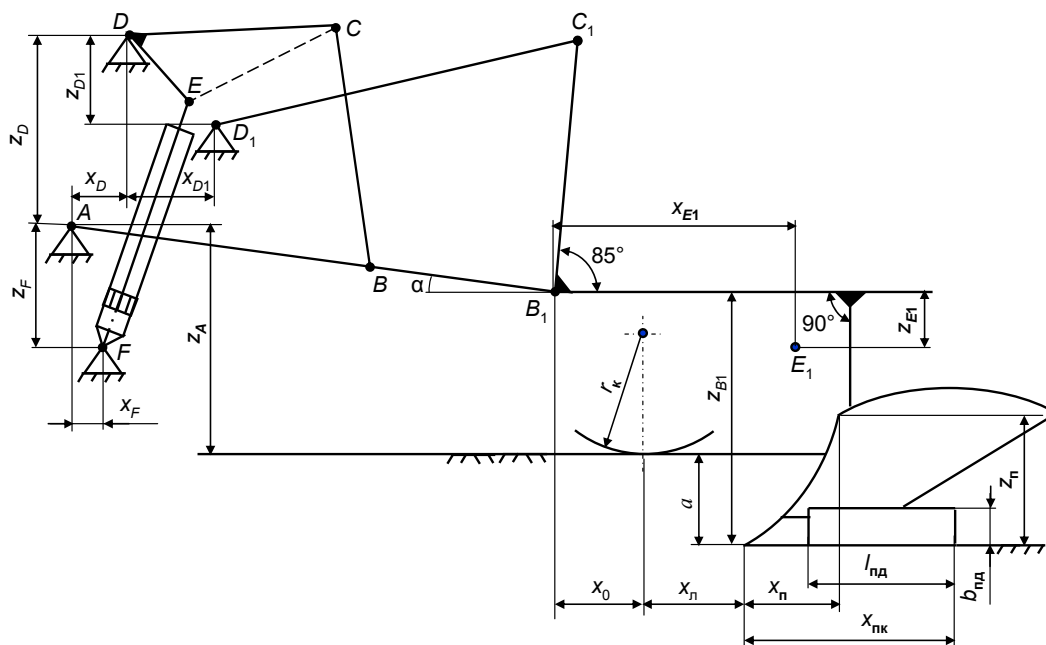


Рисунок 1 — Размеры звеньев и координаты точек механизма навески плуга в рабочем положении

Последовательность построения системы навески и плуга в заглубленном положении (см. рисунок 2):

- координатой  $Z_A$  определить положение точки  $A$  над поверхностью поля;
- от поверхности поля отложить заданную глубину пахоты  $a$  и отметить дно борозды;
- от дна борозды отложить координату  $Z_{B1}$  и провести горизонтальную линию — место расположения рамы плуга;
- из точки  $A$  найти положение точки  $B_1$  на горизонтальной линии, используя длину звена  $AB_1$  как радиус, и соединить их между собой;
- используя рисунок 1 и значения координат из таблицы 1, определить положение опорных точек  $F$ ,  $D$  и  $D_1$  навесной системы плуга;
- вычертить звенья  $D_1C_1$ ,  $B_1C_1$ ,  $\Delta DCE$ ,  $FE$  и  $BC$  навесной системы;

- по значениям координат и радиуса  $r_k$  определить положение опорного колеса, носка лемеха, полевой доски и центра тяжести плуга;
- вычертить полевой, верхний, правый обрезы и стойку корпуса плуга;
- приложить к штоку гидроцилиндра в точке  $F$  и к центру тяжести плуга в точке  $E_1$  соответственно силу выглубления  $Q$  и силу тяжести  $G_1$ .

Таблица 1

Размеры звеньев и координаты точек

Измеряемые параметры	$X_F$ , мм	$Z_F$ , мм	$X_D$ , мм	$Z_D$ , мм	$X_{D1}$ , мм	$Z_{D1}$ , мм	$Z_A$ , мм	$a$ , мм	$Z_{B1}$ , мм	$AB_1$ , мм
Значения параметров	115	230	110	370	60	180	405		635	880
Измеряемые параметры	$C_1D_1$ , мм	$B_1C_1$ , мм	$AB$ , мм	$BC$ , мм	$CD$ , мм	$DE$ , мм	$CE$ , мм	$FE$ , мм	$X_0$ , мм	$r_k$ , мм
Значения параметров	330	445	415	445	260	145	185		250	250
Измеряемые параметры	$X_{л}$ , мм	$X_{пк}$ , мм	$l_{пд}$ , мм	$b_{пд}$ , мм	$X_{п}$ , мм	$Z_{п}$ , мм	$X_{E1}$ , мм	$Z_{E1}$ , мм	$G$ , кН	$\alpha^\circ$
Значения параметров	70	800	500	160	300	300	340	220	1,6	

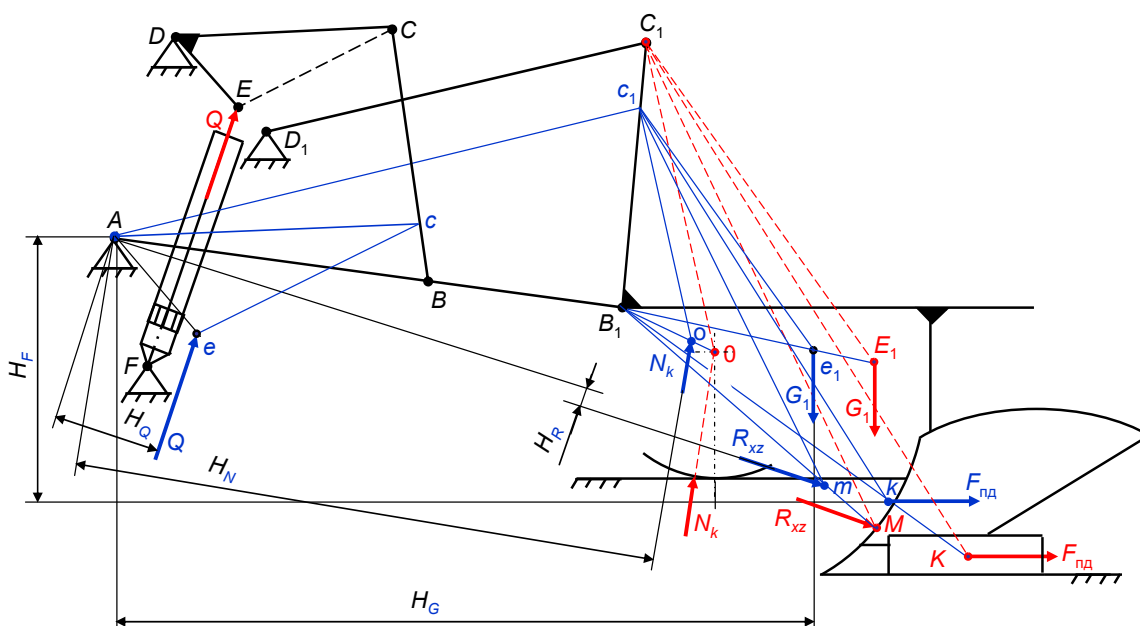


Рисунок 2 — Схема к определению усилия подъема навесного плуга (рабочее положение)

Сила тяжести  $G_1$  состоит из силы тяжести  $G$  плуга и  $G_{п}$  почвы, находящейся на корпусе плуга в момент его выглубления, т.е.

$$G_1 = G + G_{п}. \quad (2)$$

Величина силы тяжести  $G_{\text{п}}$  почвы зависит от глубины  $a$  пахоты. Ее величину можно определить по формуле:

$$G_{\text{п}} = k_{\text{п}} a, \quad (3)$$

где  $k_{\text{п}}$  — коэффициент пропорциональности между глубиной пахоты и весом находящегося на отвальной поверхности плуга пласта почвы (для однокорпусного плуга с шириной захвата 0,35 м, длиной находящегося на отвальной поверхности плуга пласта почвы 0,70 м и удельным весом почвы 1200 кг/м<sup>3</sup>  $k_{\text{п}} = 0,296$  Н/м);

$a$  — глубина пахоты, м.

Кроме этих сил во время движения пахотного агрегата в заглубленном положении на корпус плуга и опорное колесо действуют силы сопротивления почвы  $R_{xz}$ , трения  $F_{\text{пд}}$  полевой доски о стенку борозды и реакции почвы на опорное колесо  $N_{\text{к}}$ .

Сила сопротивления  $R_{xz}$  является результирующей сил  $R_x$  и  $R_z$  (см. рисунок 3).

Сила  $R_x$  может быть определена экспериментально или рассчитана по выражению:

$$R_x = kab, \quad (4)$$

где  $k$  — удельное сопротивление почвы, Па;

$a$  и  $b$  — соответственно глубина пахоты и ширина захвата корпуса плуга, м ( $b = 0,35$  м,  $a$  — выбирается по таблице 2).

Зная силу  $R_x$  и значение углов  $\psi$  и  $\delta$  (таблица 3), определим силы

$$R_{xz} = \frac{R_x}{\cos \psi}, \quad R_y = R_x \operatorname{tg} \delta. \quad (5)$$

Сила трения полевой доски о стенку борозды

$$F_{\text{пд}} = fR_y, \quad (6)$$

где  $f$  — коэффициент трения.

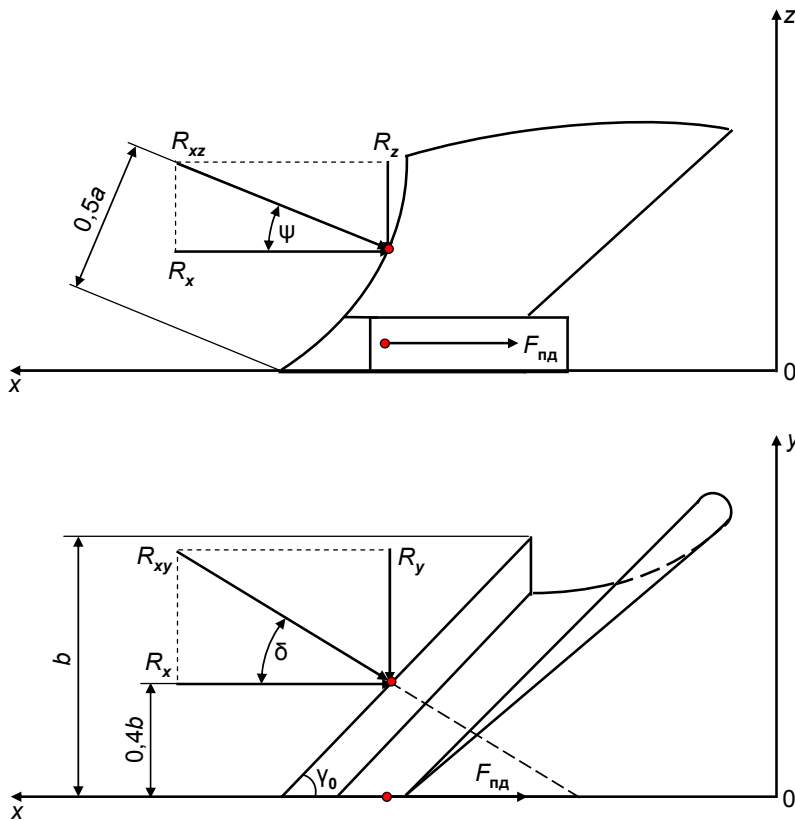


Рисунок 3 — Схема к определению сил, действующих на рабочие и вспомогательные органы корпуса плуга

### Реакция почвы на опорное колесо плуга (рисунок 2)

$$N_{\hat{e}} = \frac{N}{\cos \mu}, \quad (7)$$

где  $N$  — часть веса плуга, воспринимаемая опорным колесом ( $N \cong 0,5G$ );

$\mu$  — угол качения колеса ( $\mu = 9...12^\circ$ );

- приложить силу  $R_{xz}$  к корпусу плуга в точке  $M$  на расстоянии  $0,5a$  от носка лемеха под углом  $\psi$  к горизонтали (рисунок 2);
- приложить силу  $F_{нд}$  к полевой доске в точке  $K$  на расстоянии 400 мм от носка лемеха и на высоте 50 мм от дна борозды;
- приложить силу  $N_k$  к ободу опорного колеса под углом  $\mu$  к вертикали по направлению к оси  $O$  колеса.



Таблица 2

Исходные данные для расчета максимального усилия подъема  
навесного плуга

Задаваемые параметры								
Варианты	Ширина захвата $b$ , м	Глубина пахоты $a$ , м	Тип почвы	Уд. со-прот. почвы $k$ , Па	Угол направления силы $R_y$ $\delta$ , град	Угол направления силы $R_{xz}$ $\psi$ , град	Угол качения $\mu_0$	Коэффициент трения $f$
1	0,35	0,27	Легкая	$2 \times 10^4$	15	8	12	0,40
2	0,35	0,26	-//-	$2,2 \times 10^4$	16	9	11	0,45
3	0,35	0,25	-//-	$2,4 \times 10^4$	17	10	12	0,50
4	0,35	0,24	-//-	$2,6 \times 10^4$	18	11	11	0,41
5	0,35	0,23	-//-	$2,8 \times 10^4$	19	12	12	0,42
6	0,35	0,22	-//-	$3,0 \times 10^4$	20	11	11	0,43
7	0,35	0,21	-//-	$3,2 \times 10^4$	21	10	12	0,44
8	0,35	0,20	-//-	$3,4 \times 10^4$	22	9	11	0,45
9	0,35	0,27	Средняя	$3,5 \times 10^4$	23	8	10	0,46
10	0,35	0,26	-//-	$3,7 \times 10^4$	24	9	10	0,47
11	0,35	0,25	-//-	$3,9 \times 10^4$	25	10	10	0,48
12	0,35	0,24	-//-	$4,0 \times 10^4$	24	11	10	0,49
13	0,35	0,23	-//-	$4,2 \times 10^4$	23	12	10	0,50
14	0,35	0,22	-//-	$4,4 \times 10^4$	22	11	10	0,50
15	0,35	0,21	-//-	$4,8 \times 10^4$	21	10	10	0,49
16	0,35	0,20	-//-	$5,0 \times 10^4$	20	9	10	0,48
17	0,35	0,27	Тяжелая	$5,5 \times 10^4$	19	8	9	0,47
18	0,35	0,26	-//-	$5,6 \times 10^4$	18	9	9	0,46
19	0,35	0,25	-//-	$5,8 \times 10^4$	17	10	9	0,45
20	0,35	0,24	-//-	$6,0 \times 10^4$	16	11	9	0,44
21	0,35	0,23	-//-	$6,5 \times 10^4$	15	12	9	0,43
22	0,35	0,22	-//-	$6,3 \times 10^4$	17	11	9	0,42
23	0,35	0,21	-//-	$6,7 \times 10^4$	19	10	9	0,41
24	0,35	0,20	-//-	$6,9 \times 10^4$	21	9	9	0,40
25	0,35	0,27	-//-	$7,0 \times 10^4$	23	8	9	0,39
26	0,35	0,26	-//-	$7,2 \times 10^4$	25	9	9	0,41
27	0,35	0,25	-//-	$7,4 \times 10^4$	23	10	9	0,42
28	0,35	0,24	-//-	$7,6 \times 10^4$	23	11	9	0,43
29	0,35	0,23	-//-	$7,8 \times 10^4$	19	12	9	0,44
30	0,35	0,22	-//-	$8,0 \times 10^4$	17	10	9	0,50

## 5.2 Транспортное положение плуга — построение расчетной схемы, планов скоростей и расчет усилия в штоке гидроцилиндра

5.2.1 Повторить пункт 5.1.2, вычертив элементы навески трактора и однокорпусного плуга в транспортном (поднятом) положении (рисунок 4).

Необходимое для построения этого положения плуга значение угла  $\alpha$  наклона нижней тяги навески  $AB_1$  замерить на установке при поднятом в транспортное положение плуге или определить по формуле:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{Z_{B1} - Z_A}{AB_1}\right), \quad (8)$$

где  $Z_{B1}$  — координата точки  $B_1$  над поверхностью поля (замеряется на установке при поднятом положении плуга, см. рисунок 4);

$Z_A$  — координата точки  $A$  над поверхностью поля;

$AB_1$  — длина звена.

5.2.2 Приложить к штоку гидроцилиндра в точке  $F$  и к центру тяжести плуга в точке  $E_1$  соответственно силу выглубления  $Q$  и силу тяжести  $G$ .

5.2.3 Используя метод Жуковского, построить на схеме плуга в транспортном положении планы скоростей звеньев, повернутые на  $90^\circ$ , т.е. скорости звеньев гидравлической навески и плуга должны быть направлены вдоль осей этих звеньев.

Для определения скорости точки  $E$ :

- принять за полюс плана скоростей точку  $A$ , а за масштаб — угловую скорость  $\omega$  звена  $AB_1$ ;
- принять скорости точек  $A$  и  $D$  равными нулю, т.к. они жестко прикреплены к раме установки;
- провести прямую  $Ac$ , параллельную звену  $DC$  до пересечения со звеном  $BC$  (направление вектора  $V_{CB}$ );
- из полюса  $A$  провести линию параллельно звену  $DE$  (направление вектора  $V_{CE}$ );

- из точки  $c$  провести линию параллельно  $CE$  (направление вектора  $V_{CE}$ ); на пересечении с линией, параллельной  $DE$ , получим точку  $e$ , определяющую скорость точки  $E$  (конец вектора  $V_{CE}$ ).

Для определения скорости точки  $E_1$ :

- соединить точку  $E_1$  (центр тяжести плуга) с точками  $B_1$  и  $C_1$  — получим треугольник  $B_1C_1E_1$  — жесткое звено плуга;
- из полюса  $A$  провести прямую  $Ac_1$  параллельно звену  $D_1C_1$  до пересечения со звеном  $B_1C_1$  (направление вектора  $V_{C_1B_1}$ );
- из точки  $c_1$  провести линию  $c_1e_1$  параллельно  $C_1E_1$  до пересечения с линией  $B_1E_1$  треугольника  $B_1C_1E_1$  в точке  $e_1$ , определяющей скорость точки  $E_1$  (направление вектора  $V_{E_1C_1}$ ).

5.2.4 Приложить в точках  $e$  и  $e_1$  действующие в системе силы  $Q$  и  $G$ .

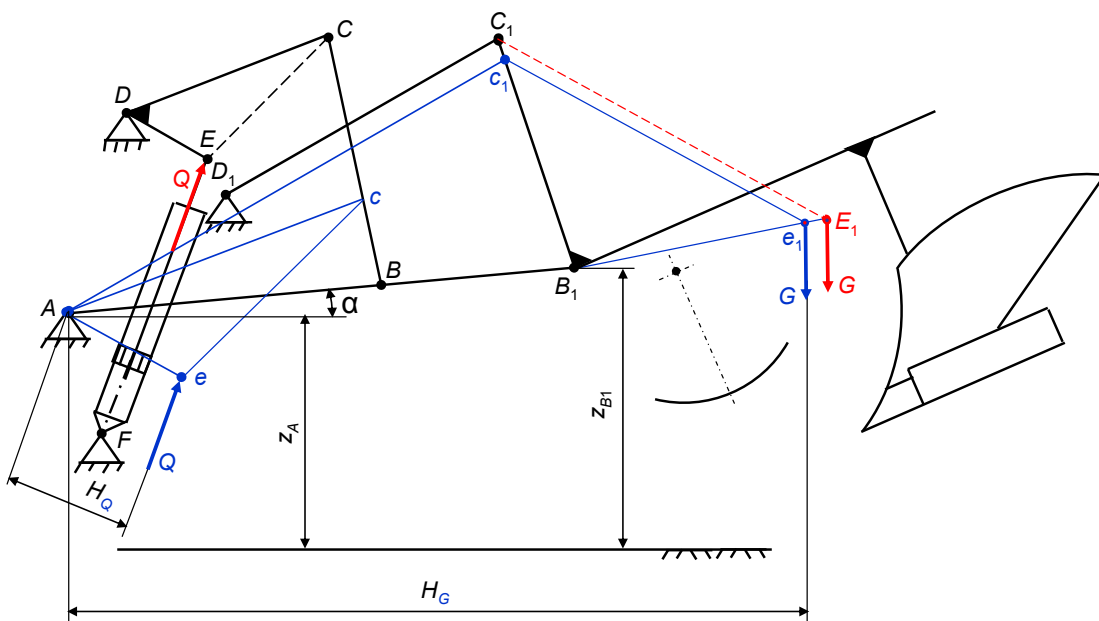


Рисунок 4 — Схема к определению усилия подъема навесного плуга (транспортное положение)

5.2.5 Обозначить плечи —  $H_Q$  и  $H_G$  — действия этих сил относительно полюса  $A$ .

5.2.6 Составить уравнение моментов сил  $H_Q$  и  $H_G$  относительно полюса  $A$ :

$$\sum ma=0, \quad QH_Q - GH_G = 0. \quad (9)$$

5.2.7 Определить усилие, необходимое для подъема однокорпусного плуга в транспортное положение:

$$Q = \frac{H_G}{H_Q} G. \quad (10)$$

5.2.8 Экспериментально усилие подъема плуга на установке можно определить двумя способами.

Первый — по давлению масла в гидравлической системе навески:

- поднять плуг в транспортное положение и определить давление  $p$  масла в гидроцилиндре по показанию манометра;
- по давлению масла в гидравлической системе рассчитать усилие  $Q'$  подъема плуга по выражению:

$$Q' = pF, \quad (11)$$

где  $F$  — площадь поршня гидроцилиндра.

Второй способ — по результатам регистрации сигнала от тензорезисторов, наклеенных на шток гидроцилиндра и соединенных в мостовую электрическую измерительную схему, с помощью измерительного тензометрического комплекса «Speider-8»:

- поднять плуг в транспортное положение и зарегистрировать электрический сигнал с помощью измерительного комплекса;
- рассчитать усилие подъема плуга:

$$Q' = x k, \quad (12)$$

где  $x$  — величина сигнала, полученного с помощью регистрирующего измерительного комплекса;

$k$  — тарировочный коэффициент.

Сравнить определенное по одному из вариантов экспериментальное значение силы  $Q'$  с расчетной величиной силы  $Q$  и определить относительную погрешность результатов построения схемы и расчета по формуле:

$$\varepsilon = \frac{Q' - Q}{Q} 100 \%. \quad (13)$$

Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 3.

### 5.3 Рабочее положение плуга — построение планов скоростей и расчет усилия в штоке гидроцилиндра

5.3.1 Используя методику, изложенную в п. 5.2.5, 5.2.6 и 5.2.7, построить планы скоростей звеньев в заглубленном положении плуга (см. рисунок 2).

5.3.2 Перенести силы  $G_1$ ,  $R_{xz}$ ,  $F_{пд}$ ,  $N_k$  и  $Q$  соответственно в точки  $e_1$ ,  $m$ ,  $k$ ,  $0$  и  $e$  планов скоростей, повернутых на  $90^\circ$ , и обозначить плечи их действия относительно полюса  $A$ .

Таблица 3

Опытные и расчетные данные по определению погрешности усилия подъема

Определяемые величины	Результаты измерений		Диаметр поршня $D$ , мм	Площадь поршня $F_{ц}$ , мм <sup>2</sup>	Усилие подъема $Q'$ , Н	Погрешность $\varepsilon$ , %
	$p$ , МПа	$x$ , мм				
Значения величин						

5.3.3 Составить уравнение моментов сил относительно полюса  $A$  приведения:

$$\sum ma = 0, \quad QH_Q - G_1H_G \pm R_{xz}H_R + F_{\text{пд}}H_F + N_{\text{к}}H_N = 0. \quad (14)$$

5.3.4 Определить усилие в штоке гидроцилиндра в начальный момент выглубления плуга из борозды с заданной глубиной пахоты с учетом действующих на рабочие и вспомогательные органы плуга сил:

$$Q = \frac{G_1H_G \pm R_{xz}H_R - F_{\text{вд}}H_F - N_{\text{е}}H_N}{H_Q}. \quad (15)$$

5.3.5 Сравнить результаты расчетов по определению усилия в штоке гидроцилиндра при подъеме плуга без почвы на корпусе и при выглублении его из борозды и сделать заключение.

## **Содержание отчета**

1. Название и цель работы.
2. Краткое изложение теоретической части.
3. Исходные данные из таблицы 2 согласно заданному варианту.
4. Схемы, построенные в соответствии с рисунками 2 и 3.
5. Расчеты и пояснения к ним.
6. Выводы.
7. Сформулировать три вопроса по теме работы.

Учебное издание

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ ПОДЪЕМА НАВЕСНОГО ПЛУГА**

*Методические указания по выполнению лабораторной работы по дисциплине «Сельскохозяйственные машины» для студентов специальностей 1-74 06 01 «Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства» и 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники»*

Составители:

**Ходосевич** Валерий Иванович

**Радишевский** Генрих Андреевич

**Кузьмицкий** Александр Владимирович

**Сташинский** Рычард Станиславович

**Авласенко** Тамара Владимировна

Ответственный за выпуск *А.В. Кузьмицкий*

Редактор *Н.Ф. Крицкая*

Корректор *Н.Ф. Крицкая*