

2.2 Анализ силового взаимодействия навесного плуга с механизмом навески трактора

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Изучить работу навесного плуга в процессе пахоты и перевода плуга из рабочего положения в транспортное.

ОБОРУДОВАНИЕ. Линейка, транспортер, калькулятор, миллиметровка формата А3. Масштаб 1:5.

СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ

По исходным данным заданного варианта (таблица 1) необходимо:

- вычертить схему механизма навески трактора и расчётную схему навесного плуга в рабочем положении;
- рассчитать значение сил, действующих на условный средний корпус плуга;
- определить графоаналитическим методом величину и направление реакции почвы на опорное колесо;
- перевести механизм навески трактора с плугом из рабочего в транспортное положение;
- рассчитать время на подъём плуга в транспортное положение;
- определить усилие на штоке гидроцилиндра.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 Построение схемы навески трактора и конструктивной схемы навесного плуга

1.1 Построение схемы навески трактора и плуга. Лист миллиметровки располагаем длинной стороной между левой и правой рукой.

1.2 На расстоянии 50 мм (без масштаба) от нижнего обреза листа проводим горизонтальную линию дна борозды.

1.3 Вторая горизонтальная линия – поверхность поля проводится выше дна борозды на величину глубины пахоты – а.

1.4 На расстоянии 80 мм (без масштаба) от левого обреза листа проводят тонкую вертикальную линию до пересечения с линией поверхности поля.

1.5 На этой линии от точки пересечения откладывают вверх расстояние равное заданной величине радиуса R колеса или ведущей звёздочки трактора (в масштабе 1:5). Далее все построения строятся в этом же масштабе. Эта точка обозначается O .

1.6 Принимая точку O за центр координат, строят координатные оси OX и OY .

1.7 По заданным значениям координат X_1Y_1 ; X_2Y_2 ; X_3Y_3 ; X_4Y_4 намечают шарниры 1, 2, 3, 4 механизма навески трактора.

1.8 Точка 5 определяется путём пересечения радиуса дуги окружности с центром в точке 1 равным длине звена 1-5 и горизонтальной линии рамы плуга, проведённой на заданном расстоянии точки подвеса от дна борозды.

1.9 Точка 6 определяется на звене длиной 1-5 путём откладывания заданного отрезка 1-6.

1.10 Точка 7 определяется пересечением радиуса, проведённого из точки 3 равного заданной длине звена 3-7 с радиусом, проведённым из точки 6 равным длине звена 6-7.

1.11 Точку 8 определим, отложив от звена 3-7 заданный угол α и заданную длину звена 3-8.

1.12 Расстояние между точками 4 и 8 определяет длину подвижного звена (шток–гидроцилиндр), соответствующую плавающему положению системы навески трактора.

1.13 Из точки 5 восстанавливают к горизонтальной раме плуга перпендикуляр, на котором откладывают заданную высоту стойки плуга 5-9. Точку 9 соединяют с шарниром 2 и на раме трактора получают звено 2-9.

Затем по заданным координатам подстраивают опорное колесо и условный средний корпус. Намечаем точку M – центр тяжести плуга, в которой приложен его вес – G .

2 Расчет сил, действующих на условный средний корпус плуга

2.1 Определяем силы, действующие на условный корпус.

На каждый корпус плуга со стороны почвы действуют силы, которые невозможно привести к одной результирующей. Однако суммарное воздействие элементарных сил сопротивления почвы на корпус плуга можно представить несколькими результирующими, которые имеют определённую величину и направления действия.

При расчёте сил действующих на каждый корпус в отдельности полагают, что эти силы приложены к одному среднему корпусу. Если число корпусов чётное, то за средний принимают условный (фиктивный) корпус, носок лемеха которого расположен на одинаковом расстоянии от лемеха первого и заднего корпусов.

В продольной плоскости, совпадающей с направлением движения плуга (ось X) можно определить горизонтальную и вертикальную составляющую суммарной силы, действующей в этой плоскости.

Горизонтальную составляющую сил, действующих на условный корпус вдоль оси X , определяем по выражению

$$R_x = \eta_{пл} k a b n, \quad (1)$$

где $\eta_{пл}$ – к.п.д. плуга, среднее значение 0,7;

k – удельное сопротивление почвы, Н/см²;

a – глубина пахоты, см;

b – ширина захвата одного корпуса, см;

n – число корпусов.

Вертикальная составляющая, направленная вдоль оси Z (перпендикулярной оси X) определяется из выражения

$$R_z = \pm 0,2 R_x, \quad (2)$$

Знак «+» берётся при новых острых лемехах (и тогда сила направлена сверху–вниз, знак «–» берётся при тупых изношенных лемехах (в этом случае сила R_z направлена снизу-вверх).

Тогда R_{zx} определяется как

$$R_{zx} = \sqrt{R_z^2 + R_x^2}, \quad (3)$$

Силы, действующие в плоскости (X,Y) перпендикулярной плоскости (X, Z) проявляются в создании сил трения возникающих между почвой и полевой доской условного корпуса плуга.

Составляющая сила R_{xy} направленная вдоль оси Y определяется по формуле

$$R_y \cong \frac{1}{3} R_x, \quad (4)$$

Сила трения F, приложенная к концу полевой доски среднего (условного) корпуса и проходящая через середину её ширины, равной 70-80 мм определяется по выражению

$$F = f R_y, \quad (5)$$

где f – коэффициент трения стали по почве, $f = 0,5$.

Кроме указанных сил сопротивления почвы на плуг действует сила тяжести, приложенная в точке М – центре тяжести, и реакция Q поверхности почвы на обод опорного колеса. Эта реакция передаётся на ось колеса. Направление её отклонено от вертикального радиуса на угол θ , соответствующий коэффициенту μ перекатывания колеса по почве.

Значение μ берётся в пределах 0,15...0,20, а угол отклонения реакции Q от вертикального радиуса определяется из выражения

$$\theta = \arctg \mu, \quad (6)$$

2.2 Определяем направления векторов сил, действующих на корпус плуга и точки их приложения.

2.2.1 Направление векторов действующих на корпус сил находят с помощью многоугольника сил. Для этого в правой свободной верхней части листа строим многоугольник сил. Выбираем произвольную точку P и из неё вертикально вниз в выбранном масштабе откладываем силу тяжести G , обозначая направление её действия (т.е. откладываем вектор силы тяжести).

2.2.2 Далее к концу этого вектора прибавляем вектор R_z учитывая его знак (\pm). Принимаем (+) – для острых лемехов и (–) – для тупых, изношенных лемехов.

2.2.3 Из конца суммы этих векторов проводим горизонтальную линию и откладываем на ней вектор R_x , к концу которого прибавляем вектор силы трения F .

2.2.4 Соединив конец вектора G с концом вектора R_x и точку P с концом вектора сил R_x и концом суммарного вектора $R_x + F$ получим векторы сил R_{zx} ; R_1 ; R_2 .

2.2.5 Далее под углом θ к вертикали наметим направление действия вектора Q .

2.3 Определение точки приложения сил сопротивления, действующих на корпус плуга.

2.3.1 Сила R_{zx} приложена в точке C полевого обреза на расстоянии 0,5а от дна борозды. Определяем её положение и находим точку C , в которую из многоугольника сил переносим силу R_{zx} , параллельно самой себе.

2.3.2 На пересечении линии действия сил G и R_{zx} определяем точку A .

2.3.3 Из точки А параллельно силе R_1 силового многоугольника проводим линию до пересечения с линией действия силы трения F (проходящей через середину полевой доски). На пересечении этих линий намечаем точку В в которую и переносим из силового многоугольника результирующие силы R_1 и R_2 .

3 Определение величины и направления реакции почвы на опорное колесо

Так как навесной плуг соединяется с трактором с помощью механизма навески, то верхнее регулируемое по длине звено 2-9 и два нижних звена 1-5 (в вертикальной плоскости проекции они сливаются в одну линию) совместно со стойкой плуга 5-9 и рамы трактора 1-2 образуют четырёхзвенник 1-5-9-2. Силы, действующие на плуг, воспринимаются звеном 5-9, которое не имеет постоянного центра вращения. Мгновенный центр вращения этого звена находится на пересечении продолжения звеньев 1-5 и 2-9.

Для определения реакции Q почвы на опорное колесо плуга необходимо составить уравнение моментов всех сил действующих на плуг относительно мгновенного центра его вращения.

Для заочной формы обучения рекомендуется определять реакцию почвы Q непосредственно из равенства моментов сил относительно мгновенного центра вращения (М.Ц.В.)

$$\sum M = Qh - R_2\ell = 0$$

Откуда

$$Q = \frac{R_2\ell}{h}, \quad (7)$$

где Q, R_2 – силы, действующие на плуг;

h, ℓ – плечи сил относительно М.Ц.В.

Для определения М.Ц.В. следует дополнительно подклеить лист бумаги и на нём определить положение М.Ц.В. как точки пересечения продолжения звеньев 1-5 и 2-9, а также определить плечи действия этих сил как кратчайшие (\perp) расстояния от М.Ц.В. до продолжения линии действия сил Q и R_2 .

3.1 Определение реакции почвы на колесо плуга с использованием теоремы Жуковского о рычаге. Применяя рычаг Жуковского можно определить Q , не определяя нормальных реакций в кинематических парах.

Здесь в качестве рычага используют план скоростей, повернутый на 90° способный вращаться вокруг полюса с перенесёнными на него силами. При этом выполняется следующая последовательность действий:

3.1.1 Принимаем за полюс шарнир 1 на раме трактора.

3.1.2 Строим план скоростей, повернутый на 90° и совпадающий с механизмом навески.

Построение плана скоростей начинаем с построения вектора скорости точки 5. Этот вектор в действительности направлен перпендикулярно звену 1-5, но будучи повернутым на 90° он совпадает с направлением звена 1-5. Причём масштаб выбираем так, чтобы величина вектора скорости точки 5 была равна длине звена 1-5.

Вектор скорости точки 9 является суммой векторов скорости точки 5 и скорости точки 9 относительно точки 5.

$$\overline{V}_9 = \overline{V}_5 + \overline{V}_{9-5}.$$

Вектор \overline{v}_9 будучи повернутым на 90° располагается по направлению звена 2-9, а вектор скорости точки 9 относительно звена 5 будучи повернут на 90° совпадает по направлению со звеном 5-9.

Для определения скорости точки 9 на плане скоростей необходимо из полюса провести линию 1-9' параллельную звену 2-9.

Точка 9' и определит значение V_9 .

3.1.3 Строим вектора скоростей точек приложения сил Q и R_2 . Учитывая, что эти силы приложены к деталям плуга жестко связанным со звеном 5-9 (стойкой плуга), скорости конечных точек (5 и 9) уже определены, воспользуемся методом (теоремой) подобия.

- На схеме плуга соединяем линиями точки 9 и 5 с точками В и Е.

- Из точки 9' плана скоростей с полюсов в точке 1 проводим линию 9'-в' параллельную линии 9-В линию 9'-е' параллельную 9-Е. Точка пересечения 9'-в' с 5-В определит точку в', а точка пересечения линии 9'-е' с линией 5-Е определит точку е'. Точки в' и е' определяют концы векторов скоростей этих точек.

- Согласно теореме Н.Е. Жуковского векторы сил R_2 и Q следует перенести параллельно самим себе в одноимённые точки в' и е' построенного плана скоростей. На план скоростей силы R_2 и Q обозначаются R'_2 и Q' .

Сумма моментов от сил R'_2 и Q' относительно полюса (точка 1) будет равно 0, т. е.

$$\sum M_1 = Q'h' - R'_2 \ell' = 0, \quad (8)$$

Откуда

$$Q' = Q = \frac{R'_2 \ell'}{h'}, \quad (9)$$

В силовом многоугольнике необходимо провести из конца силы R_2 линию действия силы Q параллельно из схемы плуга и линию параллельную звену 2-9. Таким образом, можно установить усилие, действующее в звене 2-9 и проверить правильность определения усилия Q .

4 Перевод механизма навески трактора с плугом в транспортное положение

Первоначально схема навески трактора с плугом была вычерчена для плавающего положения системы навески трактора, то есть длина звена 4-8 получена путём построения навески трактора с плугом в заглубленном положении.

Для перевода плуга в транспортное положение шток гидроцилиндра (звено 4-8) должен быть выдвинут на максимальную величину (длина звена 4-8 max).

Из шарнира 4 радиусом равным максимальной величине звена 4-8 делают засечку, а из шарнира 3 делают засечку радиусом, равным длине звена 3-8 (в принятом масштабе).

Получают точку 8' в транспортном положении. Далее аналогичным способом находят новое положение точек 7', 6', 5', 9' и новое положение плуга.

5 Расчет времени подъёма плуга в транспортное положение

Продолжительность подъёма плуга определяют по формуле:

$$t = \frac{15 \ell_{\text{ш}} \pi d_y^2}{Q_n \eta_0}, \quad (10)$$

где t – время подъёма, с;

$\ell_{\text{ш}}$ – ход штока, мм. (Определяется как разность между максимальным значением звена 4-8 и его значением в плавающем положении);

d_y – диаметр гидроцилиндра, мм;

Q_n – производительность гидроцилиндра, л/мин;

η_0 – объемный к.п.д., $\eta_0 = 0,95 \dots 0,96$.

Производительность насоса перевести из литров в мм^3 , $1\text{л} = 1000000\text{мм}^3$.

6 Определение усилия на штоке гидроцилиндра

Усилие на штоке гидроцилиндра возникает при подъёме плуга из рабочего положения в транспортное.

Для его определения необходимо построить план скоростей (вне механизма навески, пользуясь всё той же теоремой Н.Е. Жуковского о рычаге).

-Скорость точки 5 оси подвеса, повернутую на 90° и совпадающую по направлению звена 1-5 проводят из полюса V параллельную звену 1-5 в произвольном масштабе. Получают скорость v_5 .

-Затем из полюса проводят линию $V-9'$ параллельную звену 2-9, а из точки $5'$ проводят линию $5'-9'$ параллельную звену 5-9. Точка $9'$ пересечения этих линий определяет конец вектора скорости точки 9.

-На отрезке $5'-9'$ строят треугольник подобный треугольнику 5-9-М. Вектор скорости v_M представляет собой скорость центра тяжести плуга (точка М).

-Вектор скорости точки 6 будет меньше вектора скорости точки 5 настолько, насколько звено 1-6 меньше звена 1-5. Скорость точки 7 можно рассматривать как составляющую двух скоростей

$$\bar{V}_7 = \bar{V}_6 + \bar{V}_{7-6}, \quad (11)$$

Для её определения из полюса скоростей проводится линия $V-7'$ параллельную звену 3-7 до пересечения с линией проведённой из точки 6 параллельно звену 6-7.

-На отрезке $V-7'$ строят треугольник подобный треугольнику 3-7-8. Так определяется вектор скорости точки 8, т.е. v_8' . К концам векторов скоростей v_8' и v_M прикладываются соответственно силы S и G (перенесённые на схему плуга параллельно). Теперь можно составить уравнение равновесия относительно полюса V

$$\sum M_B = S\ell' - GH' = 0, \quad (12)$$

Откуда

$$S = \frac{GH'}{\ell_1}, \quad (13)$$

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет составляется в соответствии с изложенным порядком расчётной и графической части и излагается в виде отдельной пояснительной записки, включающей как текстовую, так и графическую часть.

Текстовая часть записки должна содержать:

1. Таблицу исходных данных по заданному варианту
2. Аналитический расчёт всех действующих сил на условный средний корпус (выражения 1, 2, 3, 4, 5, 6)
3. Расчёт усилия реакции почвы на обод колеса (выражение 9)
4. Расчёт усилия на штоке гидроцилиндра (выражение 13)
5. Продолжительность подъёма плуга (выражение 10).

Графическая часть пояснительной записки должна содержать:

- а) Схему навески трактора и навески плуга в рабочем и транспортном положении.
- б) Графический расчёт величины реакции на обод опорного колеса плуга
- в) графический расчёт усилия на штоке гидроцилиндра.

Контрольные вопросы:

1. Что такое условный (фиктивный) корпус плуга?
2. Какие силы действуют на корпус плуга и как они определяются?
3. Как определяется реакция почвы на обод опорного колеса?
4. Какие положения теоретической механики и ТММ используются в данном расчёте?

5. Как определяется усилие, действующее на шток гидроцилиндра?

Таблица 1 Исходные данные

Номера вариантов										Глубина пахоты, см	К коэффициент удельного сопротивления почвы, Н/см ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	30	2
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	25	4
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	20	6
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	30	8
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	25	2
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	20	4
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	30	6
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	25	8
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	20	2
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	30	4

Координаты опорных подшипников, длина звеньев механизма навески, мм		Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
.	
.	
.	
91		91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Наружный радиус R заднего колеса или ведущей звёздочки трактора, мм		583	583	760	760	760	735	760	790	435	375
Точка 1.	X ₁	0	414	285	285	285	285	285	285	-24	170
	Y ₁	-60	-130	-235	-235	-235	-235	-200	-200	95	0
Точка 2.	X ₂	350	557	484	484	484	484	493	493	265	240

[illegible]

6-7	492	435	51 5	51 5	51 5	51 5	51 5	51 5	49 0	620
Высота стойки плуга (звено 5- 9), мм	450	450	45 0	45 0	45 0	45 0	45 0	45 0	45 0	880
Расстоя- ние от оси подвеса (точка 5) до оси опорного колеса, мм	370	370	37 0	37 0	37 0	37 0	43 0	43 0	43 0	920
Диаметр опорного колеса, мм	355	355	35 5	35 5	35 5	35 5	50 0	50 0	50 0	500
Коорди- наты цен-	400	400	40 0	40 0	40 0	40 0	63 2	63 2	63 2	102 0

тра тяже- сти плуга – точка М по гори- зонтали (от оси подвеса (точка 5), мм по вертикали от дна бо- розды, мм)	350	350	43 0	43 0	43 0	43 0	47 0	47 0	47 0	470
Расстоя- ние от оси подвеса до носка среднего корпуса по гори- зонтали, мм	530	530	52 0	52 0	52 0	52 0	82 2	82 2	82 2	131 0
Вес плуга – G, кН	1,32	1,32	2,4	2,4	2,4	2,4	4,7	4,7	4,7	5,8
Число корпусов	1	2	3	3	3	3	4	4	4	4
Ширина захвата корпуса, см	30	30	30	30	30	35	35	35	35	35

Производительность гидронасоса Q, л/мин	16	16	43,5	43,5	44	44	47,2	47,2	47,5	60
Диаметр гидроцилиндра d _ц , мм	75	75	90	90	90	90	100	100	100	100

