

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ТЕХНИКА

УДК 631.445.53

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ПОЧВЕННЫХ ГОРИЗОНТОВ

В.А. Александров, к. т. н., доц., Уральская ГСХА

Аннотация

Приведена классификация способов оценки качества перемешивания почвенных горизонтов, предложены оптический метод, прибор и методика определения качества перемешивания горизонтов.

Ключевые слова: почвенный горизонт, качество перемешивания, оптический метод, прибор.

Keywords: soil horizon, quality of hashing, optical method, device.

Одним из основных показателей оценки качества работы орудий для обработки почв является степень перемешивания почвенных горизонтов. Все многообразие существующих методов оценки качества перемешивания можно классифицировать следующим образом (рис. 1). Из них три способа рекомендованы ОСТ 70.4.1.80 [1]:

1. Метод химического анализа почвенных проб, отбираемых после прохода орудия с различных глубин. Он используется при резком различии генетических горизонтов по наличию карбонатов.

2. Метод послойной закладки шурфов мечеными частицами разного цвета с последующим учетом их перемещения после обработки, применяемый при слабой дифференциации почвенных горизонтов по карбонатам.

3. Метод визуального определения перемещения почвенных слоев с использованием накладываемой на стенку почвенного разреза координатной сетки. Метод применяется при резком различии горизонтов по цвету.

Кроме того, различными исследователями используются и другие способы определения степени перемешивания генетических горизонтов почв:

- электротехнический, в котором процентное содержание горизонта в пробе определяется по ее электрическому сопротивлению;

- электромагнитный, позволяющий по характеру перемещения электромагнитных материалов (металлических частиц), закладываемых послойно, судить о степени перемешивания почвенных горизонтов;

- рентгенографический, основанный на измерении оптической плотности рентгенограмм, полученных при изучении характера перемешивания контрастирующего вещества (сульфата бария) с помощью ионизирующих излучений;

- гидромеханический, основанный на различной водопрочности комочков почвы различных горизонтов и предполагающий разделение почвенной пробы на фракции, по весовому соотношению которых определяется процентное содержание горизонтов в пробе;

- метод определения перемещения предварительно окрашенных в разные цвета почвенных горизонтов;

- метод имитации генетических горизонтов семенами различных сельскохозяйственных культур (кукурузы, гороха), алюминиевой стружкой. Количественно степень перемешивания определяется по распределению этих частиц по слоям весовым методом или механическим подсчетом;



Рис. 1. Классификация методов оценки качества перемешивания генетических горизонтов

- фотопланиметрический, заключающийся в фотографировании нового положения генетических слоев на стенке вертикального почвенного разреза после прохода орудия. Приведенные методы оценки качества перемешивания почвенных горизонтов наряду с отдельными преимуществами имеют и ряд более или менее присущих каждому методу недостатков: высокая сложность и трудоемкость получения результатов, низкая точность оценки, искажение действительной картины перемешивания вследствие нарушения первоначальной структуры почвенных горизонтов, невозможность оперативного получения результатов, использование специальной аппаратуры и необходимость соответствующей подготовки обслуживающего персонала.

В связи с этим нами был разработан новый метод определения качества перемешивания генетических горизонтов между собой, а также с вносимым мелиорантом.

Сущность метода заключается в определении характера перемешивания горизонтов по величине отраженного от стенки почвенного разреза светового потока с помощью специального прибора (рис. 2).

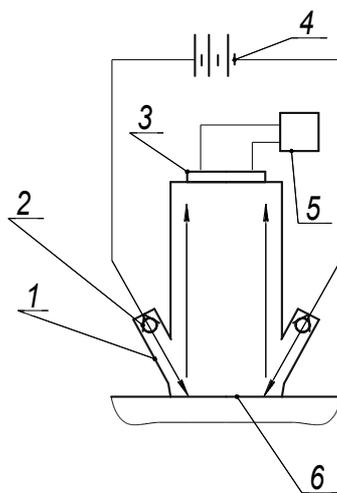


Рис. 2. Схема прибора

Он состоит из корпуса 1, в боковые стенки которого вмонтированы лампы освещения 2, а задняя стенка имеет окно для установки фотоприемника 3, соединенного с регистрирующим устройством 5. Входное окно 6 прибора имеет квадратное сечение, площадь которого может изменяться для обеспечения целого числа замеров в зависимости от мощности генетических горизонтов. Питание ламп осуществляется от аккумуляторной батареи 4.

При работе корпус 1 прибора входным окном 6 устанавливается вплотную к стенке вертикального почвенного разреза в выбранном генетическом горизонте. Направленный от ламп освещения световой поток, попадая на стенку почвенного разреза, отражается и подается на фотоприемник 3. Изменение интенсивности принятого фотоприемником 3 отраженного светового потока фиксируется регистрирующим прибором 5.

Оценка качества перемешивания с использованием прибора проводилась по следующей методике. Площадь наблюдения делится на n ячеек таким образом, чтобы для случая перемешивания генетических горизонтов выполнялось условие:

$$a \cdot n = AB_1 + AB_2,$$

а в случае перемешивания горизонта с вносимым мелиорантом соответственно:

$$a \cdot n = AB_1,$$

где a – площадь ячейки (входного окна прибора);

n – количество ячеек;

AB_1 – площадь первого горизонта;

AB_2 – площадь второго горизонта.

Определяются показания прибора по всем ячейкам Y_i при $i = 1 \dots n$ и находится среднее показаний:

$$Y_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n}$$

Определяются показания прибора в случае, когда вся ячейка заполнена мелиорантом (более светлым по цвету) Y_A ; и в случае, когда ячейка заполнена почвенным горизонтом (более темным по цвету) Y_B . При этом на полученных значениях строится диаграмма «состояния» мелиоранта с горизонтом (рис. 3). Очевидно, промежуточные значения Y_i на прямой $Y_B Y_A$ определяются процентным содержанием в ячейке компонентов А и В в каждом конкретном случае.

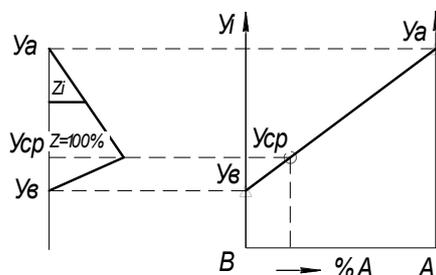


Рис. 3. Диаграмма «состояния» горизонтов

Ячейка с показанием прибора, равным среднему $Y_N = Y_{\text{ср}}$, имеет наилучшее перемешивание, то есть $Z = 100\%$, где Z – степень перемешивания, а ячейки с показаниями прибора Y_A или Y_B , то есть заполненные только одним компонентом, имеют $Z = 0$.

Следовательно, из диаграммы можно определить степень перемешивания для каждой i -й ячейки:

$$Z_i = \left| \frac{Y_i - Y_B}{Y_B - Y_{\text{ср}}} \right| * 100\% \quad Y_i \leq Y_{\text{ср}}$$

$$Z_i = \left| \frac{Y_i - Y_A}{Y_A - Y_{\text{ср}}} \right| * 100\% \quad Y_i \geq Y_{\text{ср}}$$

Затем находится средняя степень перемешивания почвенных горизонтов по всем ячейкам \bar{Z} , которая и является основным критерием качества перемешивания. Идеальным вариантом перемешивания почвенных слоев (мелиоранта с почвой) будет случай, когда показания прибора во всех ячейках будут равны между собой и равны среднему.

Применялась также и другая методика оценки степени перемешивания генетических слоев с использованием предлагаемого прибора.

Последовательно во всех ячейках определяются показания прибора Y_i , которые затем представляются в процентах от суммы показаний прибора по всем ячейкам, считая сумму за 100%. Далее подсчитывается среднее показаний прибора:

$$Y_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{Y_i}{\sum_{i=1}^n Y_i} 100\% \right)}{n}$$

Затем определяются отклонения показаний прибора D_i в каждой ячейке от среднего, взятые по абсолютной величине:

$$D_i = \left| \frac{Y_i}{\sum_{i=1}^n Y_i} 100\% - Y_{\text{ср}} \right|$$

И, наконец, считается среднее отклонение от среднего показаний прибора.

Эта величина и принимается за критерий оценки степени перемешивания генетических горизонтов почвы – П.

$$\Pi = \frac{\sum_1^n \left(\frac{y_i}{\sum_1^n y_i} 100\% - \frac{\sum_1^n \left(\frac{y_i}{\sum_1^n y_i} 100\% \right)}{n} \right)}{n}$$

При идеальном перемешивании почвенных слоев показания прибора по всем ячейкам должны быть одинаковыми и равными среднему $\bar{У}_{ср}$, то есть $\Pi = 0$. Производя сравнительную оценку нескольких вариантов обработки почвы, нужно исходить из того, что чем ближе показатель Π к нулю, тем выше степень перемешивания горизонтов.

Предложенный метод в расчете на выбранный фотоприемник предполагает резкую дифференциацию генетических горизонтов по цвету, то есть отражающей способности, поэтому возможны несколько вариантов его применения:

- определение степени перемешивания вносимого мелиоранта (гипса, фосфогипса) с почвенным горизонтом.
- определение качества перемешивания почвенных горизонтов при их резком различии по цвету.
- определение степени перемешивания почвенных горизонтов при слабой их дифференциации по цвету с помощью имитации этих слоев контрастными веществами.

Повышение чувствительности фотоприемника позволит создать универсальный прибор, фиксирующий минимальные различия горизонтов по цвету.

Литература

1. ОСТ 70.4.1-80. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для глубокой обработки почвы. Программа и методы испытаний. – М.: ВО «Союзсельхозтехника», 1980. – 154 с.

УДК 663/.664.063.6(063)

ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ ПОРОШКОВ И ДРУГИХ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

М.Д. Барский, Ben-Gurion University of Negev (Israel);

А.И. Зимин, проф., Уральская ГСХА

Аннотация

Выполнена теоретическая оценка режимов течения среды при равновесной классификации. Установлено, что наличие общей кривой разделения материалов различного гранулометрического состава обеспечивает наибольшие удобства практического применения. С вероятностью $P = 0,95$ фактическое значение Φ_{ϕ} находится в интервале $0,92 \Phi_p \leq \Phi_{\phi} \leq 1,09 \Phi_p$, а коэффициент вариации отношения фактических и расчетных значений не превышает 17%.

Ключевые слова: фракционирование, фракция заданной крупности, критерии Рейнольдса, гидроклассификация, порошок, ламинарный, турбулентный.

Keywords: fractionation, mesh fraction, Reynolds criterion, hydraulic classification, powder, laminar, turbulent.

Технологический процесс переработки сельскохозяйственной продукции часто предусматривает разделение, фракционирование или просто выделение узких классов сыпучих материалов, включая порошки.

Высокие требования современного производства к качеству порошкообразных материалов, которые находят все более широкое применение во многих отраслях промышленности, придают большую актуальность повышению эффективности процессов и средств пневмоклассификации.

При этом важное значение приобретают расчеты эффективности пневмоклассификации и степени фракционного разделения узких классов крупности (соотношение количества материала, извлеченного в мелкий продукт, и содержание его в исходной смеси).

В связи с общей закономерностью процесса пневмоклассификации, согласно которой результаты разделения по различным граничным крупностям находятся в жестком соотношении со скоростями и режимами потока среды [1], целесообразно выполнить теоретически оценку режимов течения среды при равновесной классификации [1, 2].

Для простоты рассуждений рассмотрим равновесный аппарат круглого сечения радиуса R , считая частицы каждого узкого крупности сферическими.

По закону Ньютона – Риттингера динамическое взаимодействие потока на одиночную частицу $F = \xi \pi d^2 (U_r - V_r)^2 \rho_c / 8$, где ξ – коэффициент сопротивления частицы; d – диаметр частицы; ρ_c – плотность среды; r – характерная координата произвольной точки поперечного сечения аппарата; U_r – локальная скорость движения среды; V_r – локальная абсолютная скорость движения частицы.

За положительное направление скорости V_r принимается направление движения потока.

Условие равновесия частицы имеет вид: $\pi d^3 g (\rho_m - \rho_c) / 6 = \xi \pi d^2 (U_r - V_r)^2 \rho_c / 8$, или:

$$U_r - V_r = W [4B / (3\xi)]^{1/2}, \quad (1)$$

где B – обобщенный параметр классификации, $B = gd(\rho_m - \rho_c) / (\rho_c W^2)$; ρ_m – плотность материала частиц; g – ускорение свободного падения; W – средняя скорость потока среды в канале.

Для $\rho_m \ll \rho_c$ можно принять $B = gd\rho_m / (\rho_c W^2)$.

Рассмотрим режим турбулентного обтекания частицы, характеризующийся коэффициентом сопротивления $\xi \approx 0,5$. В случае турбулентного обтекания частицы критерий Рейнольдса $Re_r = d(U_r - V_r)\rho_c / \mu \geq 500$; которое с учетом (1) может быть записано в виде:

$$W d \rho_c [4B / (3\xi)]^{1/2} / \mu \geq 500, \quad (2)$$

где μ – динамическая вязкость среды.

Условию (2) с учетом $\xi = 0,5$ соответствует выражение: $(8Ag/8)^{1/2} \geq 500$, где Ag – критерий Архимеда, $Ag = gd^3 \cdot \rho_m \rho_c \mu^2$. Откуда $Ag \geq 93\,750$.

Применительно к воздушной среде $\mu = 1,8 \cdot 10^{-5}$ Нс/м², $\rho_c = 1,2$ кг/м³ размер частиц, обтекание которых характеризуется турбулентным режимом, составит: $d \geq (2,58 \cdot 10^{-6} / \rho_m)^{1/3}$.

Так, для частиц плотностью $\rho_m = 2650$ кг/м³ в режиме турбулентного обтекания находятся частицы размером $d \geq 1$ мм.

Из условия (2) следует также:

$$\rho_c / \mu \geq 500 D_a / \{W d [4\beta / (3\xi)]^{1/2}\}. \quad (3)$$

Запишем критерий Рейнольдса движущейся среды в корпусе классификатора цилиндрической формы: $Re_{mp} = (W D_a \rho_c) / \mu$, где D_a – диаметр аппарата. Подставив в это выражение формулу (3), получим:

$$Re_{mp} \geq 500 / \{d [4B / (3\xi)]^{1/2}\}. \quad (4)$$

Условие (4) позволяет оценить режим движения среды в классификаторе при обтекании частиц. Очевидно, что наименьшее значение критерий Re_{mp} приобретает при наименьшей величине d , при этом параметр B имеет наибольшее значение. Экспериментально установлено, что при классификации крупнозернистых материалов для всех монофракций $B_{max} = 2,5 \dots 3$ и незначительно зависит от конструкции аппарата. Отношение D_a / d имеет порядок 10^2 для экспериментальных аппаратов и на порядок больше для промышленных. С учетом $\xi = 0,5$ из (4) получим: $(Re_{mp})_{min} \geq 10^4$.

Это подтверждается экспериментально: для равновесного аппарата $D_a = 100$ мм, $L = 900$ мм, $L = 600$ мм при классификации порошков плотностью ($\rho_m = 3600$ кг/м³) на скорости $W = 1,5$ м/с выход мелочи составил $\gamma_m < 5\%$. При этом расходная концентрация поддерживалась на уровне $1,5$ кг/м³, а гранулометрический состав характеризовался содержанием частиц размером до 150 мкм $\approx 11\%$. Расчеты показывают, что для этих условий значение критерия Рейнольдса составит $Re_{mp} = 10\,000$. Таким образом, в условиях турбулентного обтекания частиц, что характерно для относительно крупного материала, весь процесс (от $\gamma_m \approx 0$) практически идет при турбулентном режиме движения среды в аппарате.

При классификации мелкодисперсного материала наиболее характерен режим ламинарного обтекания частиц. В этом случае справедливо выражение:

$$Re_r = d (U_r - V_r) \rho_c / \mu \leq 1. \quad (5)$$

После упрощающих преобразований условия равновесия частицы (1) получается: $d^2 g \rho_m = 18\mu (U_r - V_r)$, а с учетом (5) это уравнение преобразуется к виду $Ag = 18 Re$, или $Ag \leq 18$.

Для классификации в условиях воздушной среды полученное условие справедливо для частиц размером $d \leq 57$ мкм.

Из неравенства (5) следует также: $\rho_c / \mu \leq 1 / [(U_r - V_r) d]$.

Подставим полученное уравнение в выражение критерия Рейнольдса для движущейся в аппарате среды:

$$Re_{mp} \leq D_a W / [(U_r - V_r) d]. \quad (6)$$

При преобразовании выражения $W / (U_r - V_r)$ воспользуемся соотношением (1) с учетом того, что коэффициент сопротивления при ламинарном обтекании определяется выражением: $\xi = 24 / Re_{общ} = 24 \mu / [(U_r - V_r) d \times \rho_c]$, тогда $(U_r - V_r) / W = [4 B d \rho_c (U_r - V_r) / (72 \mu)]^{1/2}$, а $(U_r - V_r) / W = Re_W B / 18$. Учитывая, что $Re_W^2 B = Ar$, получим: $(U_r - V_r) / W = (Ar B)^{1/2} / 18$.

Подставив полученное выражение в уравнение (6), приходим к записи последнего в виде: $Re_{mp} \leq 18 D_a / [d (Ar B)^{1/2}]$.

В ламинарном режиме $Ar \leq 18$:

$$Re_{mp} \leq D_a [18 / B]^{1/2} d. \quad (7)$$

При классификации мелкодисперсного материала соотношение D_a / d имеет значение $10^3 \dots 2 \cdot 10^4$; экспериментально установлено, что B_{max} ($\Phi_M = 0$) имеет различное значение для разных монофракций. Оценку Re_{mp} целесообразно выполнить для частиц, характеризующих значение критерия $Ar = 18$, поскольку для этих частиц $B_{max} |_{\Phi_M = 0\%} \sim 20$; $B_{min} |_{\Phi_M = 100\%} \sim 0,5$.

Для этих случаев $Re_{mp} \sim 10^3 \dots 10^4$.

Так, при классификации порошок плотностью $\rho_M = 2700$ кг/м³ на полочном аппарате с размерами поперечного сечения 70×70 мм², $z = 10$, $i = 5$, $\mu_p = 1,5 \dots 2,2$ кг/м³ при скорости воздушного потока $W = 0,27$ м/с, монофракция $d = 56,5$ мкм ($Ar = 18$) имела фракционное извлечение $\Phi_M = 0$, при скорости $W = 1,7$ м/с – $\Phi_M = 100\%$.

В этом случае режим движения среды в аппарате характеризуется следующими значениями критерия Рейнольдса: $Re_{mp} = 1,2 \cdot 10^3$ и $Re_{mp} = 8 \cdot 10^3$.

Таким образом, при классификации частиц, обтекаемых в ламинарном режиме, процесс движения среды в аппарате характеризуется как ламинарным, так и промежуточным, вплоть до турбулентного, режимами. В реальных условиях пневмокласификации значительное количество монофракций обтекает в промежуточном режиме ($18 < Ar < 93 \cdot 750$), что характерно для промежуточного и турбулентного режимов движения среды в аппарате.

Прогнозирование результатов процесса классификаций полидисперсных материалов базируется на аффинных свойствах кривых фракционного разделения: полученные на одном аппарате для различных классов крупности сливаются в одну линию.

Аффиннизация кривых разделения достигается построением их в системе координат, где по оси ординат откладывается степень фракционного разделения узких классов крупности $\Phi_M(x)$, а по оси абсцисс – значения критерия Фруда $Fr = gd / W^2$. Аффинная зависимость $\Phi_M(x) = f(Fr)$ является инвариантной как составу исходного материал, так и величине граничной крупности разделения. На практике это положение подтверждено для материалов, незначительно различающихся по гранулометрическому составу.

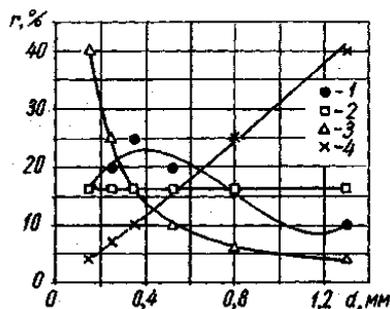


Рис. 1. Гранулометрический состав исследованных материалов:

1 – полидисперсный, 2 – равномерный состав, 3 – мелкодисперсный состав, 4 – крупнодисперсный состав

С учетом существенного различия в режимах и условиях разделения частиц разных размеров исследовано поведение в процессе пневмокласификации монофракций и материалов, весьма различающихся по гранулометрическому составу. Исходный материал ($\rho_M = 2650$ кг/м³) был расфракционирован механическим способом на узкие классы: $- 1,6 + 1,0$; $- 1,0 + 0,63$; $- 0,63 + 0,4$; $- 0,4 + 0,315$; $- 0,315 + 0,2$; $- 0,2 + 0,1$ мм. Из этих узких классов было скомпоновано 4 различных

исходных состава, кривые частных остатков представлены на рис. 1. С этими материалами опыты проводились в 2 режимах (при перепадах на расходомерной диафрагме $\Delta h = 200, 300$ мм вод. ст., что соответствовало скоростям среды в аппарате соответственно 4,0 и 4,9 м/с).

Для изучения поведения отдельных монофракций было выбрано 5 узких классов с близким модулем: $- 1,6 + 1,0$; $- 1,0 + 0,63$; $- 0,63 + 0,4$; $- 0,315 + 0,2$; $- 0,2 + 0,1$ мм. Каждый узкий класс крупности частиц разделялся в различных режимах, с тем чтобы охватить всю кривую разделения. Опыты проводились на равновесном аппарате круглого сечения диаметром 100 мм, состоящем из 10 условных секций; материал подавался в 4-ю сверху секцию. Во всех опытах расходная концентрация поддерживалась одинаковой: $\mu = 1,5$ кг / м³.

Большие колебания скоростей и режимов разделения усложняют вычисление значений критерия Фруда, поэтому целесообразно проверить возможность аффинизации с использованием показателей граничной крупности. По результатам опытов построены кривые разделения (рис. 2). Для каждого материала находилась граница разделения, в качестве которой принято медианное значение крупности x_{50} , затем для всех монофракций и режимов построена общая кривая в координатах $\Phi_m, x/x_{50}$, представленная на рис. 3.

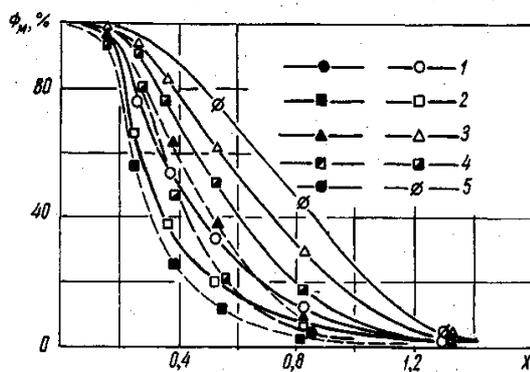


Рис. 2. Кривые разделения в режимах $W = 4,0$ м/с (пунктир) и $W = 4,9$ м/с (сплошная линия): $\Delta h = 200$ мм вод. ст.; $\Delta h = 300$ мм вод. ст.; 1, 2, 3, 4 – материалы; 5 – монофракции

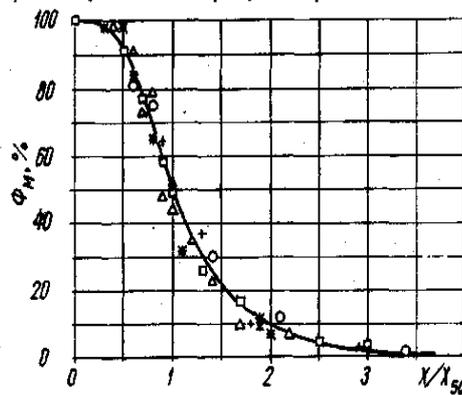


Рис. 3. Общая кривая разделения

На основании исследований установлено, что степень фракционного извлечения различна для материалов разного гранулометрического состава и отдельных монофракций (рис. 2). Общая кривая разделения всех исследованных монофракций и разных режимов получается при построении их в координатах $\Phi_m, x/x_{50}$. Это равносильно аффинным преобразованиям кривых разделения по оси абсцисс с масштабным коэффициентом $1/x_{50}$. Таким образом, всегда существует режим, в котором кривые разделения материалов различного гранулометрического состава и отдельных монофракций инвариантны для определенной конструкции аппарата. Наличие общей кривой подтверждает аффинность кривых разделения материалов различного гранулометрического состава и

наибольшее удобство для практического применения при аффинных преобразованиях показателей граничной крупности.

Обработка результатов исследования (рис. 3) методами математической статистики [3] показала, что с вероятностью $P = 0,95$ фактическое значение Φ_f находится в интервале $0,92 \Phi_p \leq \Phi_f \leq 1,09 \Phi_p$, где Φ_p – опытные значения согласно аффинным преобразованиям; коэффициент вариации отношения фактических и расчетных значений не превышает 17 %, что соответствует практически расчетам.

Литература

1. Барский М.Д. Фракционирование порошков. – М.: Недра, 1980. – 327 с.
2. Барский М.Д., Говоров А.В., Канусик Ю.П. К вопросу о расчете многоступенчатой классификации // Изв. вузов. Горный журнал. – 1976. – № 8. – С. 157–160.
3. Гнеденко Б.В., Беляков Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. – М.: Наука, 1965. – 400 с.
4. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. – М.: Недра, 1970. – С. 45–48.

УДК 656.13:631.17

АНАЛИЗ ПАРКА ГРУЗОВОГО АВТОТРАНСПОРТА В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

С.В. Будалин, к. т. н., доц.,
Уральская ГСХА;

И.И. Муртазин, асп.; **С.В. Полетаев**, асп.,
Уральский гос. лесотехн. университет

Аннотация

Выполнен анализ парка грузовых автомобилей в АПК Свердловской области. Сделан вывод о его неэффективном использовании по объемам работ. Обоснована необходимость обновления подвижного состава.

Ключевые слова: *грузовой автотранспорт, автопарк, грузоподъемность, грузооборот, транспортная работа, материальные затраты.*

Keywords: *trucks, fleet, carrying capacity, turnover of goods, transport work, material costs.*

Эффективное функционирование автомобильного транспорта считается необходимым условием успешного развития экономики региона в целом и агропромышленного комплекса в частности. Ведущее значение в этой сфере деятельности принадлежит работе грузового автотранспорта.

По данным Министерства сельского хозяйства и продовольствия Свердловской области [1], по состоянию на 1 января 2009 г. в собственности сельскохозяйственных организаций области насчитывалось 3379 единиц грузового автотранспорта. Из этого количества автомобили грузовые общего назначения составили 2162 единицы (63,98%), автомобили специализированные и специальные – 1217 единиц (36,02%). Ежегодная убыль автопарка грузовых автомобилей за последние 5 лет составила от 3 до 23% (наибольший показатель 2006 г. – уменьшение на 22,45%, наименьший в 2008 г. – 3,09%); убыль автомобилей специальных – от 1 до 15% (наибольший показатель 2008 г. – 15,89%, наименьший 2007 г. – 1,56%). Суммарная убыль подвижного состава за 5 лет с 2004 г. составила для грузовых автомобилей 45,46%, для автомобилей специальных – 31,82%. Это происходит на общем фоне снижения количества другой сельскохозяйственной техники в агропромышленном комплексе Свердловской области [2].

Анализируя грузовой автотранспорт общего назначения сельскохозяйственных организаций по типам, видим, что его основу составляют самосвалы – 54,63%, далее идут бортовые автомобили – 32,14%, тягачи – 8,09%, (всего 94,86% на 01.01.2009 г.); по времени эксплуатации новые (мее 2 лет) – 11%, старые (свыше 10 лет) – 62% , что говорит о слабом обновлении автопарка.

По грузоподъемности лидирующее место занимают среднетоннажные автомобили (от 3 до 7 т) – 55,32%, далее крупнотоннажные автомобили (более 7 т) – 18,64% и малотоннажные (менее 3 т) – 12,8%.

При этом, учитывая объемы перевозимых сельскохозяйственных грузов в Свердловской области, видим, что наибольшая потребность сегодня среди грузовых автомобилей наблюдается в самосвалах ГАЗ-САЗ-3507 и КамАЗ 55102 – соответственно 274 и 267 ед.; среди автомобилей специальных – в молоковозах (167 ед.) и топливозаправщиках (124 ед.) [1].

Анализируя работу автомобильного транспорта на предприятиях сельского хозяйства Свердловской области за последние годы, следует заметить, что, с учетом уменьшения подвижного состава, увеличение грузооборота и выработки на один автомобиль в 2008 г., по сравнению с 2005 г., составило соответственно 12,2% и 10,5% [3]. Связано это с изменением подхода при осуществлении перевозок сельскохозяйственных грузов в средних и крупных предприятиях агропромышленного комплекса и рациональным использованием основного парка.

Лучшие показатели наблюдаются у птицефабрик Свердловской области: за 2008 г. при наличии 370 ед. подвижного состава выполнено 52 299 тыс. ткм и выработка составила 141 тыс. ткм на один автомобиль. Неплохие показатели выработки имеются в сельскохозяйственных предприятиях Белоярского, Камышловского и Режевского районов.

В целом грузооборот предприятий агропромышленного комплекса в 2008 г. вырос по сравнению с 2005 г. на 11,2%, но снизился по сравнению с предыдущим 2007 г. на 3,7%. Связано это с уменьшением дотационного финансирования сельскохозяйственных предприятий некоторых районов на общем фоне экономического кризиса и, как следствие, с неполной компенсацией собственных материальных затрат. К таким районам относятся Байкаловский (снижение грузооборота на 14,4%), Богдановичский (на 27,2%), Камышловский (на 21,5%), Сысертский (на 23,8%) [3].

Анализ работы грузового автотранспорта предприятий сельского хозяйства показывает, что материальные затраты на выполнение транспортной работы ежегодно увеличиваются и составили в 2008 г. 945 135 тыс. руб., что на 24,6% больше, чем в 2005 г., с соответствующим увеличением себестоимости перевозок на 18,1% [3].

Сложившаяся ситуация в предприятиях агропромышленного комплекса Свердловской области показывает, что необходимо обновление парка грузовых автомобилей с использованием для организации перевозок сельскохозяйственных грузов современных экономичных и надежных автомобилей, что приведет к увеличению выработки на один автомобиль и, как следствие, к уменьшению материальных затрат и себестоимости перевозок.

Литература

1. Наличие основной сельскохозяйственной техники по организациям агропромышленного комплекса Свердловской области за 2004–2008 гг.: Экспресс-информация. – Екатеринбург: Министерство сельского хозяйства и продовольствия Свердловской области, 2009. – 10 с.
2. Автотранспорт крупных и средних организаций Свердловской области в 2008 г.: Статистический бюллетень. – Екатеринбург: Терр. орган ФСГС по Свердловской области, 2009. – 29 с.
3. Анализ работы грузового автотранспорта за 2005–2008 гг.: Экспресс-информация. – Екатеринбург: Министерство сельского хозяйства и продовольствия Свердловской области, 2009. – 8 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫСАДКИ КРЕПЕЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ КОРРОЗИОННО-СТОЙКОЙ СТАЛИ

С.В. Бутаков, к. т. н., доц., УГТУ-УПИ;
В.А. Александров, к. т. н., доц., Уральская ГСХА;
Л.Ю. Лазарева, студ., УГТУ-УПИ

Аннотация

Приведены результаты исследования процесса высадки крепежных деталей из коррозионно-стойких сталей.

Ключевые слова: высадка, крепежные детали, коррозионно-стойкая сталь.

Keywords: disembarkation, fixing details, corrosion proof steel.

В условиях массового производства наиболее целесообразным способом получения крепежных изделий является холодная объемная штамповка на автоматизированном оборудовании. Успешное проведение операций штамповки во многом зависит от процесса формирования многогранной поверхности – заключительных формоизменяющих операций. На этих операциях накопленная степень деформации, усилия деформирования, неравномерность распределения деформаций по объему достигают наибольших значений, а следовательно, наиболее вероятно возникновение трещин в изделии и разрушение инструмента.

Значительное влияние на процесс формирования многогранника оказывает история деформирования, так как предварительная пластическая обработка приводит к росту суммарной степени деформации и неравномерному ее распределению. В результате локальные деформации могут достигать предельных значений при относительно небольших средних степенях деформации. Пластическое деформирование коррозионно-стойких сталей характеризуется интенсивным упрочнением, поэтому учет неравномерного распределения деформаций по объему и напряжений на контактных поверхностях приобретает важное значение при разработке технологического процесса высадки с учетом подготовительных операций.

Для теоретического исследования процесса формоизменения был выбран шаговый метод. Подобный подход позволяет учесть историю деформирования и характер изменения распределения деформаций в процессе самой штамповки. Процесс формоизменения рассматривается последовательно от исходной заготовки до готового изделия через малые промежутки времени. На основе вариационного метода определяются мгновенное напряженно-деформированное состояние и за малый промежуток времени приращение степени деформации сдвига (Λ), которая суммируется в каждой точке со значением, известным на предыдущем шаге [1].

Кривая упрочнения – зависимость предела текучести на сдвиг (τ_s) от деформации сдвига – приведена на рис. 1 [2].

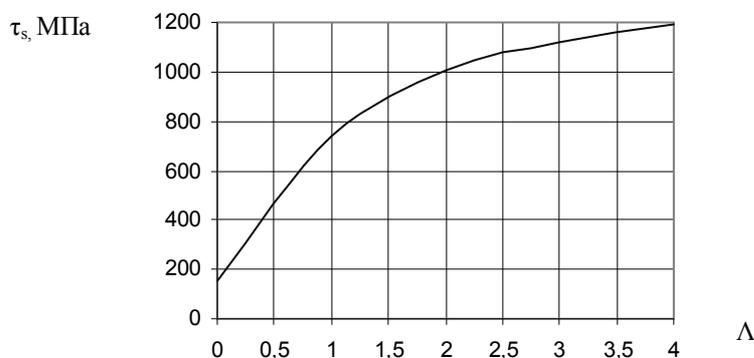


Рис. 1. Кривая упрочнения

Форма заготовки в процессе формоизменения и выделенный элемент объема показаны на рис. 2.

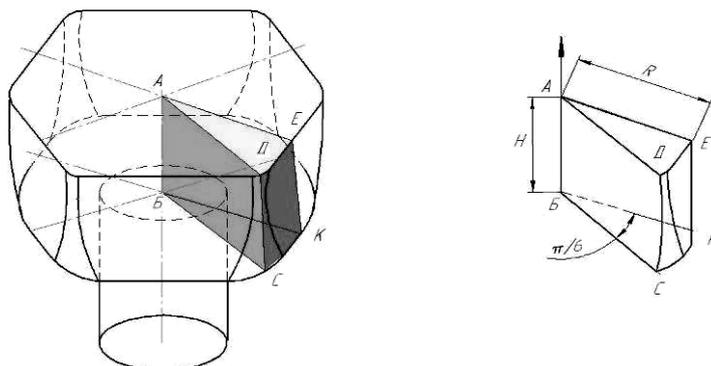


Рис. 2. Форма заготовки в процессе формоизменения

В результате численной реализации теоретических зависимостей были получены данные по распределению Δ по объему детали. На рис. 3 представлены результаты расчета Δ по объему головки заготовки болта после волочения ($\varepsilon=25\%$) и высадки головки ($\varepsilon=75\%$).

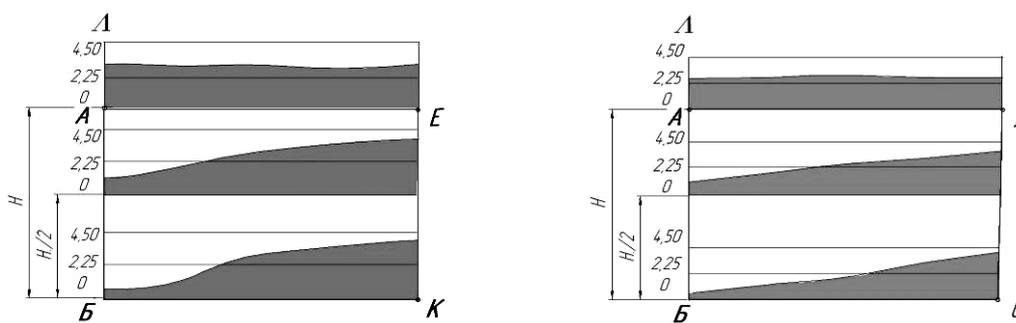


Рис. 3. Результаты расчета

Литература

1. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1986. – 688 с.
2. Богатов А.А., Мижирицкий О.И., Смирнов С.В. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением. – М.: Металлургия, 1984. – 144 с.

УДК 631

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКА ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

В.В. Волынкин, к. т. н., доц., Уральская ГСХА;
К.И. Лукомский, к. т. н., доц., Челябинская гос. агроинж. академия

Аннотация

Рассмотрено состояние МТП Челябинской области. Произведена оценка стабильности рассматриваемых показателей в районах области.

Ключевые слова: коэффициент выбытия, коэффициент обновления, нагрузка на сельхоз технику.

Keywords: decommissioning index, renovation index, agricultural equipment loading.

Для успешной работы сельхозтоваропроизводителей важной составляющей являются обновление и пополнение парка основных видов сельскохозяйственной техники. Качественное и количественное сокращение машинно-тракторного парка – одна из главных причин значительного падения производства и повышения себестоимости сельскохозяйственной продукции.

В табл. 1 представлены показатели, характеризующие состояние МТП в Челябинской области.

Таблица 1

Состояние МТП Челябинской области

Показатели	2004 г.	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2008 г./ 2004 г.
Среднегодовое количество тракторов, шт.	8969	7862	7021	6800	6500	0,72
Коэффициент выбытия тракторов, %	14,7	24,8	17,4	13,1	12,1	0,82
Коэффициент обновления тракторов, %	7,7	18,5	16,9	12,8	12,5	1,62
Нагрузка на трактор, га	287	310	298	285	301	1,05
Среднегодовое количество комбайнов, шт.	4206	3512	2981	2855	2760	0,66
в том числе зерноуборочных, шт.	3200	2660	2253	2203	655	0,20
Коэффициент выбытия комбайнов, %	19,2	25,2	20,0	15,2	14,3	0,74
Коэффициент обновления комбайнов, %	7,6	17,7	19,2	13,7	18,2	2,39
Нагрузка на зерноуборочный комбайн, га	133	219	269	307	315	2,37
Нагрузка на сеялку, га	205	182	220	248	264	1,29

Как видно из таблицы, среднегодовое количество тракторов с каждым годом сокращается. За 5 последних лет это уменьшение составило 28%. Наибольшее снижение данного показателя характерно для Сосновского (64%), Варненского (54%), Нагайбакского (54%), Нязепетровского (52%) и Увельского (52%) районов. Относительно 2007 г. количество тракторов снизилось на 4%. Но некоторые районы за год увеличили их количество: Кунашакский (58%), Карталинский (16%), Еткульский и Каслинский (15%), Верхнеуральский (10%), Агаповский (5%), Троицкий (3%), а также Птицепром (4%).

Коэффициенты обновления и выбытия тракторов резко повысились в 2005 г., а затем наблюдается тенденция постоянного снижения. Коэффициент выбытия относительно 2004 г. снизился на 2,6%, а относительно 2007 г. – на 1%. Данный показатель колеблется от 0% (Каслинский район) до 45,2% (Нагайбакский). Коэффициент обновления тракторов относительно 2004 г. поднялся на 4,8%, но относительно 2007 г. снизился на 0,3%. Наибольшее значение данного показателя наблюдается в Нагайбакском (49,2%), а наименьшее – в Верхнеуральском (3,4%) районах. Коэффициент выбытия тракторов превосходит коэффициент обновления в следующих районах: Аргаяшский, Брединский, Варненский, Кизильский, Красноармейский, Троицкий, Увельский и Чебаркульский. В общем по Челябинской области коэффициент обновления превосходит коэффициент выбытия тракторов, что является положительным, хотя данная тенденция наблюдается только в 2008 г., а в 2004–2007 гг. ситуация была обратной.

Среднегодовое количество комбайнов за 5 лет сократилось на 34%, а зерноуборочных – на 80%. Увеличить число комбайнов смогли только Кунашакский район (49%) и ХПП (16%). Наибольшее снижение комбайнов характерно для Варненского (70%), Сосновского (59%), Нязепетровского (54%), Нагайбакского (53%) и Уйского (53%) районов. Количество же зерноуборочных комбайнов сокращается в каждом районе.

Что касается коэффициентов выбытия и обновления комбайнов, то здесь наблюдается такое же резкое повышение данных показателей в 2005 г., как и для тракторов. Но если рассматривать общую тенденцию, то для коэффициента выбытия характерно постепенное снижение (рис. 1), а для коэффициента обновления – увеличение (рис. 2). Превосходство первого показателя над вторым в 2008 г. наблюдается в Аргаяшском (15,9%), Нагайбакском (13,2%), Троицком (9,9%), Брединском (7,6%), Кизильском (7,2%), Октябрьском (5,8%), Каслинском (5,7%) и Кунашакском (1,3%) районах. В остальных же районах обновление комбайнов превышает их списание.

Имеющаяся техника стареет, выходит из строя и, естественно, возрастает нагрузка на единицу техники. Так, нагрузка пашни на один трактор увеличилась с 287 га в 2004 г. до 301 га в 2008 г., а на один зерноуборочный комбайн сейчас приходится 315 га посевов против 133 га в 2004 г., то есть почти в 2,5 раза. Нагрузка на сеялку также увеличилась за 5 лет почти на 60 га, что составляет 29%. Все это, в свою очередь, увеличивает сроки проведения полевых работ.

Снизить нагрузку на трактор в 2008 г. относительно 2007 г. смогли только в Агаповском, Брединском, Верхнеуральском, Еткульском, Карталинском, Каслинском, Красноармейском, Нагайбакском районах. Нагрузка посевных площадей на зерноуборочный комбайн сократилась в Агаповском (10%), Верхнеуральском (9%), Еткульском (18%), Карталинском (18%), Кунашакском (38%) и Чебаркульском (4%) районах. Самое большое увеличение нагрузки на сеялку наблюдается в Нязепетровском районе (320%).

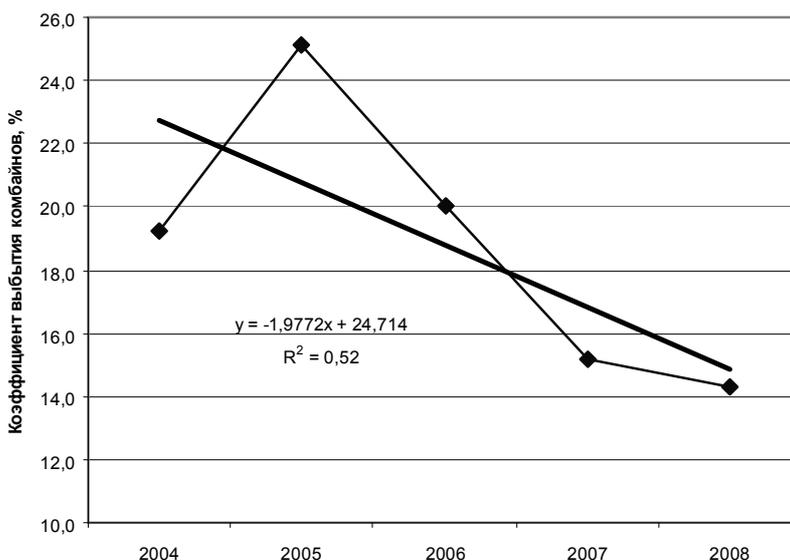


Рис. 1. Изменение коэффициента выбытия комбайнов в Челябинской области за 2004–2008 гг.

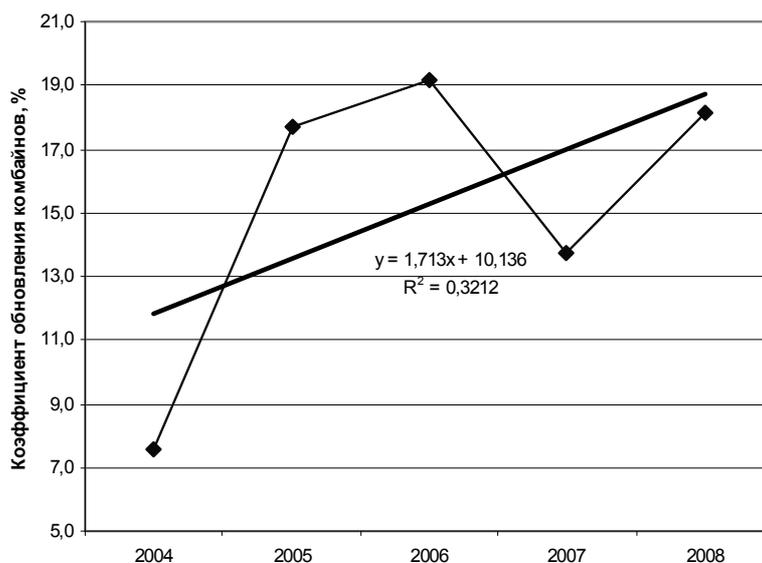


Рис. 2. Динамика коэффициента обновления комбайнов за 2004–2008 гг.

Таким образом, состояние МТП в Челябинской области с каждым годом ухудшается. Сокращается количество сельскохозяйственной техники, особенно зерноуборочных комбайнов, и, как следствие, повышается нагрузка на нее, что приводит к более быстрому износу. Во многих районах области количество списанной техники превосходит количества приобретенной. Наиболее стабильными районами оказались Агаповский, Верхнеуральский, Карталинский. В этих районах повышается количество техники, снижается нагрузка на нее, и коэффициент обновления выше выбытия. Обратная ситуация наблюдается в Варненском, Кизильском, Увельском, Нязепетровском районах.

Литература

1. Гордеев А.В. О государственной программе развития сельского хозяйства на 2008–2012 годы // Экономика сельского хозяйства и перерабатывающих предприятий. – 2007. – № 9. – С. 6–10.

УДК 631.316.2.001.57

ОБРАБОТКА ПОЧВЫ И ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИЕ ОРУДИЯ

А.Н. Гришин, к.т.н., доц.,

Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина

Аннотация

Проведен обзор существующих способов обработки почвы в различных зонах. Анализируются виды противоэрозионных почвообрабатывающих орудий, возможность разработки универсальных почвообрабатывающих орудий и их преимущества.

Ключевые слова: *почвообрабатывающие орудия, обработка почвы, почвозащитная система земледелия, универсальные почвообрабатывающие орудия.*

Keywords: *soil cultivating instruments, soil cultivating, soil protecting system of agriculture, universal soil cultivating instruments.*

В технологической системе агротехнических мероприятий по возделыванию сельскохозяйственных культур обработка почвы решает комплекс задач: сохранение и повышение плодородия, создание оптимальной структуры почвы как основы развития растений и получения высоких урожаев; уничтожение сорной растительности; накопление в почве влаги и предотвращение ее непродуктивных потерь. Поэтому выбор рационального способа обработки почвы и соответствующего почвообрабатывающего орудия для его применения становится важной проблемой, возникающей перед сельскохозяйственным производителем.

В настоящее время в отрасли сложилась критическая ситуация – сельское хозяйство как никогда нуждается в разнообразной высокопроизводительной технике, в то же время производство широкого ассортимента техники убыточно для заводов Министерства сельского хозяйства РК, что вынуждает их искусственно завышать оптовые цены на вновь создаваемую машиностроительную продукцию.

Важнейшее значение придается производству машинных технологий, проводящих операции: глубокого рыхления, щелевания, предпосевной обработки почвы, внесения удобрений, посева и т. д., с гибкой настройкой для всего набора операций благодаря сменным узлам (модулям) и агрегатам.

Различные способы обработки почвы во многом обуславливают ее физические свойства. Так как результатом обработки почвы является перевод пахотного горизонта из исходного состояния в требуемое, то важное значение имеет строение пахотного слоя почвы, которое определяется главным образом ее плотностью. Многочисленными исследованиями установлено, что увеличение или уменьшение плотности почвы, по сравнению с оптимальной, на 0,1...0,3 г/см³ приводит к снижению урожайности на 20...40%.

Поэтому одна из основных задач обработки почвы состоит в регулировании ее плотности. Чтобы регулировать плотность почвы, необходимо знать ее исходное состояние и на основе этого выбирать способы обработки. При таком подходе возникает вопрос, в каком состоянии находится сложение почвы в каждом конкретном случае, на какую глубину и каким образом следует ее обрабатывать. Очевидно, зная ответ на поставленный вопрос, можно применять, а при необходимости и создавать нужную почвообрабатывающую машину.

Выполнение любой технологической операции непосредственно связано с техникой. Существующая система машин для обработки почв представлена орудиями с отвальными и безотвальными рабочими органами различных видов. Отвальная обработка почвы до настоящего времени преобладает в земледелии большинства стран мира, в регионах с умеренным климатом и достаточным количеством осадков. Вместе с тем мировой опыт показывает, что наблюдается устойчивая тенденция перехода к обработке почвы по энергосберегающим безотвальным почвозащитным технологиям.

При сегодняшнем уровне развития теории и практики земледелия известны многие почвозащитные системы обработки почвы, которые имеют разные названия, зачастую противоречивые. Такое положение затрудняет внесение ясности в технологические требования обработки почвы. Классическим примером тому является внедрение почвозащитной системы земледелия. В основу этой системы легли теория и практика Т.С. Мальцева, в едином комплексе решавшие вопросы как повышения плодородия, так и сохранения почвы от чрезмерного разрушения, накопления запасов влаги, борьбы с сорняками и т. д.

Был обоснован и соответствующий комплекс машин, где наряду с безотвальной предусматривалась и отвальная обработка почвы. Впоследствии на основе этой системы под руководством А.И. Бараева была разработана целинная почвозащитная система земледелия, получившая название «плоскорезная обработка», главным принципом которой стала обработка почвы плоскорезными орудиями. Само название указывает на содержание системы, которое определяется не по технологическому принципу, а по типу применяемых орудий.

Вследствие исключения из системы отвального плуга и отсутствия замены его соответствующим орудием для периодического разуплотнения пахотного горизонта и борьбы с сорняками в настоящее время значительные площади Казахстана оказались уплотненными и засоренными. Это привело к тому, что культиваторы-плоскорезы плохо заглубляются в почву и не выдерживают заданную глубину обработки, а плоскорезы-глубокорыхлители не подрезают сорняки и выворачивают крупные глыбы, образуя так называемые «чемоданы».

Почвозащитная система земледелия реализуется с помощью специального комплекса противэрозионных почвообрабатывающих машин и орудий основной обработки почвы во всех хозяйствах Северного Казахстана. Комплекс включает в себя:

- плоскорезы глубокорыхлители ПГ-3-100, ПГ-3-5 для рыхления почвы на глубину от 16 до 27 см;
- плоскорезы и тяжелые культиваторы КПШ-5, КПШ-9, КПШ-11, КТС-10-1, КТС-10-2 для мелкой основной и предпосевной обработки на глубину от 8 до 16 см.

Плоскорез-щелеватель КПШ-5 выполняет безотвальное рыхление почвы плоскорезным рабочим органом до 16 см с одновременным щелеванием на глубину до 35 см.

Чизелевание выполняется серийным орудием ПЧ-4,5 на глубину 35-45 см.

Одним из возможных путей решения проблемы является создание универсальных машин, а также высокоманевренных агрегатов с использованием навесных и полунавесных сцепок. Данные комплексы должны являться базовыми для дальнейшего развития и создания новых машин. Выработаны основные требования к универсальным технологиям:

1. Необходимо создать универсальные машины, близкие по энергоемкости обработки и характеру выполнения технологического процесса.
2. Вновь создаваемые универсальные комплексы должны быть базовыми и иметь высокую степень внутригрупповой унификации агрегатов, рабочих органов (мест креплений и рамы), узлов и деталей.
3. Модули и агрегаты, используемые в универсальных комплексах, должны иметь возможность работать как самостоятельные орудия в случае применения тракторов меньшего класса тяги.
4. В создаваемых универсальных комплексах должна быть предусмотрена переналадка или установка различных унифицированных модулей и агрегатов с минимальными затратами труда и без привлечения дополнительных средств.

5. Вновь создаваемые универсальные комплексы должны иметь широкий диапазон применения в различных почвенно-климатических регионах страны.

Подтверждением этому является проведенный нами анализ оценки работы плоскорезных орудий по среднеквадратическому отклонению глубины обработки. Полученные данные показывают, что орудия работают с соблюдением агротехнических допусков глубины обработки в среднем на 25–50%. На твердых и тяжелых почвах, а также при высоких скоростях движения агрегата этот показатель уменьшается в 1,5...2 раза.

Многолетнее применение плоскорезных орудий и интенсивное воздействие тяжелых тракторов и машин на почву привели к тому, что плотность подпахотного горизонта оказалась значительно (иногда на порядок) выше, чем пахотного. Следствием этого стало образование «плужной подошвы» как предпосылки процесса развития водной эрозии почвы. Таким образом, осуществляя борьбу с ветровой эрозией, вместе с тем создали условия для развития водной эрозии.

Особенно явно этот процесс проявился при внедрении целинной почвозащитной системы земледелия на Полтавщине. По зональной разновидности система стала называться «бесплужной». Она так же определялась не по технологическому содержанию, а по типу применяемых орудий (обязательно без отвальных плугов и луцильников, то есть без оборота пласта почвы). Этой системе присущи те же недостатки, что приведены выше. Примером тому служат исследования, проводимые украинскими и другими учеными, которые для разуплотнения почвы и предотвращения водной эрозии, особенно на склонах, предлагают щелеватели, почвоуглубители, комбинированные агрегаты для ярусной обработки почвы.

Общая тенденция развития системы земледелия показывает, что определение и содержание «почвозащитного земледелия» не могут зависеть от применяемой машины, а должны иметь технологическую основу. На это указывают возросший интерес к обработке почвы в мире и тенденция разработки полных циклов возделывания сельскохозяйственных культур, направленная не только на получение продукта земледелия, но и на решение социальных проблем. Последнее выражается в сохранении и защите природных агроэкологических систем и устранении угрозы здоровью человека. Такой подход к системе почвозащитного земледелия связан с необходимостью защиты почвы от чрезмерного уплотнения, водной, ветровой, механической эрозий и других негативных последствий. Тем самым создается основа для сохранения и повышения плодородия почвы, чистоты водных бассейнов и их запасов, от которых во многом зависит будущее человечества.

Анализ почвообрабатывающих орудий для основной обработки почв показал, что все орудия состоят из рамы, рабочих органов, опорных колес, механизма регулировки глубины обработки и механизма навески с автосцепкой или без нее. Установлено, какую долю каждый из этих узлов составляет в общей конструктивной массе орудия. В частности, на опорные колеса приходится 4,5–7,8% от общей массы орудия, на механизм навески с автосцепкой – 8–16% и на механизм регулировки глубины обработки – 1,9–3,4%.

При проектировании почвообрабатывающих орудий для основной обработки почвы, работающих с энергосберегающими тракторами класса тяги 3 и 5, не в полной мере используются резервы снижения их материалоемкости за счет механизма присоединения к трактору и опорных колес с механизмом регулировки глубины рыхления. Эти узлы являются общими для всех рассмотренных выше противозерозионных почвообрабатывающих орудий.

Для технологического модульного построения почвообрабатывающих машин возникает необходимость создания универсальных противозерозионных орудий с целью выполнения различных технологических операций основной обработки почвы в течение года.

Универсальное противозерозионное орудие имеет одну общую раму, к которой присоединяются различные технологические модули. На раме устанавливаются механизм соединения с трактором, опорные колеса с механизмами регулирования глубины обработки. Модули представляют собой подрамники с различными рабочими органами: плоскорезами, глубокорыхлителями, щелерезами, чизелями, плоскорезами-щелерезами. Модули присоединяются к общей раме с помощью специальных гидрозавхатов. Замена модулей осуществляется из кабины трактора в течение 3...4 минут.

В результате внедрения в производство универсальных противозерозионных орудий основной противозерозионной обработки почвы увеличивается время использования их в течение года в 1,5...3 раза, снижается удельная материалоемкость агрегата на 10–15%, уменьшается потребность базовых узлов и деталей в 2...3 раза.

Сейчас не за горами время, когда встанет вопрос об «агроэкологическом благополучии» всей планеты. Поэтому без учета биологических требований самого растения, адаптированности

применяемых почвообрабатывающих агрегатов к конкретным почвенно-климатическим условиям невозможно говорить о сохранении плодородия почвы и получении достаточной для человечества продукции.

Таким образом, важным звеном в системе земледелия является обработка почвы. Независимо от того какими орудиями обрабатывается почва для различных почвенно-климатических зон: плоскорезами, глубокорыхлителями, плугами или другими машинами, необходим дифференцированный подход, определяемый степенью воздействия почвообрабатывающих агрегатов на почву. Именно это обстоятельство позволяет утверждать, что обрабатывать почву необходимо не на любую глубину, а на требуемую, исходя из конкретного состояния почвы.

Литература

1. Бараев А.И., Важенин А.К. Пути совершенствования противозерозионной техники // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1973. – № 4. – С. 4.
2. Дмитриченко С.С., Ротенберг В.А. Задачи и проблемы снижения материалоемкости сельскохозяйственной техники // Тракторы и сельхозмашины. – 1979. – № 1. – С. 28–31.
3. Краснощекоев Н.В. Механика почвозащитного земледелия. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1984. – 201 с.
4. Почвозащитная система земледелия: Справочник / Под ред. А.И. Бараева, М.К. Сулейменова. – Алма-Ата: Кайнар, 1985. – 199 с.
5. Предложения о расширении типажа сменных рабочих органов к базовым сельскохозяйственным машинам для ускоренного освоения производством зональных систем земледелия: Буклет. – Новосибирск: СибНИИМЭ, 1982. – 86 с.

УДК 631

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОПЛИВНО-МАСЛЯНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ РАПСОВОГО МАСЛА

Л.В. Денежко, проф.; **Л.А. Новопашин, проф.;** **В.М. Бонк, ст. преп.;**
Уральская ГСХА

Переход на использование моторного биотоплива позволяет одновременно решить две ключевые проблемы современности – удовлетворить растущие потребности в энергии без ущерба для окружающей среды.

Развитие индустрии биотоплива обусловлено следующими факторами:

- значительным ростом цен на ископаемые энергоносители;
- прогнозируемым снижением мировых запасов нефти;
- растущими проблемами экологической безопасности.

Международная энергетическая ассоциация (IEA) прогнозирует, что до 2030 г. потребление биогорючего в ЕС увеличится в сравнении с текущими показателями в 13–18 раз (2, 3).

В России из биотоплив для сельскохозяйственного производства, в котором эксплуатируются большой тракторный парк и автомобили с дизельными двигателями, приоритет принадлежит биотопливу на основе растительных масел.

На кафедре тракторов и автомобилей Уральской ГСХА проводятся исследования композитных топлив на основе растительных масел.

В данной статье изложены результаты исследования качества топливных композиций на базе рапсового масла.

Определение физико-химических свойств топливных композиций проводилось по следующим показателям (1):

- вязкость;
- плотность;
- низкотемпературные свойства (температуры помутнения и застывания);

- цетановое число;
- показатели коррозии (кислотность, испытание на медную пластинку, водорастворимые кислоты и щелочи).

Для исследования были взяты 3 смеси:

1) рапсовое масло (РМ) с дизельным топливом (ДТ) в соотношении по объему (РМ:ДТ) 25:75; 50:50 и 75:25;

2) рапсовое масло (РМ) с бензином (Б) в следующих концентрациях (РМ : Б) 80:20; 70:30 и 60:40;

3) рапсовое масло (РМ) в смеси с керосином (К) в соотношении (РМ : К) 80:20; 70:30 и 60:40.

Смеси подвергали смешиванию на активаторе для получения однородного (гомогенного) состава. Продолжительность процесса активации каждой смеси составила 15 минут.

Проводилось визуальное обследование полученных смесей на предмет обнаружения цветовых отличий и наличия в смесях границы расслоения масла и компонентов (бензина, дизельного топлива, керосина).

Результаты исследований представлены в табл. 1–3.

Плотность топливных смесей по величине занимала промежуточное значение между плотностью масла и его компонента (бензина, керосина или дизтоплива) и возрастала с увеличением доли масла в смеси.

Плотность топлива влияет на качество распыла и зависит от температуры. У смесевых топлив она колеблется при температуре 20° С в пределах от 843 до 895 кг/м³.

Таблица 1

Сравнительные физико-химические характеристики бензино-рапсовых смесей

Показатели	РМ	Смесь 80:20	Смесь 70:30	Смесь 60:40	Аи 76	ДТ
Низшая теплота сгорания, Мдж/кг	37,1	38,48	39,17	39,86	44	42
Плотность, кг/м ³ (20 °С)	0,916	0,887	0,870	0,857	0,767	0,827
Вязкость, мм ² /с (20 °С)	75,16	21,41	13,34	8,31	0,757	3,34
Температура помутнения, °С	-3	-8	-10	-11	не норм.	-
Температура застывания, °С	-12	-18	-20	-21		
Цетановое число	40	28	27	26	22	45
Кислотность КОН, мг/100 см ³	6,1	5,7	5,0	4,9	2,8	5
Температура вспышки, °С	217	46	36	25	не огр.	30
Испытания на медной пластинке	Выдерживает					
Содержание водорастворимых кислот, щелочей	Отсутствие					

Таблица 2

Сравнительные физико-химические показатели керосино-рапсовых смесей

Показатели	РМ	Смесь 80:20	Смесь 70:30	Смесь 60:40	К	ДТ
Низшая теплота сгорания, Мдж/кг	37,6	38,58	39,19	39,72	42,9	42
Плотность, кг/м ³ (20 °С)	0,916	0,884	0,876	0,866	0,786	0,827
Вязкость, мм ² /с (20 °С)	75,00	28,28	19,08	10,74	1,42	3,34
Температура помутнения, °С	-9	-17	-21 не набл.	-21 не набл.	-15	-
Температура застывания, °С	-12	не набл.	не набл.	-	не набл.	-
Цетановое число	29	29,5	30,5	33	63	45
Кислотность КОН, мг/100 см ³	6,1	5,6	5,1	5,0	3,2	-
Температура вспышки, °С	217	62	45	39	28	30
Испытания на медной пластинке	Выдерживает					
Содержание водорастворимых кислот, щелочей	Отсутствие					

Низкотемпературные свойства смесей характеризуют поведение их при низких температурах. Значение температуры помутнения указывает на температуру, при которой топливо уже нельзя применять.

Таблица 3

Сравнительные физико-химические показатели дизельно-рапсовых смесей

Показатели	РМ	Смесь РМ и ДТ (75:25)	Смесь РМ и ДТ (50:50)	Смесь РМ и ДТ (25:75)	ДТ
Низшая теплота сгорания, Мдж/кг	37,10	37,79	38,48	39,17	42
Плотность, кг/м ³ (20 °С)	0,916	0,895	0,871	0,843	0,827
Вязкость, мм ² /с (20 °С)	68,64	28,25	15,56	5,66	3,34
Температура помутнения, °С Температура застывания, °С	0...-3	-19 не набл.	-19 не набл.	-19 не набл.	-
Цетановое число	29	30	36	44,5	45
Кислотность КОН, мг/100 см ³	6,1	5,8	5,6	5,25	5
Температура вспышки, °С	217	63	54	49	30
Испытания на медной пластинке	Выдерживает				
Содержание водорастворимых кислот, щелочей	Отсутствие				

Согласно полученным данным, температура помутнения понижается по мере уменьшения доли масла в ее составе.

Вязкость – один из важнейших показателей, влияющих на качество распыла, а следовательно, и на полноту сгорания топлива. Поэтому с точки зрения качественного распыла желательна как можно меньшая вязкость. Но в то же время топливо является смазочным материалом для прецизионных пар топливного насоса и форсунок, поэтому в ГОСТах и ТУ вязкость дизельных топлив нормируется двумя пределами: для летних – 3–6 сст при $t = 20^\circ\text{C}$, для арктических – 1,5–4 сст при $t = 20^\circ\text{C}$.

Как показывают результаты исследований (рис. 1), вязкость 6 сст при температуре 20°C может быть получена у смесей с содержанием в масле 40% бензина или 45% керосина или 60% дизельного топлива. У смесей масла с 20% бензина или 30% керосина близкая к этому значению вязкость отмечена при температуре 70°C .

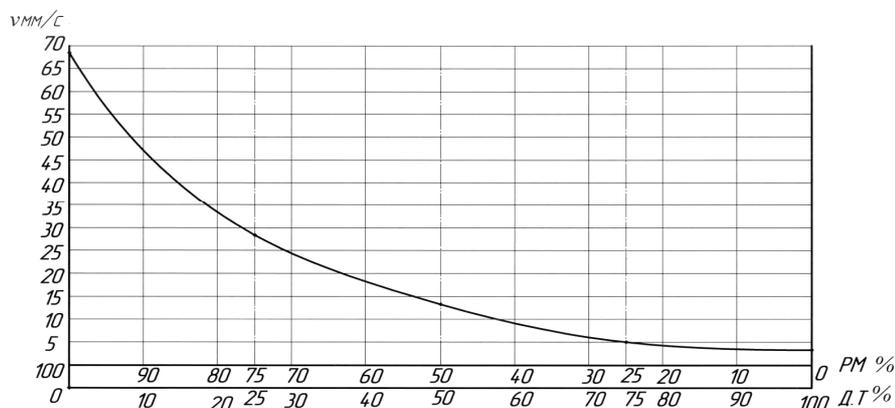


Рис. 1. Зависимость вязкости от состава смеси

Закономерность изменения вязкости от температуры подтверждается. Однако характер изменения вязкостно-температурных кривых различен: более крутой – у смесей с повышенным содержанием масла и более пологий – с меньшим процентным соотношением масла в смеси. Вязкостно-температурные характеристики смеси масла с 30% бензина, 40% керосина и 60% ДТ близки к дизельному топливу (рис. 2).

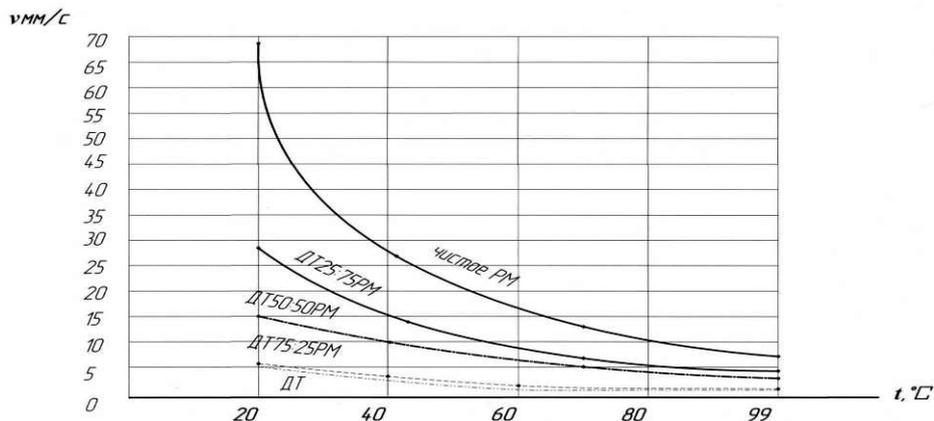


Рис. 2. Вязкостно-температурные характеристики смесей

Как показали результаты исследований, температура вспышки понижается с повышением концентрации компонентов в масле. По опытным данным она составила: для дизельного топлива – 41°C, для рапсового масла – 217°C, для смесей масла с бензином колеблется от 25°C (при 40% бензина) до 49°C (при концентрации ДТ 75%).

Это указывает на то, что воспламеняемость смесей лучше, чем у дизельных топлив, а огнеопасность выше.

Коррозионные свойства топлив оцениваются значением кислотности, содержанием водорастворимых кислот и щелочей, а также испытаниями на медной пластинке.

Значение кислотности для дизельного топлива было близким к значению по ГОСТ – 5 мг КОН/100 см³. С увеличением доли бензина, керосина, дизтоплива в смеси кислотность уменьшается. Однако в исследуемых смесях с добавкой дизельного топлива до 20% бензина и до 30% керосина кислотность была выше 5 мг КОН/100 см³. Это говорит о незначительном коррозионном воздействии на двигатель при их применении.

Как показал анализ, водорастворимые (минеральные) кислоты и щелочи во всех смесях отсутствуют.

Испытания на медную пластинку все пробы смесевых топлив выдерживают, что подтверждает отсутствие в них активной серы.

Цетановое число – показатель воспламеняемости дизельных топлив: от того, какова воспламеняемость топлива, зависит период задержки воспламенения и, следовательно, характер процесса сгорания во 2-й фазе.

Большой период задержки воспламенения из-за плохой воспламеняемости приводит к резкому возрастанию давления в основной фазе, то есть к жесткой работе дизеля, а следовательно, влияет на его долговечность.

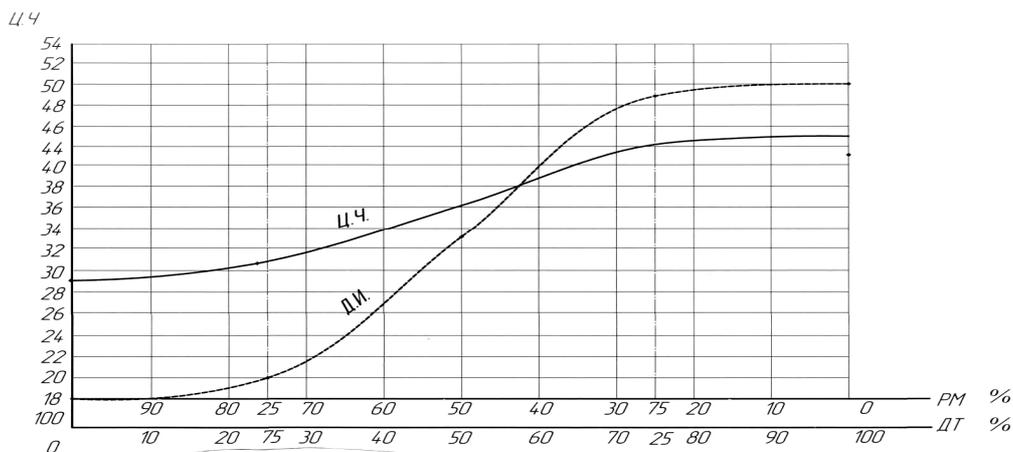


Рис. 3. Зависимость цетанового числа от состава смесей

Как показывают проведенные исследования, с увеличением содержания масла в смеси цетановое число увеличивается с 22 у А-76 до 29 у рапсового масла. Добавление бензина в рапсовое масло снижало цетановое число в среднем на единицу на каждые 10% увеличения концентрации бензина в смеси (рис. 3). Цетановое число 40 соответствует смеси с содержанием 60% керосина и 55% дизельного топлива. Смеси ДТ с содержанием рапсового масла до 50% могут обеспечить нежесткую работу дизеля в период эксплуатации.

Согласно литературным данным, цетановое число ниже 38–40 приводит к жесткой работе и затрудняет запуск двигателя. Поэтому, если ориентироваться на эти значения, исследуемые смеси имеют цетановое число ниже рекомендуемых.



Рис. 4. Образцы топливных смесей после 3-месячной выдержки

Исследования устойчивости топливных смесей не обнаружили расслоения и цветовых отличий. Смесь после активирования оставалась неизменной в течение 2–3 месяцев (рис. 4).

Выводы

Анализируя полученные результаты исследований, можно отметить:

1. Смеси на базе рапсового масла с добавлением до 40% компонентов дизельного топлива, керосина и бензина имеют плотность, близкую к плотности дизельного топлива.
2. Вязкость исследуемых смесей снижается при увеличении в них топливных компонентов. Особенно сильно влияет на снижение вязкости добавление бензина и керосина.
3. Цетановое число до 38–40 единиц, соответствующее нежесткой работе дизеля, может быть достигнуто при добавлении в смеси на базе рапсового масла до 50% керосина или 55% дизельного топлива. Добавка бензина резко снижала цетановое число смесей.
4. Низкотемпературные свойства смесей, оцениваемые таким показателем, как температура помутнения, указывают на возможность применения этих смесей в условиях эксплуатации до –5...–10°C.
5. По результатам испытаний на медной пластинке все смеси не содержат активной серы. Несколько большая величина кислотности у всех смесей на базе рапсового масла указывает на незначительное увеличение их коррозионности по сравнению с дизельным топливом.

Литература

1. Кузнецов А.В., Кульчев М.А. Практикум по топливу и смазочным материалам. – М.: Агропромиздат, 1987.
2. Результаты испытаний и перспективы эксплуатации дизелей на биотопливе. – М.: Росинформагротех, 2008. – 136 с.
3. Федоренко В.Ф. и др. Состояние и развитие производства биотоплива. – М.: Росинформагротех, 2007. – 130 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В ПНЕВМОПРОВОДЕ

Д.З. Есхожин, д. т. н., проф.; С.О. Нукешев, к. т. н., доц.;
Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина

Аннотация

Рассмотрены пути повышения эффективности центрального распределения минеральных удобрений путем применения нового технического решения. Получены зависимости, позволяющие определить параметры центрального распределителя в зависимости от скорости частицы и воздуха.

Ключевые слова: централизованное дозирование, минеральные удобрения, завихритель, винтовая поверхность.

Keywords: centralized dosing, mineral fertilizers, screw surface, whirlwind.

В настоящее время наиболее производительны, экономически эффективны и приемлемы для дальнейшего совершенствования машины с централизованным дозированием. Но испытаниями зарубежных образцов машин с системами централизованного высева выявлены недостатки, препятствующие широкому их применению для внутрипочвенного внесения основной дозы удобрений. Наиболее существенным недостатком является неравномерное распределение удобрений по сошникам центральными распределительными устройствами.

Для решения вопроса о равномерном разделении сыпучего материала на части необходимо стабилизировать закон распределения частиц в поперечном сечении материалопровода и подвергнуть последний закручиванию. Для этого после участка поворота устанавливается дополнительный конструктивный элемент – завихритель, выполненный в виде винтовой спирали, навитой на стержень. Завихритель занимает все поперечное сечение материалопровода [1].

Предложенное техническое решение содержит материалопровод 1, корпус распределителя 2 г-образной формы, многозаходный винт 3, выполненный в виде спиральных витков. Поступивший на винтовую спираль поток закручивается и вследствие вращательного движения под действием центробежных сил инерции прижимается к внутренней стенке материалопровода, распределяется по ней ровным слоем, обретая при этом в поперечном сечении В-В форму полого цилиндра (рис. 1).

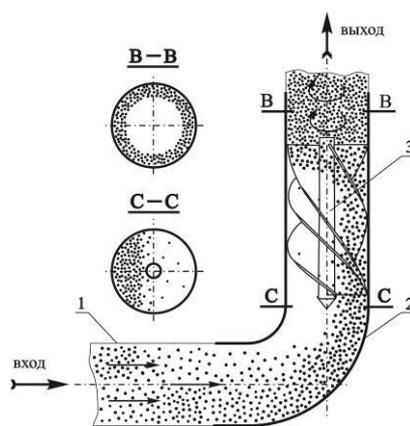


Рис. 1. Устройство для распределения сыпучего материала

Устройство работает следующим образом. Транспортируемый по трубопроводу 1 потоком воздуха материал, попав на участок поворота корпуса распределителя 2, под действием центробежных сил инерции концентрируется на внешней части корпуса распределителя 2.

Этим достигается стабилизация закона распределения сыпучего материала в поперечном сечении распределителя, поступающего в устройство.

Имея стабильно концентрированный слой в поперечном сечении корпуса распределителя 2 г-образной формы, материал механически разделяется витками 3 на одинаковые части и получает вращательное движение, создавая поток в виде вращающегося кольца, что способствует равномерному распределению сыпучего материала.

Такое конструктивное исполнение корпуса распределителя и расположение винта позволяет резко снизить влияние колебаний, отклонений распределителя от вертикали, качений и других случайных воздействий на качество работы.

В зависимости от установленной скорости потока воздуха определенное влияние на сохранение вращающегося потока и его равномерного распределения по отводам, очевидно, будет иметь высота вертикального участка. Для его обоснования рассмотрим движение удобрения по участкам материалопровода. Материалопровод можно условно разделить на четыре участка – I, II, III, IV (рис. 2).

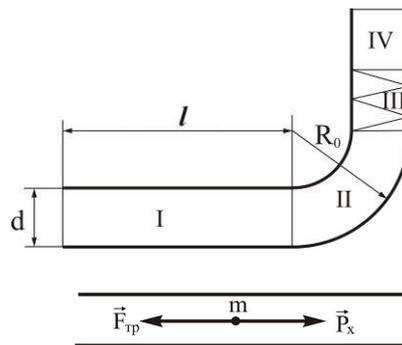


Рис. 2. Участки материалопровода

Известно, что для поддержания равномерного движения жидкости (газа) в горизонтальном трубопроводе (рис. 2, участок I) необходимо поддержать перепад давления, который определяется по известному уравнению Дарси – Вейсбаха:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho v^2}{2}, \quad (1)$$

где ρ – плотность жидкости (газа); λ – коэффициент сопротивления; p_1 и p_2 – давления в сечениях 1 и 2; d и l – диаметр и длина материалопровода; v – средняя скорость жидкости; $\frac{\rho v^2}{2}$ – динамическое давление.

В (1) λ можно заменить на коэффициент аэродинамического сопротивления k_x и отношение l/d – на площадь миделевого сечения A_r . Для двухкомпонентного потока динамическое давление вычисляется с помощью разницы скоростей каждого из компонентов. При этом сила аэродинамического сопротивления в прямолинейном трубопроводе из (1) имеет вид:

$$P_x = \frac{1}{2} k_x A_r \rho (v - u)^2, \quad (2)$$

где v и u – средние скорости 2 компонентов потока.

В горизонтальном трубопроводе на твердую составляющую двухкомпонентного потока действует также сила трения, пропорциональная нормальному давлению на нижней стенке. Поэтому дифференциальное уравнение такого потока на участке I имеет вид:

$$m \frac{du}{dt} = P_x - fN. \quad (3)$$

С учетом (2) и приравняв N на mg , получим:

$$m \frac{du}{dt} = \frac{1}{2} k_x A_r \rho (v - u)^2 - fmg. \quad (4)$$

В начале движения скорость твердого компонента $u_H = 0$, следовательно $\frac{du}{dt} = 0$. Тогда из уравнения (4) получим:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} k_x A_r \rho v_H^2 - fmg &= 0; \\ k_x A_r \rho v_H^2 &= 2fmg. \\ v_H &= \sqrt{\frac{2fmg}{k_x A_r \rho}}, \end{aligned} \quad (5)$$

где U_H – начальная скорость воздушного потока, при которой частица находится во взвешенном состоянии.

Определим из (5) k_x :

$$k_x = \frac{2fmg}{A_r \rho v_H^2}$$

и подставим его в (4):

$$\begin{aligned} m \frac{du}{dt} &= \frac{1}{2} \cdot \frac{2fmg}{A_r \rho v_H^2} A_r \rho (v - u)^2 - fmg; \\ \frac{du}{dt} &= fg \left[\left(\frac{v - u}{v_H} \right)^2 - 1 \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

Решение уравнения (6) при начальных условиях $u_H = 0$ и $t_H = 0$ дает:

$$u_1 = \frac{v \left(e^{\frac{2gt}{v_H}} - \frac{v - v_H}{v + v_H} \right) - v_H \left(e^{\frac{2gt}{v_H}} + \frac{v - v_H}{v + v_H} \right)}{e^{\frac{2gt}{v_H}} - \frac{v - v_H}{v + v_H}}. \quad (7)$$

Уравнение (7) дает зависимость скорости частицы в трубопроводе от его аэродинамических свойств и времени прохождения по трубопроводу. Зная ее, можно рассчитать длину трубопровода.

Для удобства вычислений по выражению (7) введем коэффициент перепада скорости воздушного потока:

$$\frac{v_H}{v} = \zeta. \quad (8)$$

При этом выражение (7) принимает вид:

$$u_1 = \frac{v \left(e^{\frac{2qt}{v_n}} - \frac{1-\zeta}{1+\zeta} \right) - v_n \left(e^{\frac{2qt}{v_n}} + \frac{1-\zeta}{1+\zeta} \right)}{e^{\frac{2qt}{v_n}} - \frac{1-\zeta}{1+\zeta}}. \quad (9)$$

Рассмотрим участок II. На частицу удобрения действуют сила тяжести mg , аэродинамическая движущая сила $P_x = m \frac{du}{dt}$, нормальное давление стенки трубопровода N и сила трения о ней F_{mp} (рис. 3).

Уравнение движения частицы в системе естественных осей n и τ имеет вид:

$$\begin{aligned} \sum \tau &= P_x - F_{mp} - mg \sin \varphi = 0; \\ \sum n &= N - mg \cos \varphi - m \frac{u^2}{R_0} = 0. \end{aligned} \quad (10)$$

Из второго уравнения (10) находим:

$$N = mg \cos \varphi + m \frac{u^2}{R_0}. \quad (11)$$

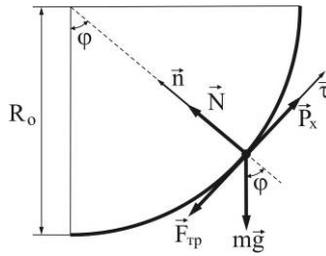


Рис. 3. Схема сил, действующих на участке II

При этом сила трения равна:

$$F_{mp} = fm \left(\frac{u^2}{R_0} + g \cos \varphi \right). \quad (12)$$

С учетом (12) из первого уравнения (10) находим:

$$\begin{aligned} P_x &= F_{mp} + mg \sin \varphi; \\ m \frac{du}{dt} &= fm \left(\frac{u^2}{R_0} + g \cos \varphi \right) + mg \sin \varphi; \end{aligned}$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{fu^2}{R_0} + fg \cos \varphi + g \sin \varphi. \quad (13)$$

Приведем (13) к угловой координате φ :

$$\frac{du}{dt} = \frac{u}{R_0} \cdot \frac{du}{d\varphi}. \quad (14)$$

В этом случае уравнение (13) примет вид:

$$u \frac{du}{d\varphi} = fu^2 + R_0fg \cos\varphi + R_0g \sin\varphi. \quad (15)$$

Интегрируя (15) при начальных условиях $u = u_1$ и $\varphi = 0$, получим выражение для определения скорости частицы:

$$\frac{\left\{ \left(e^{2f\varphi} - 1 \right) + \left(1 - e^{2f\varphi} \right) 2f^2 \right\} \cos\varphi - 3fe^{2f\varphi} \cdot \sin\varphi \} 2gR_0 + (1 + 4f^2)u_1^2}{(1 + 4f^2)e^{2f\varphi}} = u^2, \quad (16)$$

где u_1 вычисляется по выражению (9).

Очевидно, нас интересует скорость частицы u_2 – на выходе из поворота на вертикальный участок, где $\varphi = \pi/2$. При этом (16) имеет вид:

$$u_2^2 = \frac{(1 + 4f^2)u_1^2 - 6fgR_0e^{\pi f}}{(1 + 4f^2)e^{\pi f}}. \quad (17)$$

На участке III установлена винтовая поверхность, которая служит для закручивания двухкомпонентного потока. Действия сил на частицу M минерального удобрения представим схематически, как на рис. 4. Здесь нормальная реакция N_1 уравнивается центробежной силой $\frac{mu^2}{R}$, нормальная реакция опорной поверхности N направлена по бинормали и уравнивается проекцией силы тяжести mg . Аэродинамическая движущая сила P_x уравнивается силой трения F .

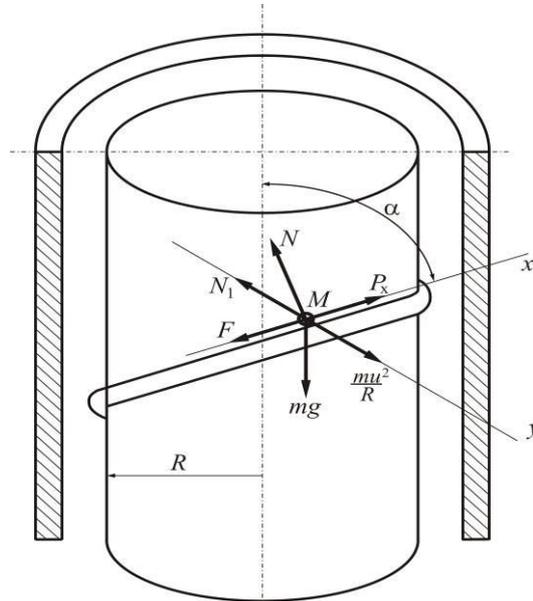


Рис. 4. Схема сил, действующих на участке III

Система уравнений, характеризующих движение частицы на естественных осях x , y , z , запишется следующим образом:

$$m\ddot{x} = P_x - F - mg\cos\alpha = 0;$$

$$m\ddot{y} = \frac{mu^2}{R} - N_1 = 0; \quad (18)$$

$$m\ddot{z} = N - mg\sin\alpha = 0.$$

Из системы (18) определим:

$$N_1 = \frac{mu^2}{R};$$

$$N = mg\sin\alpha.$$

Очевидно, аэродинамическая движущая сила P_x равна:

$$P_x = m \frac{du}{dt}. \quad (19)$$

Сила трения определится как:

$$F = f(N + N_1);$$

$$F = fm(g\sin\alpha + \frac{u^2}{R}). \quad (20)$$

С учетом (19) и (20) перепишем первое уравнение в (18):

$$\frac{du}{dt} = f(g\sin\alpha + \frac{u^2}{R}) + g\cos\alpha. \quad (21)$$

Это и есть дифференциальное уравнение движения частицы удобрения по закручивающейся винтовой поверхности под действием аэродинамической движущей силы.

Преобразуем уравнение (21):

$$\frac{du}{fg\sin\alpha + g\cos\alpha + \frac{f}{R}u^2} = dt.$$

Принимаем обозначения:

$$g(f\sin\alpha + \cos\alpha) = A;$$

$$\frac{f}{R} = B. \quad (22)$$

При этом последнее уравнение принимает вид:

$$\frac{du}{A + Bu^2} = dt.$$

Получили дифференциальное уравнение с разделяющейся переменной, решение которого имеет вид:

$$\frac{1}{\sqrt{AB}} \arctgu \sqrt{\frac{B}{A}} + C = t. \quad (23)$$

При $t = 0$, $u = u_2$

$$\frac{1}{\sqrt{AB}} \operatorname{arctgu}_2 \sqrt{\frac{B}{A}} + C = 0;$$

$$C = -\frac{1}{\sqrt{AB}} \operatorname{arctgu}_2 \sqrt{\frac{B}{A}} + C.$$

Значение C подставим в (23):

$$\frac{1}{\sqrt{AB}} \operatorname{arctgu}_3 \sqrt{\frac{B}{A}} + \frac{1}{\sqrt{AB}} \operatorname{arctgu}_2 \sqrt{\frac{B}{A}} = t;$$

$$\operatorname{Arctgu}_3 \sqrt{\frac{B}{A}} = \sqrt{AB} \cdot t - \operatorname{arctgu}_2 \sqrt{\frac{B}{A}}. \quad (24)$$

Уравнение (24) связывает такие параметры закручивающей винтовой поверхности, как его радиус и угол подъема винтовой линии, с помощью которых можно рассчитать и ее шаг, и длину.

Для расчетной проверки полученных результатов вычислим скорости частицы на каждом этапе прохождения ею пневмотрубопровода. Для этого необходимы параметры, одну часть которых можно принять из литературных источников, а другая часть установлена предварительными лабораторными экспериментами:

$U_n = 5$ м/с – начальная скорость движения частицы в пневмопотоке;

$U = 20$ м/с – рабочая скорость воздушного потока;

$f = 0,5$ – коэффициент внешнего трения;

$d = 0,1$ м – диаметр трубопровода;

$R_0 = 0,5$ м – радиус вертикального отвода;

$\alpha = 60^\circ$ – угол подъема винтовой линии.

Подставив принятые величины в уравнение (9)

$$u_1 = \frac{20 \left(e^{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 1}{5}} - \frac{1 - 0,25}{1 + 0,25} \right) - 5 \left(e^{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 1}{5}} + \frac{1 - 0,25}{1 + 0,25} \right)}{e^{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 1}{5}} - \frac{1 - 0,25}{1 + 0,25}} = 14,87 \text{ м / с}$$

получили скорость частицы на участке I, где ζ рассчитан по формуле (8).

Значение этой скорости необходимо знать для того, чтобы определить время, за которое частицы удобрения получают предельную скорость, а следовательно, определенное стабильное распределение по сечению материалопровода. Из (9) и рис. 5 следует, что время разгона частиц варьируется в пределах 1–1,4 с.

Уравнение (17) дает скорость частицы на выходе из вертикального отвода (участок II):

$$u_2^2 = \frac{(1 + 4 \cdot 0,5^2) \cdot 14,87^2 - 6 \cdot 0,5 \cdot 9,81 \cdot 0,5 \cdot e^{3,14 \cdot 0,5}}{(1 + 4 \cdot 0,5^2) e^{3,14 \cdot 0,5}} = 38,71; \quad u = 6,22 \text{ м/с.}$$

Как видно из последнего вычисления, при повороте на 90° частица резко теряет свою скорость, почти в два раза.

Из анализа (17) и рис. 6 видно, что с уменьшением радиуса вертикального отвода R_0 снижается скорость частицы.

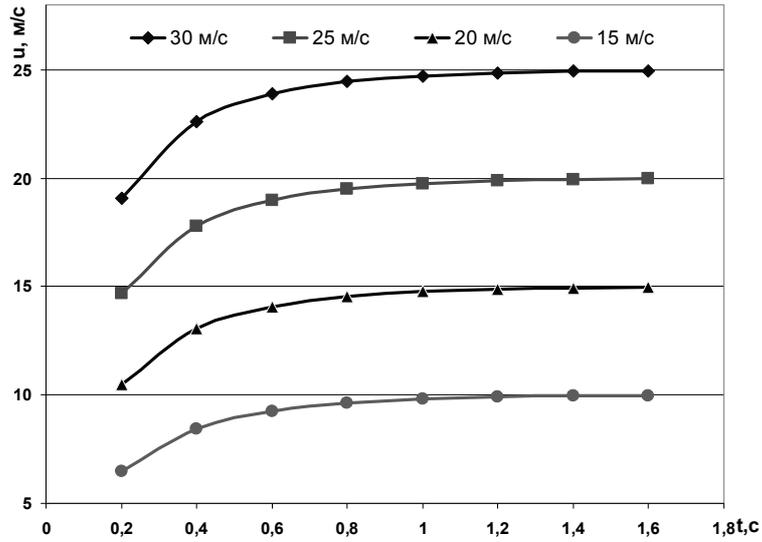


Рис. 5. Зависимости скорости движения частицы от времени

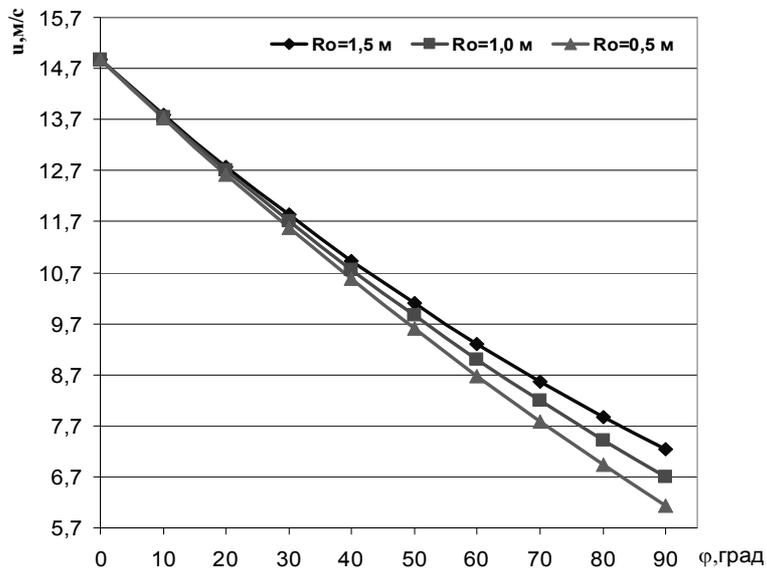


Рис. 6. Зависимости скорости движения частицы от угла поворота

Чтобы рассчитать скорость частицы в закручивающей винтовой поверхности, воспользуемся уравнением (24). Для этого предварительно рассчитаем коэффициенты A и B по формуле (22):

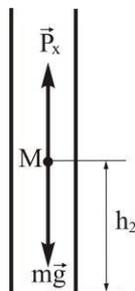


Рис. 7. Схема сил, действующих на участке IV

$$\operatorname{Arctgu}_3 \sqrt{\frac{1}{9,15}} = \sqrt{9,15 \cdot 1} - \operatorname{arctg} 6,22 \sqrt{\frac{1}{9,15}} = 1,921;$$

$$u_3 = 5,82 \text{ м/с.}$$

Рассмотрим вертикальный участок IV (рис. 7).

В (1) ρ – плотность грузоносителя. Она равна весу его единичного объема ($mq/1M^3$). В этом случае, введя обозначение $\frac{1}{2}k_x A_r q = a$, уравнение приведем к виду:

$$\frac{du}{dt} = a(v-u)^2 - g. \quad (25)$$

Получили дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными. Преобразуем его:

$$\frac{du}{a(v-u)^2 - g} = dt. \quad (26)$$

Уравнение (26) является табличным. Его решение имеет вид:

$$\frac{1}{2\sqrt{ag}} \ln \frac{\sqrt{g} + (v-u)\sqrt{a}}{\sqrt{g} - (v-u)\sqrt{a}} = t + C. \quad (27)$$

При $t = 0$, $u = u_3$ из (27) получим:

$$C = \frac{1}{2\sqrt{ag}} \ln \frac{\sqrt{g} + (v-u_3)\sqrt{a}}{\sqrt{g} - (v-u_3)\sqrt{a}}.$$

Подставим полученное выражение в (4):

$$\frac{1}{2\sqrt{ag}} \ln \frac{\sqrt{g} + (v-u)\sqrt{a}}{\sqrt{g} - (v-u)\sqrt{a}} - \frac{1}{2\sqrt{ag}} \ln \frac{\sqrt{g} + (v-u_3)\sqrt{a}}{\sqrt{g} - (v-u_3)\sqrt{a}} = t.$$

$$\ln \frac{\frac{\sqrt{g} + (v-u)\sqrt{a}}{\sqrt{g} - (v-u)\sqrt{a}}}{\frac{\sqrt{g} + (v-u_3)\sqrt{a}}{\sqrt{g} - (v-u_3)\sqrt{a}}} = 2t\sqrt{ag}.$$

$$\frac{[\sqrt{g} + (v-u)\sqrt{a}] \cdot [\sqrt{g} - (v-u_3)\sqrt{a}]}{[\sqrt{g} - (v-u)\sqrt{a}] \cdot [\sqrt{g} + (v-u_3)\sqrt{a}]} = e^{2t\sqrt{ag}}. \quad (28)$$

Вычислим значение скорости частицы в вертикальном трубопроводе по уравнению (28). Для турбулентного режима при $R_e = 10^3 \div 2 \cdot 10^5$ принимают коэффициент $k_x = 0,43$ и $A_r = \pi r^2$. В этом случае коэффициент a равен:

$$a = 0,5 \cdot 0,43 \cdot 3,14 \cdot 0,0025 \cdot 9,81 = 0,15.$$

С учетом потерь на участках I, II и III скорость воздуха принимаем равным 10 м/с, а частица на участок IV поступает со скоростью 5,82 м/с.

Подставим значения составляющих в уравнение (28):

$$\frac{|\sqrt{9,81} + (10 - u)\sqrt{0,15}| \cdot |\sqrt{9,81} - (10 - 5,82)\sqrt{0,15}|}{|\sqrt{9,81} - (10 - u)\sqrt{0,15}| \cdot |\sqrt{9,81} + (10 - 5,82)\sqrt{0,15}|} = e^{2t\sqrt{ag}}.$$

В результате вычисления получим: $u = 2,55$ м/с. Следовательно, скорость частицы в вертикальном трубопроводе снизится до этой скорости. Зная необходимую скорость частиц на выходе, удовлетворяющую транспортирование и равномерное распределение их по отводам, с помощью скорости и времени в пути можно рассчитать возможную высоту вертикального трубопровода.

Литература

1. Предпатент 19007 РК. Устройство для распределения сыпучего материала / Нукешев С.О., Нурғалиев Т.К. и др.; опубл. 15.01.2008. Бюл. № 1. – 4 с.: ил.

Настоящая публикация осуществлена в рамках подпроекта, финансируемого в рамках СКГ, поддерживаемого Всемирным Банком и Правительством Республики Казахстан. Заявления авторов могут не отражать официальной позиции Всемирного Банка и Правительства Республики Казахстан.

УДК 338.43

ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

С.Б. Зырянов, к. т. н., доц.; **Р.Н. Дмитриева**, асп.;
Уральская ГСХА

Аннотация

В процессе использования сельскохозяйственной техники наиболее актуальной проблемой является повышение интенсивности ее функционирования, связанного с ростом числа отказов агрегатов из-за их старения, что вызывает простои, затягивание сроков полевых работ, а это может привести к снижению эффективности производства.

Ключевые слова: технологический, обеспечение, потенциал, рециклинг, эффективность.

Keywords: technology, security, capacity, recycling, efficiency.

В период перехода Российской Федерации к рыночной экономике в инженерно-технической системе сельского хозяйства произошли существенные изменения. Во-первых, степень индустриализации аграрного производства существенно сократилась — парк машин уменьшился с 1990 г. наполовину; во-вторых, поддержание его в работоспособном состоянии нестабильно: до 30% агрегатов не участвует в работе и большое количество техники находится за амортизационными сроками. Произошло нарушение в номенклатурном составе машинно-тракторного парка для применяемых в настоящее время технологий производства сельхозпродукции.

Чаще всего в качестве базового года для сравнения наличия техники берется 1990 г., когда фактическое наличие тракторов, зерноуборочных и других комбайнов, рабочих машин было выше нормативной потребности. За период с 1990 до 2008 г парк тракторов уменьшился более чем на 800 тыс. шт., зерноуборочных комбайнов — почти на 250 тыс. шт., более чем на 40 млн га сократились посевные площади.

В результате неоптимального построения в сельском хозяйстве страны инженерно-технической системы (ИТС) отрасль недополучает продукции на сумму не менее чем 200–250 млрд руб. из-за слабой энерговооруженности, неэффективного использования машин, земельных ресурсов, неэффективного материально-технического обеспечения сельхозтоваропроизводителей (СХТП), потерь по причине низкой работоспособности агрегатов.

Имеющаяся в сельском хозяйстве система технического сервиса, включающая в себя инженерные услуги в СХП и сосредоточившая в себе основную долю ремонтных работ, хотя и не охватывает 100% товаропроизводителей, позволила увеличить срок использования находящихся за амортизационным сроком машин на 20–25%. Цена эффективности этой системы, по некоторым источникам, колеблется в пределах от 100–120 тыс. тракторов, остающихся в работоспособном состоянии в сельском хозяйстве.

Чтобы мероприятия, предназначенные для восстановления технического потенциала, могли выполнять эту значимую для человечества функцию, необходимо изменить устоявшиеся взгляды на понятия «подержанный» и «новый». То есть показать потребителю возможность иметь по более низкой цене отремонтированную машину, мало чем уступающую новой с точки зрения ее надежности. Тогда возможно возникновение такой ситуации, когда списывать еще пригодные для ремонта машины будет невыгодно, а возникнет возможность повторно использовать их после капитального ремонта и модернизации у себя в хозяйстве или реализовать их другим потребителям, осуществляя рециклинг.

Затраты на поддержание машин в работоспособном состоянии ежегодно составляют примерно 40–45 млрд руб. Использование в сельском хозяйстве восстановленных машин позволило в последние годы стабилизировать посевной клин на уровне 75–77 млн га при ограниченном вводе новой техники, не восполняющем списание. Если бы не было этой системы, то посевные площади сократились бы до 60 млн га, а может быть, и больше.

Одной из причин значительного падения производства и повышения себестоимости сельскохозяйственной продукции явилось качественное и количественное сокращение машинно-тракторного парка.

При острейшем дефиците сельскохозяйственной техники, ее интенсивном старении, снижении показателей надежности первостепенное значение приобретают создание и эффективная эксплуатация МТП. Хозяйства не могут в достаточном количестве приобретать необходимые машины из-за отсутствия финансовых средств. Одним из возможных вариантов решения этой проблемы является создание специализированных предприятий – машинно-технологических станций (МТС), которые смогут обеспечить соответствующие услуги производителям сельскохозяйственной продукции. Создание интегрированной системы, основанной на концентрации ресурсов и комплексном характере вложений, даст качественно новый эффект.

Реализованная в сельском хозяйстве система технического сервиса позволяет поддерживать парк машин не только количественно, но и управлять его качественными характеристиками: в процессе технического обслуживания машин восстанавливается не только их работоспособность, но и модернизируются основные рабочие органы и агрегаты, что позволяет улучшить технические характеристики базовых машин. Это стимулирует формирование вторичного рынка техники, до этого не развитого в России.

Уменьшение машинно-тракторного парка вызвало следующие отрицательные тенденции:

за период с 1990 г. в СХП произошло уменьшение пашни и посевных площадей сельскохозяйственных культур;

уменьшение размера прибыли, вызванное снижением объема реализованной продукции и уровня цен на нее, привело к недостатку средств на приобретение техники;

постоянное выбытие техники из-за достижения предельных сроков службы и износа, в некоторых случаях старые машины из эксплуатации не изымаются, а ремонтируются, их фактический срок службы стал приближаться к уровню западных стран. По тракторам он уже превысил 15 лет, а по комбайнам – 12–13.

Вместе с тем имеющиеся ресурсы ИТС используются пока неэффективно. Ресурсы ИТС повсеместно разобщены, нет принятой единой экономико-технической политики для их развития, отсутствует законодательная база функционирования и отношений с сельским хозяйством. Это, прежде всего, характерно для инфраструктурного пояса ИТС – едва ли не единственной отрасли АПК, где нет ни одной объединительной системы. Были попытки со стороны сельскохозяйственной науки формирования союза производителей инженерно-технологических услуг, но они не были поддержаны. И это происходит в условиях, когда Госпрограммой развития сельского хозяйства на 2008–2012 гг. предусмотрены в том числе и финансовые ресурсы на стимулирование развития подобных союзов.

Вместе с тем и внутри сельского хозяйства система требует серьезного совершенствования. Учитывая, что ИТС в сельском хозяйстве формирует почти 70% затрат в себестоимости произво-

димой продукции, поднять КПД системы очень важно для придания сельскохозяйственной продукции высокого уровня конкурентоспособности.

Так что ресурсосбережение путем увеличения продолжительности использования ранее созданного машинно-тракторного парка в результате технического обслуживания и ремонта – вполне экономически оправданная и экологически востребованная стратегия.

Уменьшение парка тракторов, комбайнов и сельскохозяйственных машин привело к новым тенденциям в развитии механизации сельского хозяйства:

- внедрению новых технологий возделывания сельскохозяйственных культур с минимальной обработкой почвы, уборки отдельных культур с исключением машиноемких операций (например, зерновых и сахарной свеклы);
- росту средней мощности одного трактора и исключению из парка маломощных тракторов;
- внедрению зерно- и свеклоуборочных комбайнов большой пропускной способности;
- применению высокопроизводительных комбинированных или широкозахватных машин (например, посевных комплексов);
- организации полнокомплектных машинно-тракторных станций, имеющих большой парк техники;
- увеличению количества крупных сельскохозяйственных предприятий (типа агрохолдинга «Артемовский») с высокопроизводительной техникой и организацией внутрихозяйственного использования техники.

Литература

1. Колчин А.В. Категории экологической безопасности самоходных сельскохозяйственных машин. – М.: ГОСНИТИ, 1994.
2. Черноиванов В.И. Состояние и перспективы технического сервиса в АПК Российской Федерации. – М., 1993.

УДК 631

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛЕМЕХА ПЛУГА

Н.М. Иванова, к. т. н., доц., Уральская ГСХА

Аннотация

Обоснован рациональный способ восстановления элементов сельскохозяйственной техники и предложена технология наплавки лемеха плуга.

Ключевые слова: *восстановление, плазменная наплавка, технологические параметры.*

В наше время нанесение покрытий плазменным напылением и наплавкой – один из наиболее развитых процессов. Интерес к его техническим возможностям наиболее возрос в последние годы. Плазменные технологии распыления открыли новые пути получения высокомолекулярных и высокопрочных композиционных материалов, армированных волокнами [1, 2]. При получении композиционных материалов технологии плазменного распыления решают задачу формирования и прочного соединения металлических матриц.

Плазменные покрытия применяются для защиты от нагрева, коррозии, эрозионного воздействия высокотемпературных газовых потоков, для восстановления изношенных поверхностей, повышения износостойкости и жаростойкости и т. п. [4].

Качество вспашки зависит от формы рабочей поверхности корпуса плуга, образованной лемехом и отвалом. Корпус состоит из лемеха, отвала, стойки и полевой доски (боковины) с пяткой. В процессе работы лемех подрезает пласт почвы снизу, поднимает его и направляет на отвал. Отвал сдвигает поднятый пласт, частично крошит его и, переворачивая, сбрасывает в борозду. Такое перемещение пласта происходит благодаря определенной форме лемешно-отвальной поверхности корпуса и установке лемеха и отвала под наклоном к дну и стенке борозды.

На рис. 1 изображена конструкция корпуса плуга. Основные рабочие органы плуга – корпус, предплужник и нож. Кроме того, на плуге могут быть установлены почвоуглубитель и углосним.

При работе плуга для безотвальной вспашки пласт, подрезанный лемехом, поднимается по его поверхности и поступает на уширитель. При этом пласт крошится и почва рыхлится. Стойку корпуса изготавливают суженной и обтекаемой для уменьшения сопротивления. Щиток предохраняет стойку от истирания.

Вспомогательные органы плуга – рама с прицепным или навесным устройством, опорные колеса, механизмы для заглабления и выглабления корпусов.

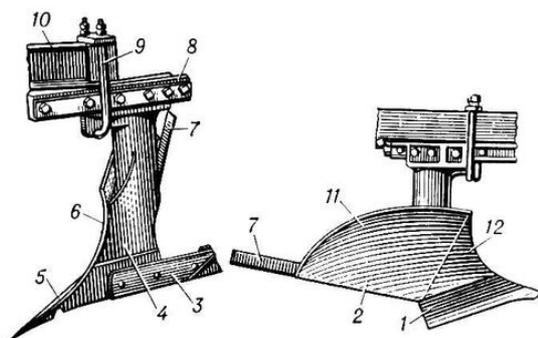


Рис. 1. Корпус плуга

1 – лемех; 2 – отвал; 3 – полевая доска; 4 – стойка; 5 – полевой обрез лемеха; 6 – полевой обрез отвала; 7 – перо; 8 – рама плуга; 9 – скоба; 10 – брус жесткости; 11 – крыло; 12 – грудь.

Назначение лемеха – подрезать пласт почвы и направлять его на отвал. На плугах устанавливают трапециевидные, долотообразные, вырезные, зубовые, с выдвижным долотом лемеха.

Трапециевидный лемех снабжен прямолинейным лезвием. С нижней стороны имеется утолщение, называемое магазином. При износе магазин используют для оттяжки носка и лезвия.

Долотообразный лемех наиболее распространен. Он имеет вытянутый носок, выполненный в виде долота. Долотообразные лемеха долговечнее трапециевидных, лучше заглабляются и более устойчивы в работе благодаря тому, что кромка лезвия долота находится на 10 мм ниже лезвия лемеха, а острые долота выходят в поле. Места долотообразного лемеха, наиболее подверженные износу, выполняют большей толщины.

Лемеха изготавливают из специальной лемешной стали. Для повышения стойкости лезвие лемеха шириной от 20–45 мм подвергают закалке с отпуском. У полевого обреза зону закалки увеличивают до 50–75 мм. Лезвие затачивают со стороны рабочей поверхности (сверху), угол заточки равен 25–35°, толщина лезвия после заточки должна быть не более 1 мм. Лемех крепят к стойке корпуса тремя болтами с потайными головками, после затяжки головки болтов шлифуют заподлицо с рабочей поверхностью лемеха. По отношению к дну борозды плоскость лемеха обычно устанавливают под углом около 30°, а по отношению к стенке борозды – под углом 42–35°.

Абразивное изнашивание является главным фактором, ограничивающим ресурс деталей почвообрабатывающих машин. В процессе эксплуатации рабочие органы плуга изнашиваются неравномерно. Неравномерный износ зависит от удельного давления почвы на поверхности рабочего органа, от скорости скольжения контактирующих частиц.

Концентрация износа на каком-либо участке поверхности приводит, как правило, к преждевременной потере работоспособности всей детали. У лемеха можно выделить две характерные зоны изнашивания – носовую часть и лезвие. Наибольшему давлению подвержен носок лемеха, поэтому интенсивность его изнашивания превышает интенсивность изнашивания лезвийной части (рис. 2).

По мере роста наработки лемеха значение вылета носка перед лезвием снижается – лемех лишается способности заглабляться. В итоге он теряет свои функциональные свойства и выбраковывается с большим запасом неизношенного металла по ширине. Особенно интенсивному износу при вспашке песчаных почв подвергается лицевая сторона носовой части лемеха, вследствие чего носок теряет прочность и под действием заглабляющей силы изгибается вниз, в сторону дна борозды, возможно сквозное протирание носка (рис. 2б и 2в).

Промышленность выпускает самозатачивающиеся лемеха. На лезвие такого лемеха наплавляют твердый сплав (сормайт № 1), после чего лемех охлаждают и затачивают. Наплавленное лезвие обладает свойством самозатачивания, так как в результате более быстрого износа верхнего мягкого слоя основного металла из-под него выступает твердый тонкий слой сормайта. Самозатачивающиеся лемеха работают дольше, чем обычные. После износа лемех можно наплавить повторно.



Рис. 2. Характер износа лемехов:
а – на суглинистой черноземной почве; б, в – на супесчаной почве

Анализ условий работы лемеха показывает, что он в процессе эксплуатации испытывает ударно-абразивный износ. В таком случае целесообразно для изготовления этой детали использовать сталь, характеризующуюся высокими прочностными свойствами.

Результаты литературного обзора свидетельствуют, что для этих целей может быть использована сталь 65Г. Химический состав и механические свойства стали 65Г приведены в табл. 1, 2.

Сталь 65Г является низколегированной, высокоуглеродистой, после термообработки используется для рессорно-пружинных деталей. Достаточно высокое содержание углерода приводит к увеличению предела прочности и текучести, а также повышает сопротивляемость эксплуатационному износу. Марганец (Mn) является легирующим компонентом, при таком его количестве повышаются пластические свойства стали, не снижаются прочностные характеристики и не ухудшается свариваемость стали.

Однако повышенное содержание углерода в металле при неравномерном нагреве (сварке, наплавке) приводит к появлению холодных трещин, для предотвращения которых необходимы соответствующие меры, в частности предварительный подогрев. Поэтому оцениваем свариваемость по методу эквивалентного углерода, а также рассчитываем температуру предварительного подогрева.

Таблица 1

Химический состав в стали 65Г по ГОСТ 14959-79, %

C	Mn	Si	Cr	P	S	Cu	Ni
			Не более				
0,62-0,70	0,9-1,2	0,17-0,37	0,25	0,035	0,035	0,20	0,25

Таблица 2

Механические свойства стали 65Г

Предел прочности бв, МПа	Относительное удлинение δ, %
730	12

Эквивалентный углерод определяется на основании химического состава стали (3):

$$C_{\text{э}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V + Ti + Nb}{5} + \frac{Cu + Ni}{15} + 15B;$$

где C – содержание углерода в стали; Mn – содержание марганца; Cr, Mo, V, Ti, Nb – содержание соответственно хрома, молибдена, ванадия, титана, ниобия; Cu, Ni, B – медь, никель, бор.

$$Cэ = 0,66 + 0,16 + 0,05 + 0,03 = 0,9$$

Такой показатель эквивалента углерода характерен для стали с неудовлетворительной свариваемостью.

Во избежание появления дефектов необходим предварительный подогрев:

$$T_{\text{под}} = 350 \sqrt{Cэ(1 + 0,05 * S) - 0,25},$$

где S – толщина изделия, мм.

Условно считаем, что температура выше 727°C при наплавлении достигает у верхнего слоя изделия толщиной 3 мм.

$$T_{\text{под}} = 350 \sqrt{0,9(1 + 0,05 * 3) - 0,25} \approx 330^\circ\text{C}.$$

Таким образом, в процессе восстановления лемеха необходим предварительный нагрев порядка 300–330°C.

Анализ условий работы деталей (например, лемеха плуга) почвообрабатывающих машин показывает, что интенсивная эксплуатация приводит к значительному износу рабочих поверхностей.

Для увеличения срока службы этих деталей целесообразно, по истечении определенного износа, восстанавливать рабочие поверхности.

Разработка технологии восстановления рабочих поверхностей предусматривает решение ряда вопросов:

- на основании анализа литературных источников определение материала для восстановления лемеха;
- обоснование способа нанесения износостойкого слоя на поверхность изделия;
- разработка технологии нанесения износостойкого слоя;
- подбор технологического оборудования.

Наплавка – процесс нанесения при помощи сварки слоя металла на поверхность изделия. Путем наплавки получают изделия с износостойкими, кислотоупорными, жаростойкими, антифрикционными и тому подобными свойствами. Наплавку применяют при изготовлении новых и восстановлении изношенных деталей. В первом случае технический и экономический эффект достигается в результате получения биметаллических изделий с оптимальным сочетанием свойств металлов наплавленного и основного слоев. Наплавка в ремонтном деле эффективна благодаря тому, что восстановленная деталь часто в несколько раз дешевле новой детали и при правильно выбранной технологии восстановленная не уступает ей по работоспособности.

Свойства наплавленного металла должны соответствовать условиям эксплуатации восстанавливаемой детали. Поэтому важнейшей характеристикой наплавленного металла является его способность сопротивляться определенным видам изнашивания. Однако пока не существует стандартных методов определения износостойкости материалов, подобных тем, при помощи которых определяют такие характеристики, как предел прочности, ударную вязкость, твердость и т. п.

Изнашивание, как процесс постепенного изменения размеров детали, очень чувствителен к изменению условий внешнего воздействия, то есть к условиям испытаний. Поэтому в литературе [5, 6] по вопросам износостойкости различных материалов содержится большое количество несопоставимых и противоречивых данных. Кроме того, условия службы различных деталей весьма разнообразны, часто одна и та же деталь подвергается одновременно нескольким видам изнашивания.

В качестве присадочного материала при плазменной наплавке используют гранулированные порошки, изготавливаемые путем распыления струи жидкого сплава водой или газом высокого давления. Сфероидизированные порошки отличаются хорошей сыпучестью, не застревают и не закупаются в дозирующих устройствах. Для плазменно-порошковой наплавки используют сферические порошки с размером частиц 40–100 мкм (табл. 3).

Порошки на основе никеля с хромом и бором используются для наплавки плунжеров водяных и кислотных насосов, уплотнительных поверхностей арматуры, выпускных клапанов дизельных двигателей, пресс-форм для стекла и т. п. Материал на основе кобальта используют для получения кобальтовых стеллитов.

Анализ порошкообразных материалов, пригодных для плазменной наплавки (5, 3 и др.), показывает, что для повышения служебных характеристик рабочей поверхности лемеха целесообразно использовать ПГ-Х15Н80С4Р4, отличающиеся наибольшей твердостью 55–60 HRCэ.

Техника наплавки должна при максимальной производительности обеспечивать хорошее формирование наплавленного слоя с целью уменьшения припусков на последующую механическую обработку наплавленных деталей (8).

Производительность наплавки обычно оценивают по количеству металла, наплавленного в единицу времени, например в кг/ч.

Таблица 3

К выбору наплавочных материалов

Марка порошка	Содержание элементов, %						Прочие элементы	Твердость наплавленного металла, HRC
	C	Si	Cr	B	W	Ni		
ПГ-ХН80СР2	0,3-0,6	1,5-3,0	12-15	1,5-2,5	-	основа	≤ 5 Fe	35-40
ПГ-ХН80СР3	0,4-0,8	2,5-4,5	12-16	2,0-3,0	-	>>	≤ 5 Fe	45-50
ПГ-ХН80СР4	0,6-1,0	3,0-5,0	13-17	2,5-4,0	-	>>	≤ 5 Fe	55-60
ПН-АН 30	0,9-1,3	1,5-2,5	28-32	-	4-5	2	Со-остальн. ≤ 2 Fe	38-42
ПН-АН 31	0,9-1,3	1,5-2,5	28-32	1,2-1,7	4-5	2	≤ 2 Fe	48-50
ПН-АН 32	0,7-1,0	1,5-2,5	28-32	-	4-5	12-15	≤ 2 Fe	37-40
ПН-АН 33	0,9-1,3	2,0-3,0	28-32	-	4-5	2	Со-остальн. 5-7 Мо	40-45
ПН-АН 20	1,8-2,5	1,0-2,0	28-32	-	13-15	2	Со-остальн.	
Сормайт	2,5-3,5	2,9-4,2	25-31	-	-	3,5	Fe-остальн.	50-56

При наплавке лемехов и подобных деталей для их самозатачивания в процессе эксплуатации требуется получение тонких слоев. В этом случае более удобно производительность наплавки выражать величиной площади, наплавленной в единицу времени, например см²/ч.

Приведенные выше значения максимальной производительности могут быть реализованы не всегда.

На рис. 3 приведена схема электродуговой наплавки под флюсом.

Электрическая дуга горит между сварочным материалом и изделием под слоем флюса, частично флюс расплавляется (7). Газовый пузырь, в котором горит дуга, содержит пары расплавленных металлов и флюса, надежно защищает расплавленный металл от окружающей среды. Этот способ высокопроизводителен, позволяет получить наплавленный металл высокого качества (отсутствие шлаковых включений и пор, хорошее раскисление, легирование, плотность). Однако имеется ряд недостатков: наплавка возможна лишь в нижнем положении; появляется дополнительная технологическая операция – очистка изделия от флюса и последующий его просев.

Рациональная техника наплавки должна при максимальной производительности обеспечивать хорошее формирование наплавленного слоя с целью уменьшения большого тепловложения в основной металл, приводящего к деформациям, а для стали с повышенным содержанием углерода – к появлению холодных трещин в наплавленном металле.

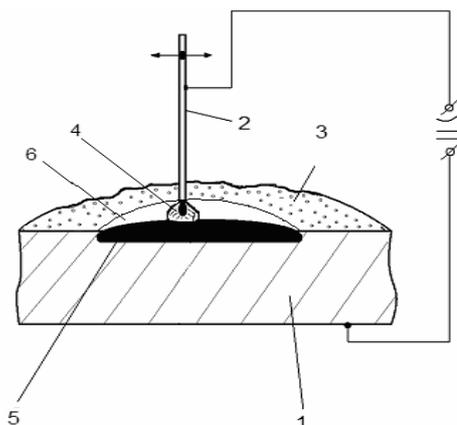


Рис. 3. Наплавка под флюсом:
1 – изделие; 2 – сварочный материал; 3 – флюс; 4 – электрическая дуга;
5 – непоплавленный металл; 6 – газовый пузырь

Плазменная наплавка с применением присадочного материала в виде порошка может осуществляться несколькими способами.

На рис. 4 приведена схема плазменной наплавки с применением в качестве присадочного материала порошков, подаваемых в зону катодного узла; а на рис. 5 – схема плазменной наплавки при подаче наносимого порошка в область канала сопла. В первом случае улучшаются условия нагрева порошка, но осложняется процесс подачи его в канал сопла. Во втором случае облегчается транспортирование напыляемого материала к плазмотрону. Вторая схема используется чаще.

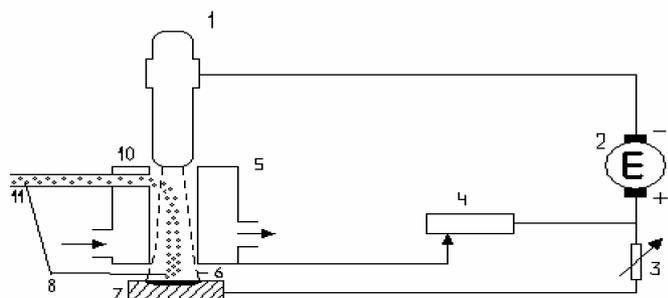


Рис. 4. Схема плазменной наплавки с применением порошка в качестве присадочного материала:
 1 – вольфрамовый электрод; 2 – источник питания; 3 – балластное сопротивление;
 4 – ограничительное сопротивление; 5 – сопло; 6 – плазменная дуга; 7 – изделие; 8 – порошок;
 9 – охлаждающая вода; 10 – плазмообразующий газ; 11 – транспортирующий газ

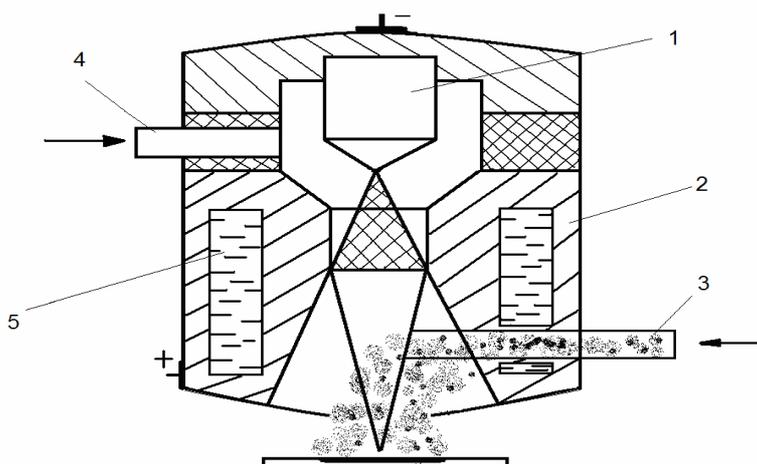


Рис. 5. Схема ввода напыляемого порошка в плазменную струю:
 1 – катод; 2 – сопла (анод); 3 – транспортирующий газ;
 4 – подача плазмообразующего газа; 5 – охлаждающая вода

При наплавке с подачи порошка в дугу, которая горит между катодом плазмотрона и изделием, анодное пятно находится на поверхности изделия (плазмотрон прямого действия). Тепловложение в обрабатываемое изделие значительно, вероятно перемешивание расплавляемого основного металла и материала покрытия. Свойства нанесенного слоя являются промежуточными, чтобы получить характеристики, заявленные порошкообразным материалом, очевидно, необходимо нанести второй слой.

Плазменная наплавка плазмотроном косвенного действия предусматривает исключение изделия из сварочного контура (изделие нейтрально). Порошкообразный материал, подаваемый в канал сопла плазмотрона, плавится при перемещении к изделию в плазменной струе. Поверхность изделия нагревается в момент взаимодействия покрытия с основой до значительных температур, но они ниже плавления, перемешивание материалов отсутствует, для восстановления изношенной поверхности лемеха достаточно одного слоя. Тепловложение в изделие минимально. Таким образом, для восстановления изношенной поверхности лемеха, изготовленного из высокоуглеродистой

стали, целесообразно использовать плазменную наплавку порошком плазмотроном косвенного действия.

Основными параметрами режима при наплавке плазменно-порошковой струей являются сварочный ток, напряжение между неплавящимся электродом и соплом плазмотрона – напряжение дуги, температура предварительного подогрева подложки, скорость наплавки, расстояние от среза сопла до поверхности изделия, размер наносимого порошка, расход плазмообразующего газа, напряжение холостого хода источника питания.

Сварочный ток. Одним из основных параметров режима наплавки является величина сварочного тока, увеличение сварочного тока приводит к увеличению нагрева наплавляемого металла и, как следствие, к увеличению нагрева поверхности основного металла. Чрезмерное увеличение сварочного тока приводит к сквозному проплавлению основного металла при наплавке и к увеличению степени перемешивания основного и наплавляемого металлов при наплавке металлов с близкими теплофизическими свойствами.

Недостаточная величина сварочного тока снижает производительность нанесения наплавки вследствие того, что необходимо будет уменьшить фракцию и объем подачи наплавляемого порошка. Поэтому необходимо определить оптимальную величину силы сварочного тока.

Скорость наплавки плазменной струей из порошка определяется расстоянием от сопла плазмотрона до поверхности основного металла, качеством подготовки поверхности подложки. Оптимальной можно считать такую скорость наплавки, при которой капли нагретого жидкого металла порошка попадают на поверхность подплавленного изделия. Критерием того, что установленная скорость наплавки максимальна, является то, что при увеличении установленной скорости наплавки капли порошка попадают на основной металл впереди наплавляемого пятна. При уменьшении скорости наплавки (в определенных пределах) увеличиваются нагрев поверхности основного металла и длительность контактирования твердой и жидкой фаз, что приводит к увеличению содержания примесей основного металла в металле наплавки.

Расход газа. При наплавке плазменной струей порошкообразного металла расход плазмообразующего газа (аргона) должен быть оптимальным для данной конструкции плазмотрона. Аргон при подаче в плазмотрон частично ионизируется, а также обеспечивает некоторое охлаждение токоведущих узлов. При значительных объемах газа наблюдается охлаждение дуги в плазмотроне и плазменной струи из него. Недостаточная подача газа снижает концентрацию заряженных частиц в плазме и ее мощность.

Напряжение холостого хода источника питания дуги оказывает влияние на устойчивость процесса наплавки. Установлено, что процесс наплавки в аргоне материалов, не отличающихся тугоплавкостью, протекает устойчиво при напряжении холостого хода источника питания не ниже 140 В. Это требование удовлетворяется при использовании специализированного источника питания ИПН 160/600.

Температура предварительного подогрева подложки. При ударе о поверхность образца сферические частицы сильно деформируются, затвердевают и приобретают форму тонкого диска размером $D \cdot h$ (рис. 6). Высокая скорость деформации и растекания расплавленных частиц приводит в физический контакт материал частицы и подложки на границе взаимодействия. Теперь при сообщении атомам подложки некоторой энергии, а именно энергии активации, они будут химически взаимодействовать с атомами частицы. Кинетика этого процесса экспериментально изучена при постепенном увеличении температуры подогрева подложки, то есть при повышении уровня энергии системы. Это позволяло легко установить условия перехода от слабого физического взаимодействия к сильному химическому, которое проявлялось в приваривании частиц на площади пятна химического взаимодействия диаметром D_x .

Прочное приваривание частицы к подложке наступает только при подогреве подложки до температуры 300°C, соответствующей заполнению контактной поверхности под частицей очагами схватывания на 40–70%.

Такое заполнение свидетельствует о достаточной глубине развития химического взаимодействия частиц с подложкой, и для их удаления необходимо прикладывать значительное механическое усилие на срез. При температуре подложки ниже 300°C частицы легко отделяются от подложки.

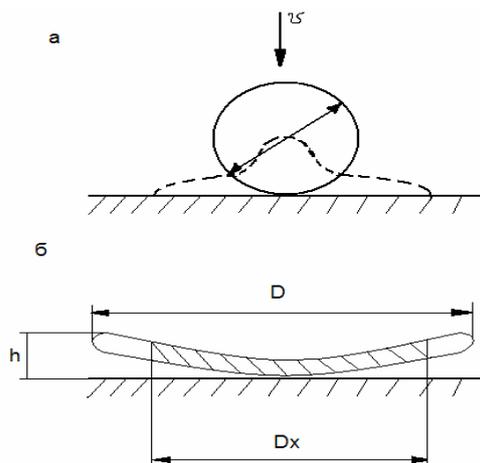


Рис. 6. Схема деформирования частицы при ударе о плоскую поверхность подложки:
а – начальное, б – конечное состояние частицы

Таким образом, при увеличении температуры увеличивается химическое взаимодействие материалов, следовательно, прочность сцепления. Однако значительное увеличение температуры подложки приводит к росту оксидной пленки, в результате чего можно получить обратный результат. Поэтому непосредственно перед наплавкой, при отключенной подаче порошка выполняем подогрев изделия плазменной струей до температуры 300–330 °С.

Напряжение дуги определяется расходом плазмообразующего газа и зависит от длины дуги, конструкции плазмотрона.

Фракция наплавляемого порошка. В случае нанесения покрытия из порошка трудно добиться его равномерного и полного плавления, несмотря на высокую температуру плазменной струи. Это объясняется рядом причин:

Во-первых, только немногие из применяемых плазмообразующих газов способны эффективно передавать тепло нагреваемому порошку. Во-вторых, несмотря на то что металлические порошки хорошо прогреваются из-за высокой теплопроводности, для равномерного плавления требуется однородная фракция. В-третьих, не весь порошок проходит через высокотемпературную зону плазмы. Время нагрева частиц порошка оценивается $\approx 10^{-3}$ сек. Лучше всего нагреваются порошки, подаваемые в столб сжатого дугового разряда. Однако трудно найти достаточно конструктивное оформление такого плазмотрона. Поэтому в большинстве случаев порошок вводят за анодным пятном дуги уже в плазменную струю. Чтобы зафиксировать длину дуги и тем самым стабилизировать режим ее горения, обычно делают ступеньки в сопле или сопло несколько расширяют на выходе.

Мелкая фракция порошка может нагреваться до испарения, что приводит к дополнительным потерям, поэтому желательно использовать фракционный состав в узких пределах.

Расстояние от среза сопла до изделия значительно влияет на эффективную тепловую мощность источника теплоты: с уменьшением этого расстояния нагрев поверхности основного металла и переход атомов основного металла в металл покрытия увеличиваются.

Чрезмерное увеличение расстояния приводит к резкому ухудшению защиты расплавленных капель и появлению дефектов в металле наплавки.

Образование холодных трещин в стали 65Г. Сталь 65Г содержит 0,65% углерода. Повышение содержания углерода в стали увеличивает ее склонность к резкой закалке, в связи с чем такие стали обладают высокой чувствительностью к термическому циклу сварки и околошовная зона оказывается резко закаленной, а следовательно, хрупкой при всех режимах сварки, обеспечивающих удовлетворительное формирование шва.

Закаливаемость стали можно оценить, изучая кинетику распада аустенита. На рис. 6 представлена диаграмма изотермического распада аустенита (7).

После очистки от загрязнения и просушки изделия его необходимо осмотреть для выявления дефектов – сколов, трещин, разрывов и других механических повреждений. Для осмотра используется лупа с десятикратным увеличением.

Перед наплавкой необходимо зачистить сколы, разрывы, удалить трещины с полным раскрытием с помощью болгарки (DeWalt D28133). При этом необходимо соблюдать следующие технологические параметры: потребляемая мощность – 1200 Вт, диаметр абразивного круга – 125 мм, посадочный диаметр круга – 22 мм, питание сети – 220В.

Перед плазменной наплавкой изделие необходимо подвергнуть дробеструйной обработке чугушной крошкой для удаления оксидной пленки с поверхности и нанесения шероховатости, что увеличивает фактическую площадь взаимодействия материалов основы и покрытия. Таким образом, удаление оксидной пленки и получение шероховатости способствуют повышению прочности связи покрытия с основой. Обработка ведется при следующем режиме: давление воздуха в дробеструйной камере должно быть 0.5–0.6 МПа, размер чугушной крошки составляет 2–3мм, скорость обработки – 0.8–1.0 м/мин. При нагреве изделия расстояние от сопла до изделия должно составлять 100–120 мм.

Для получения качественных покрытий порошок должен быть узкой фракции. Такие порошки получают путем отсева с ячейками в свету 0.05; 0.063; 0.1 и 0.125. Порошки такой granulации гигроскопичны, поэтому их необходимо хранить в герметичной таре.

Для равномерной транспортировки порошка в плазмотрон он должен обладать хорошей сыпучестью. С целью улучшения сыпучести порошка его предварительно сушат в сушильном шкафу или муфельной печи. Металлические порошки сушат при температуре 120–150°C в течение 3–5 часов. При сушке порошков их необходимо располагать слоем не более 20 мм и периодически перемешивать.

После дробеструйной обработки необходимо в кратчайшее время подвергнуть изделие плазменной наплавке. В процессе наплавки необходимо вести контроль за толщиной наплавляемого слоя, для этого необходимо периодически измерять толщину наплавляемого слоя. При наплавке необходимо использовать оборудование и учитывать следующие технологические параметры: установка плазменная универсальная (УПУ-3Д), с источником питания ИПН-160/600, а также рабочий стол для размещения изделия, сварочные материалы ПГ-Н15Х80С4Р4 и плазмообразующий газ аргон. Сила тока установки равна 300А, напряжение холостого хода – 140В, температура предварительного подогрева основы – 300–330°C, толщина наплавленного слоя – 2,0–3.0 мм.

По окончании наплавки необходимо отключить подачу порошка и выполнить термообработку. Нагрев наплавленной поверхности осуществляется до температуры 1100°C плазменной струей. Термообработка способствует уплотнению нанесенного слоя, появлению упрочняющей фазы (бориды, силициды, карбиды, карбобориды), а также повышению прочности связи покрытия и основы за счет взаимной диффузии.

Шлифование можно проводить обычными электрокорундовыми и карборундовыми шлифовальными кругами без охлаждающей жидкости. Этот способ позволяет увеличить стойкость круга в 4,2 раза, удельную производительность – в 4,8 раза при снижении размерного круга в 1,1 раза. Для шлифовки используем шлифовальную машинку DeWalt D28133, ее потребляемая мощность 1200 Вт, диаметр шлифовального круга составляет 125 мм, посадочный диаметр круга равен 22 мм, питание от сети 220В.

Для осуществления технологии наплавки с целью восстановления рабочей поверхности используется установка, в состав которой входят:

- источник питания;
- шкаф управления;
- устройство для фиксации положения детали в пространстве;
- плазмотрон;
- порошковый дозатор.

Плазмотрон. Основным узлом установки плазменной наплавки является плазмотрон, который должен обеспечивать надежную работу. Плазмотрон содержит узлы катодный, анодный и изолятор между ними. В качестве неплавящегося электрода используется лантанированный вольфрам. Для снижения работы выхода электрона с поверхности катода в вольфрам добавляется 1–3% оксида лантана (La_2O_3).

Сопло также является основным элементом плазмотрона. Оно определяет его технические характеристики и ресурс работы. С помощью сопла осуществляется управление геометрическими

и энергетическими характеристиками сжатой дуги. Кроме того, сопло является анодом при возбуждении вспомогательной (дежурной) дуги с целью последующего возбуждения основной сжатой дуги.

Сопло и катод электрически изолированы между собой неэлектропроводным материалом. Материал изолятора должен обладать следующими свойствами: высокой электрической прочностью, так как дежурная дуга возбуждается с помощью высоковольтного, высокочастотного разряда осциллятора; высокой механической прочностью; термостойкостью; герметичностью, так как через него проходят коммуникации плазмообразующего газа и охлаждающей воды. В качестве плазмообразующего газа используется аргон марки А или Б. В табл. 4 представлен состав различных марок аргона.

Таблица 4

Химический состав аргона, %

Содержание	Марка		
	А	Б	В
Аргона	99,99	99,96	99,90
Кислорода	0,003	0,005	0,005
Азота	0,01	0,04	0,10

Аргон в основном получают из воздуха, в котором он содержится в относительно небольшом количестве (1,28% по массе).

Для предотвращения образования трещин в основном и наплавленном металлах обычно применяют следующие меры:

- 1) предварительный и сопутствующий подогрев во время плавки для поддержания заданной температуры нагрева основного металла;
- 2) нагрев изделий непосредственно после наплавки и замедленное охлаждение наплавленного металла;
- 3) последующую термообработку для снятия напряжений;
- 4) выбор для износостойкой наплавки способов, вызывающих меньшие термические напряжения в изделиях; при наплавке участков поверхности с потенциальной концентрацией напряжений следует применить, например, наплавку в два приема. Правильный выбор наплавочного материала для первого слоя коррозионно-стойкой наплавки с учетом характера влияния основного металла на состав наплавленного слоя;

5) выполнение наплавки только после удаления с поверхности основного металла поверхностного слоя, содержащего дефекты или имеющего повышенную твердость.

При наплавке боросодержащего мартенситного материала, осуществляемой с целью повышения износостойкости изделия, наличие небольших трещин в наплавленном металле иногда допустимо.

Поры и раковины. Для предотвращения образования пор и раковин в основном необходимо:

- 1) зачищать поверхности основного металла от ржавчины, масла и других загрязнений;
- 2) обеспечивать хранение наплавочных материалов в условиях, исключающих поглощение влаги, и их прокатку перед использованием для наплавки.

Кроме перечисленных, возможно возникновение других дефектов, в том числе неудовлетворительное сплавление наплавленного слоя с подложкой, деформация изделия и др.

Связанные с плохим сплавлением дефекты возникают при недостаточной силе тока и низком напряжении при дуговой наплавке или при неправильном манипулировании-подаче присадочного материала. Для предотвращения таких дефектов необходимо соблюдать режим наплавки.

Одна из серьезнейших проблем наплавки – деформация изделий, для предотвращения которой применяют равномерный предварительный подогрев изделия, различные приемы наплавки, исключающие неравномерную деформацию изделия, сварочные приспособления, зажимные устройства и др. Предварительная оценка возможной деформации составляет важнейшую предпосылку правильного выбора мер предотвращения ее при наплавке.

Литература

1. Акулов А.И., Бельчуг Г.А., Демянцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. – М.: Машиностроение, 1977. – 432 с.
2. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Патона Б.Е. – М.: Машиностроение, 1974. – 767 с.

3. Кудинов В.В. Плазменные покрытия. – М.: Наука, 1977. – 183 с.
4. Костиков В.И., Шестерин Ю.А. Плазменные покрытия. – М.: Metallurgia, 1978. – 158 с.
5. Антошин Е.В. Газотермическое напыление покрытий. – М.: Машиностроение, 1974. – 97 с.
6. Войков Б.А. Износостойкие сплавы и покрытия. – М.: Машиностроение, 1980. – 120 с.
7. Хасуй А., Моригаки О. Наплавка и напыление / Пер. с японского. – М.: Машиностроение, 1985. – 210 с.

УДК 631.171 (06)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СУШКИ ЗЕРНА ПО ФРАКЦИЯМ В КИПЯЩЕМ СЛОЕ

А.П. Комиссаров, д. т. н., проф.; **В.Д. Тихонов**, к. т. н., доц.;
С.В. Швецова, ст. преп.;
Уральская ГСХА

Аннотация

Рассмотрены вопросы преимущества сушки зерна в кипящем слое при классификации его по трем фракциям.

Ключевые слова: зерно, сушка, кипящий слой, фракции: легкая, средняя, тяжелая.
Keywords: grain, drying, boiling layer, fractions: easy, average, heavy.

Одной из важных проблем при создании сушильных установок для сушки семенного зерна является сохранность его качества. Известно, что зерно состоит из 5 и более фракций. Отсутствие учета этого фактора при существующем оборудовании и способе сушки приводит к получению более 30% зерна, не соответствующего кондиционной влажности.

В зерновой массе влага распределена весьма неравномерно, так как зерна имеют различную степень зрелости и различную влажность. Так, по данным [2], при средней влажности зерна 22% около 10% зерен имеют влажность ниже 17% и более 20% зерен выше 25%. Наблюдаются и более значительные отклонения влажности отдельных зерен от среднего значения влажности зерновой массы. Так, при средней влажности зерна 15% в нем могут быть зерна менее влажные (10–12%) и более влажные (до 40...50%). Эта закономерность отклонений по влажности наблюдается после сушки зерна.

Аэродинамическая сторона зависит от физико-механических и аэродинамических свойств зерна и свойств газового потока.

Теплофизические свойства зерна определяются его физико-химическими свойствами.

Влажность, при которой резко увеличивается интенсивность физиологических процессов, называется критической. Ее величина зависит от вида семян, их химического состава и анатомического строения. Так, для зерна пшеницы и ржи критическая влажность, при которой обеспечивается сохранность природных качеств, находится в пределах 14,0–15,5%.

Кондиционная влажность семян, в основном зерновых культур, установлена ГОСТом. Однако для хранения зерна оно должно быть доведено до так называемого «сухого» состояния. Так, влажность семян пшеницы, ржи, ячменя в «сухом» состоянии – 14%.

Зерновка любой культуры – живой организм, и ей присущи дыхание, развитие, старение.

Химический состав зерна складывается: из белков, углеводов, жиров, минеральных веществ, витаминов и ферментов.

Термоустойчивость зерна – это способность его к сохранению в процессе сушки семенных, продовольственных и других свойств.

Весьма чувствительны к нагреву белки зародыша (альбумины и глобулины), которые изменяют свои свойства уже при нагреве до температуры 40 °С. Белки эндосперма (глиадин и глютеин) претерпевают изменения при нагреве до 50° С.

Термоустойчивость зерна может характеризоваться максимальной температурой нагрева T_{\max} , при которой степень денатурации белка будет иметь нулевое значение.

Следовательно, температура нагрева T_{\max} зерна должна быть не более 50 °С. Определение основных свойств зерновых материалов необходимо при создании нового оборудования для их сушки. Разработка сушильных установок на базе новых научных исследований позволит значительно снизить энергоемкость сушки. Для изготовления таких установок необходимы метод комплексного анализа зерновых материалов и их классификация как объектов сушки.

Рассмотрим установленные в ГОСТ.9353–90 нормы влажности в процентах по зерну пшеницы. Отклонение по влажности дано +1,5%, но при этом зерно из сухого переходит в качество средней сухости. По аналогии с другой продукцией более правильно было бы, по нашему мнению, заложить в нормах отклонения по каждому состоянию зерна, например:

Сухое зерно – влажность – 14% + 0,5%.

Таблица 1

Нормы влажности пшеницы в % по ГОСТ 9353-90

Состояние зерна	Установленные нормы влажности, %	
	Яровой	Озимой
Сухое зерно	не > 14,0	> 14,0
Средней сухости	14,1–15,5	14,1–15,5
Влажное	15,6–17,0	15,6–17
Сырое	17,1 и более	17,1 и более

При конвективной сушке зерна получены следующие данные (в диапазоне 110–140 °С агента сушки), которые приведены в табл. 2.

Таблица 2

Конвективные способы сушки зерна

№	Наименование способа сушки	Скорость сушки, %	Скорость нагрева, °С/м
1	В плотном гравитационном	0,2% мин	2 °С/м слое
2	В псевдооживленном	1,5–2,0% мин	8–10 °С/м
3	Во взвешенном	10–15% мин	в 500 раз выше

Из приведенных способов сушки зерна видно, что мягкий режим получен только при гравитационно-движущемся слое, а в псевдооживленном слое $t_{\text{зерна}}$ достигает 60 °С за 60 секунд, а во взвешенном слое за 3 секунды, то есть получен жесткий режим сушки, но это при температуре агента сушки 120–140 °С. Очевидно, что если температуру агента уменьшить до 100 °С, а скорость его увеличить до 12 м/с, то получим более мягкий режим сушки зерна.

До сих пор нет единой классификации зерновых материалов как объектов сушки, на основании которой можно было бы выбрать рациональный тип сушильного устройства. Классификация должна учитывать не только оценку поведения материала в кипящем слое, но и все его физико-механические характеристики. Классификация должна отражать результаты комплексного анализа материала как объекта сушки и включать не более пяти-шести обобщенных показателей, из которых один определяет класс материала по данной классификации, а остальные – подгруппу и разряд сушки, который находится в соответствующих пределах (в зависимости от фракции) при скоростях витания от 8 до 12 м/с. Кроме того, необходимо учитывать концентрацию смеси во взвешенном состоянии, рекомендуемую скорость воздуха.

Из табл. 3 видно, что разбег значений плотности зерновых невелик и составляет от 1,1 до 1,5 т/м³, а по скорости витания разброс значений – от 7 до 16,5 м/с. Из этого следует, что необходимо к сушке таких материалов подходить индивидуально.

Таблица 3

Параметры для пневмотранспортных установок для зерновых материалов [1]

Насыпной груз	Плотность, ρ_r , т/м ³	Концентрация смеси во взвешенном состоянии, μ	Скорость, м/с		воздуха, u
			частиц груза		
			U_v витания	$U_{кр}$ критическая	
рожь		5-25	8-15	34	25...30
пшеница	1,3...1,5	5-25	9...11,5		22...24
горох	1,26		11...16,5		
кукуруза	1,2...1,35		12-13,5	12,5...14	
овес	1,1...1,3	5-25	7...7,5		

Таблица. 4

Основные физико-механические свойства фракций (легкой, средней, тяжелой) пшеницы и ржи и их влияние на длительность процесса сушки в кипящем слое

№ п/п	Культура	Фракция	Плотность $\rho_3, \text{г/см}^3$	Масса 1000 зерен $\text{г}, \text{г}$	Удельная поверхность $S_p, \text{м}^2/\text{г}$	Коэф. парусности $K_p, 1/\text{м}$	Коэф. сопротивления K	Критическая скорость $V_{кр}, \text{м/с}$	Режим сушки зерна					
									1 сек-ция	2 сек-ция	3 сек-ция	4 сек-ция	5 сек-ция	ВСЕГО, мин.
									Температура воздуха в колонках, $^{\circ}\text{C}$					
									90/75	90/75	90/75	80/65	80/60	
									Время сушки, мин.					
									от $W_h = 30\%$ до $W_k = 14\%$					
1	Пшеница	Л	1,20	22,0	3,45	0,124	0,265	8,9	5/10	4/11	3/12	2/13	1/14	16
		С	1,36	32,0	2,44	0,098	0,225	10,2	5/17	4/18	3/19	2/20	1/21	22
2	Рожь	т	1,50	42,0	1,43	0,074	0,184	11,5	5/30	4/31	3/32	2/34	1/36	36
		л	1,2	13,0	4,88	0,139	0,220	8,4	5/8	4/9	3/10	2/11	1/12	13
		с	1,35	22,5	3,36	0,115	0,190	9,2	5/11	4/12	3/13	2/14	1/15	16
		т	1,50	32,0	1,84	0,098	0,160	10	5/21	4/22	3/23	2/24	1/25	26

Из приведенных в табл. 4 данных видно, что классификация дана по трем группам (легкой, средней, тяжелой фракциям) и шести подгруппам (плотности, массе, удельной поверхности, коэффициенту парусности, коэффициенту сопротивления, критической скорости).

Технологическое время пребывания в сушилке складывается из начального прогрева и времени (1 минута) в каждой секции. При этом легкая фракция пшеницы проходит сушилку за 16 минут, средняя – за 22 минуты, тяжелая – за 36 минут [2].

На основе предложенной классификации (определение состава зерна по трем основным фракциям) можно осуществить переход от статики к кинетике сушки, используя принцип соответственных состояний. Зная кинетику сушки характерных представителей каждой группы в данных условиях, а также скорость удаления влаги из пор различных групп, можно по принадлежности материала к той или иной группе и характеристике удельной поверхности рассчитать и построить кривую кинетики сушки данного материала в условиях, близких к оптимальным, и выбрать рациональную конструкцию сушилки, а также активный гидродинамический режим [2].

В данной работе применен режим проходящего кипящего слоя с осциллированием, который реализован в циклической сушилке, работающей на базе аэрожелоба и аэролифта. Было установлено, что при изменении скорости воздуха от 8 до 15 м/с и высоте слоя зерна 150 мм скорость его сушки находится в пределах (в зависимости от фракции) от 0,398 %/мин до 0,342 %/мин, что говорит о значительном улучшении сушки зерна по фракциям, так как влажность каждой фракции составляет не более $14\% \pm 1\%$ [2].

Мерой активности гидродинамического режима должен быть комплексный показатель, учитывающий, с одной стороны, технологический эффект от применения данного режима и, с другой стороны, экономичность технологического процесса и высокую степень использования сушильного агента [3].

Из изложенного следует, что высокий показатель гидродинамической активности для материалов, имеющих микропоры и макропоры со свободной и слабосвязанной влагой, может быть реализован только при режимах с достаточно высокими скоростями и температурами теплоносителя и малой продолжительностью пребывания материала в зоне обработки.

По своей физической сущности сушка является сложным диффузионным процессом, скорость которого определяется скоростью диффузии влаги из глубины высушиваемого материала в окружающую среду. Удаление влаги при сушке сводится к перемещению тепла и вещества (влаги) внутри материала и их переносу с поверхности материала в окружающую среду. Таким образом, процесс сушки является сочетанием связанных друг с другом процессов тепло- и массообмена.

В настоящий момент широкое распространение получили сушилки с кипящим слоем. Эти сушилки являются одним из прогрессивных типов аппарата для сушки. Процесс в кипящем слое

позволяет значительно увеличить поверхность контакта между частицами материала и сушильным агентом, интенсифицировать испарение влаги из материала и сократить (до нескольких минут) продолжительность сушки.

Наиболее распространены однокамерные сушилки непрерывного действия. Высушиваемый материал подается из бункера питателем в слой материала, «кипящего» на газораспределительной решетке в камере сушилки. Сушильный агент – горячий воздух или топочные газы, разбавленные воздухом, который подается в смесительную камеру вентилятором, проходит с заданной скоростью через отверстия решетки и поддерживает на ней материал в кипящем состоянии. Высушенный материал ссыпается через шпундер несколько выше решетки и удаляется транспортером. Отработанные газы очищаются от унесенной пыли в циклоне и батарейном пылеуловителе, после чего выбрасываются в атмосферу [4].

Применением сушилок с кипящим слоем и автоматическим слежением за процессом сушки зерна можно достичь экономичности производства за счет высокого влагосъема с единицы объема камеры.

Результаты работы позволяют сделать заключение о том, что необходимо воспользоваться отбором зерна по фракциям для сортировки его на семенное и фуражное и разработать для этой цели новую сушилку по производству семенного зерна.

Литература

1. Зенков Р.Л., Ивашков И.И., Колобов Л.Н. Машины непрерывного транспорта / Зенков Р.Л. и др. – М.: Машиностроение, 1987. – 431 с.
2. Комиссаров А.П., Тихонов В.Д. Повышение эффективности сушки зерна на пневмооборудовании по новой технологии / Комиссаров А.П., Тихонов В.Д. – Екатеринбург, 2009. – 109 с.
3. Сажин Б.С. Основы техники сушки / Сажин Б.С. Тепловые процессы. – М.: Машиностроение, 1984. – 320 с.
4. Блайдо Е.В., Алтухова О.Ю. Доказательство постоянства удельной производительности по влаге для сушилок кипящего слоя при изменении определяющих параметров / Науч. рук.: к. т. н., доценты Яшуркаева Л.И., Луценко О.В. – Белгородский гос. технол. ун-т им. В.Г. Шухова, 2006. – С. 2–4.

УДК 631

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ ВЯЗКОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ПЛУНЖЕРНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ МЕХАНИЗМАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

И.Л. Минухин, магистр, Университет Конкордия (Монреаль, Канада);
И.П. Гальчак, ст. преп., Уральская ГСХА

Аннотация

Важные для практики зависимости, позволяющие рассчитать силы сопротивления и затраты мощности в поршневых и плунжерных системах технологических и сельскохозяйственных машин, получены на основе точных теоретических решений уравнений движения и сплошности вязкой жидкости в кольцевых зазорах.

Ключевые слова: течение Куэтта, уравнения Навье – Стокса, уравнение неразрывности, касательные напряжения, распределение скоростей, сила сопротивления.

Keywords: Couette flow, Navier – Stokes equations, continuity equation, shear stress, velocity distribution, drag force.

В расчетах многих технологических машин важную роль при определении усилий играет расчет гидравлического сопротивления движению поршня или плунжера, создаваемого силами трения, в слое жидкой смазки, располагающейся между движущейся цилиндрической деталью и

корпусом устройства. С теоретической точки зрения эта инженерная задача соответствует условиям течения Куэтта – Пуазейля [1–3].

В литературе, как известно, основное внимание уделялось анализу течения Куэтта между неподвижной и подвижной плоскостями [2, 3] или между неподвижным цилиндром и вращающимся внутри него стержнем [4, 5]. Поставленная в настоящей работе проблема соответствует течению Куэтта, возникающему между неподвижным цилиндрическим корпусом и соосно движущимся внутри него стержнем.

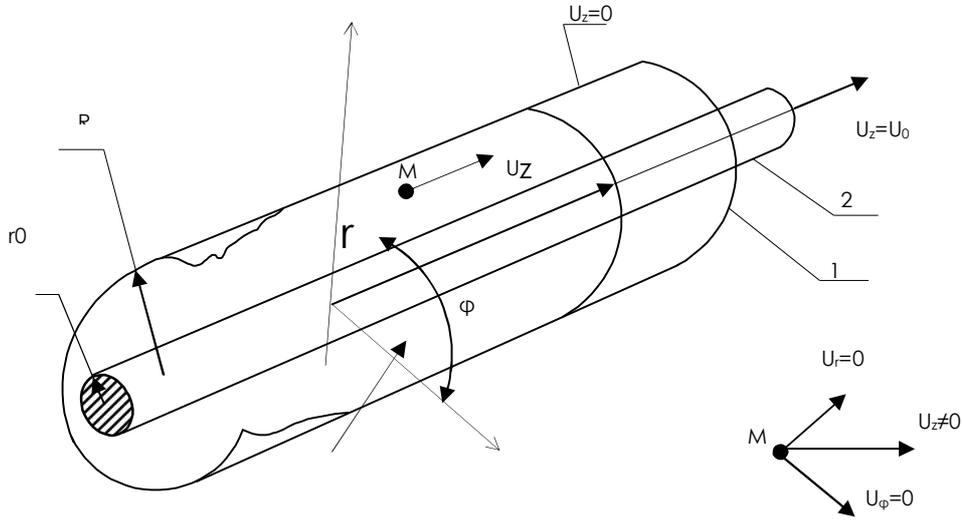


Рис. 1. Кинематическая схема течения Куэтта в кольцевом зазоре между неподвижным наружным каналом и движущимся внутренним стержнем: 1 – неподвижный корпус; 2 – движущийся стержень

Кинематическая схема рассматриваемой задачи Куэтта иллюстрируется рис. 1, где представлен наружный неподвижный цилиндрический корпус радиуса R , внутренний движущийся стержень (поршень или плунжер) с радиусом r_0 . Движение жидкой смазки, имеющей динамическую вязкость μ и плотность ρ , возникает в кольцевом зазоре между движущимся стержнем и цилиндрическим корпусом. В цилиндрических координатах проекции скорости такого движения на оси координат $U \{U_z; U_r; U_\varphi\}$ для произвольной точки M также указаны на рис. 1 и определяются совместным решением уравнений движения и уравнения неразрывности движущегося потока.

Как известно [6, 7], общий вид уравнений движения (уравнение Навье – Стокса) в проекциях на оси цилиндрических координат имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial U_r}{\partial \tau} + U_r \frac{\partial U_r}{\partial r} + \frac{\partial U_\varphi}{r} \cdot \frac{\partial U_r}{\partial \varphi} + U_z \frac{\partial U_r}{\partial z} - \frac{U_\varphi^2}{r} \right) &= \rho \cdot q_r - \frac{\partial p}{\partial r} + \mu \left(\nabla^2 U_r - \frac{U_r}{r^2} - \frac{2}{r^2} \cdot \frac{\partial U_r}{\partial \varphi} \right) \\ \rho \left(\frac{\partial U_\varphi}{\partial \tau} + U_r \frac{\partial U_\varphi}{\partial r} + \frac{U_\varphi}{r} \frac{\partial U_\varphi}{\partial \varphi} + U_z \frac{\partial U_\varphi}{\partial z} + U_r \frac{U_\varphi}{r} \right) &= \rho \cdot q_\varphi - \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \varphi} + \mu \left(\nabla^2 U_\varphi - \frac{U_\varphi}{r^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial U_r}{\partial \varphi} \right) \\ \rho \left(\frac{\partial U_z}{\partial \tau} + U_r \frac{\partial U_z}{\partial r} + \frac{U_\varphi}{r} \frac{\partial U_z}{\partial \varphi} + U_z \frac{\partial U_z}{\partial z} \right) &= \rho q_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu (\nabla^2 U_z) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

В этих уравнениях q_r, q_φ, q_z – проекции силы гравитации на оси цилиндрических координат, а $\frac{\partial p}{\partial r}, \frac{\partial p}{\partial \varphi}, \frac{\partial p}{\partial z}$ – градиенты давления в направлении этих же осей, ρ и μ – соответственно плотность и коэффициент динамической вязкости жидкости в кольцевом пространстве (жидкая смазка); а оператор имеет вид:

$$\nabla^2 U_z = \frac{\partial U_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial U_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 U_z}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 U_z}{\partial z^2}.$$

Уравнение сплошности (неразрывности) [6, 7] в цилиндрических координатах:

$$\frac{\partial U_r}{\partial r} + U_r \frac{\partial U_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial U_z}{\partial z} + \frac{U_r}{r} = 0. \quad (2)$$

В общем случае такая сложная гидродинамическая задача может быть решена [8] методом наложения решений отдельных течений (течение Куэтта и Пуазейля).

Для условий рассматриваемой инженерной задачи уравнения (1) и (2) могут быть существенно упрощены, если учесть, что движение стержня стационарное ($\frac{\partial}{\partial \tau} = 0$), одномерное и на-

правлено только вдоль оси z , то есть $U_z \neq 0$; $U_r = 0$; $U_\varphi = 0$ и силами гравитации (q_r, q_φ, q_z) можно пренебречь. Тогда уравнения Навье – Стокса (1) и уравнение сплошности (2) принимают соответственно вид:

уравнение Навье – Стокса

$$\mu \nabla^2 U_z = \frac{d^2 U_z}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dU_z}{dr} = \frac{\partial p}{\partial z} \quad (3)$$

уравнение сплошности

$$\frac{d}{dz} \cdot (r \cdot U_z) = 0. \quad (4)$$

Из (4) следует, что с учетом осевой симметрии поля скоростей $U_z = f(r)$. Вид этой функции $f(r)$ определяется решением уравнения (4) при граничных условиях:

$$r = R \quad U_z = 0 \quad (\text{поверхность неподвижного корпуса}), \quad (5)$$

$$r = r_0 \quad U_z = U_0 \quad (\text{поверхность движущегося стержня})$$

и в общем случае представляется соотношением:

$$U_z = \frac{1}{\mu} \frac{dp}{dz} \frac{r^2}{4} + a_1 \ln r + a_2. \quad (6)$$

После определения постоянных a_1 и a_2 из указанных граничных условий распределения скоростей движения жидкости в кольцевом зазоре определится формулой:

$$U_z = \frac{U_0}{\ln \frac{r_0}{R}} \ln \frac{r}{R} + \frac{1}{4\mu} \frac{dp}{dz} \left[(r^2 - R^2) - \left(r_0^2 - R^2 \right) \frac{\ln \frac{r}{R}}{\ln \frac{r_0}{R}} \right] \quad (7)$$

или в безразмерной форме:

$$\frac{U_z}{U_0} = \frac{\ln \frac{r}{R}}{\ln \frac{r_0}{R}} + \frac{R^2}{4\mu U_0} \frac{dp}{dz} \left[\left(\left(\frac{r}{R} \right)^2 - 1 \right) - \left(\left(\frac{r_0}{R} \right)^2 - 1 \right) \frac{\ln \frac{r}{R}}{\ln \frac{r_0}{R}} \right] \quad (8)$$

Первое слагаемое полученных соотношений определяет вклад чистого течения Куэтта в общее решение. Анализ параметров течения для течения Пуазейля известен [4]. Для аналогичного

анализа составляющей течения Куэтта удобно рассмотреть полученные закономерности для чистого течения Куэтта, то есть когда градиент давления вдоль движущегося стержня равен нулю. В этом случае распределение скоростей в кольцевом зазоре определится соотношением:

$$\frac{U_z}{U_0} = \frac{\ln \frac{r}{R}}{\ln \frac{r_0}{R}}. \quad (9)$$

Для этих условий наиболее важные параметры течения определяются зависимостями: расход жидкости, увлекаемой движущимся стержнем:

$$Q = \int_{r_0}^R \int_0^{2\pi} U_z \cdot r \cdot dr \cdot d\varphi,$$

и после интегрирования

$$Q = \frac{\pi U_0}{\ln \frac{r_0}{R}} \left[\frac{1}{2} (R^2 - r_0^2) - r_0^2 \ln \frac{R}{r_0} \right] \quad (10)$$

средняя расходная скорость движения жидкости:

$$U_{\text{н\ddot{o}d\ddot{a}a}} = \frac{Q}{\pi \cdot (R^2 - r_0^2)},$$

или

$$U_{\text{сред}} = U_0 \left[\frac{1}{\left(\ln \frac{R}{r_0} \right)^2} - \frac{r_0^2}{R^2 - r_0^2} \right]; \quad (11)$$

сила сопротивления движению стержня (поршень или плунжер):

$$F = 2\pi \cdot r_0 L \tau_{r=r_0},$$

где $\tau_{r=r_0} = -\mu \left(\frac{dU}{dr} \right)_{r=r_0}$ – касательное напряжение вязкостного трения на поверхности

движущегося стержня; L – длина плунжера (поршня).

Тогда с учетом (11)

$$F = \frac{2\pi U_0 L}{\ln \frac{r_0}{R}} \mu \quad (12)$$

мощность, затрачиваемая на преодоление сил вязкостного трения:

$$M = F \cdot U_{\text{сред}} = \frac{2\pi U_0^2 L \mu}{\ln \frac{r_0}{R}} \left[\frac{1}{\left(\ln \frac{R}{r_0} \right)^2} - \frac{r_0^2}{R^2 - r_0^2} \right]. \quad (13)$$

Полученные зависимости (10) – (13) позволяют производить технические расчеты плунжерных и поршневых систем, если известны их геометрические размеры и вязкость смазочного материала.

Литература

1. Mallock A. Proc. R. Soc. London A45, 126, 1988.
2. Couette M. Ann. Chim. Phys / 21, 433, 1890.
3. Mallock A. Philos / Trans. R. Soc. London A 187, 41, 1896.
4. Chossat P., Ioos G. The Couette – Taylor Problem, New York: Springer – Verlaq, 1994.
5. Shalykov D.A. Uspekhi Fizicheskikh Nauk, 179, № 9, 971–993, 2009.
6. Schlichting H. Boundary layer theory. New York, 1961.
7. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.-Л.: Гостехиздат, 1950.
8. Минухин Л.А. Расчеты сложных процессов тепло- и массообмена в аппаратах пищевой промышленности. – М.: Агропромиздат, 1979. – 175 с.

УДК 631.8; 631.171

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ЯРУСНОГО ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ВНЕСЕНИЯ ОСНОВНОЙ ДОЗЫ УДОБРЕНИЙ

С.О. Нукешев, к. т. н., доц.,

Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина

Аннотация

В работе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований предложенных технологических и технических решений для ярусного внутрпочвенного дифференцированного внесения минеральных удобрений наклонной лентой.

Ключевые слова: минеральные удобрения, чизель, удобритель, распределитель, ярусное внесение.

Keywords: mineral fertilizers, chisel, fertilizer, distributor, multi-stage fertilization.

Получение высоких и устойчивых урожаев во многом определяется тем, насколько возделываемые культуры обеспечиваются элементами питания в соответствии с их потребностью на весь период вегетации.

Реализация технологии ярусного дифференцированного внесения основной дозы минеральных удобрений требует новых подходов к проведению исследований и разработке технологий и технических средств.

Для ярусного внутрпочвенного дифференцированного внесения минеральных удобрений в Казахском агротехническом университете им. С. Сейфуллина (г. Астана) разработан чизель-удобритель, позволяющий осуществить ярусное внесение минеральных удобрений на всю глубину рыхления – 6–35 см (патент 17401 РК). Рабочими органами удобрителя являются экспериментальные наклонные стойки, которые обеспечивают высокое качество обработки, особенно переуплотненных и пересохших почв. Рабочие органы приподнимают и смещают пласт, разбивают и крошат уплотненные участки почвы. Конструкция рабочего органа позволяет получать минимальные развальные борозды.

Машина содержит параллелограммную раму с установленными на ней наклонными чизельными рабочими органами, опорные колеса и прицеп. На раме жестко закреплен корпус распределителя удобрений с головкой, направленной вертикально вверх с подсоединенными тукопроводами.

На фронтальной части наклонного чизельного рабочего органа прикреплена накладка треугольного сечения, раздвигающая почву. На конце стойки размещен неподвижно башмак, к которому с помощью болтового соединения прикреплено долото. В тыльной части стойки установлен

рассеиватель минеральных удобрений, выполненный в виде прямоугольного материалопровода, разделенного на продольные отсеки с окнами. Для получения на уровне башмака нижнего четвертого яруса к башмаку приварен удлинитель в форме прямоугольной трехгранной пирамиды.

Машина работает следующим образом. Транспортируемые из бункера с дозатором по трубопроводу потоком воздуха минеральные удобрения через головку распределителя и тукопроводы попадают на рассеиватель наклонного чизельного рабочего органа.

При обработке наклонное к горизонту вниз и имеющее впереди скос долото вскрывает почву, создавая небольшое сопротивление, поскольку его ширина составляет 50–60 мм. Удобрения, попадая в рассеиватель, за счет продольных отсеков делятся на четыре потока и направляются к окнам, являющимися продолжениями этих отсеков. При этом удлинитель позволит увеличить глубину наклонно-ленточного внесения до 35 см. Эта конструкция обеспечивает коэффициент использования минеральных удобрений растениями яровой пшеницы в 2...2,5 раза больший, чем при разбросном способе, и на 25...35% выше локально-рядковых.

Объясняется это тем, что при разбросном и локально-рядковом способах внесения удобрений питательные вещества располагаются лишь на одном уровне пахотного слоя почвы и только часть корней растений используют их. Предлагаемая конструкция рабочего органа почвообрабатывающего орудия обеспечивает размещение удобрений от 5...6 см от поверхности и до глубины 30...35 см.

Ширина захвата удобрения – 4,9 м. Угол наклона стоек – 40–45°. Расстояние между стойками – 400 мм, между наклонными лентами удобрений – 140 мм (рис. 1). Дневная выработка составляет 25–30 га.

Удобритель может работать в паре с бункером посевного комплекса как культиватор-удобритель с центральной высевальной системой, автономно со своим бункером с индивидуальными дозаторами и как орудие для основной обработки почвы.

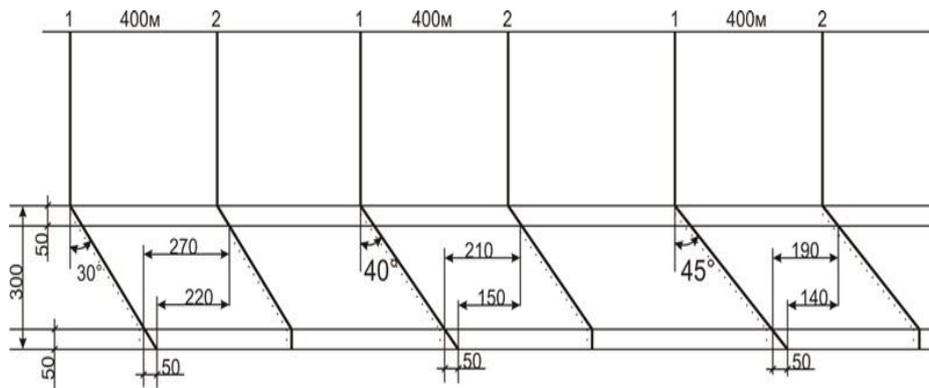


Рис. 1. Варианты расположения рабочего органа

Сопротивление почвы перемещению в ней рыхлителя-распределителя удобрения.

Поперечное сечение рабочего органа чизельного удобрения – рыхлителя-распределителя – представляет собой двугранный клин, одна грань (AB) которого расположена под углом резания α к направлению движения, а другая (AD) – вдоль него (рис. 2).

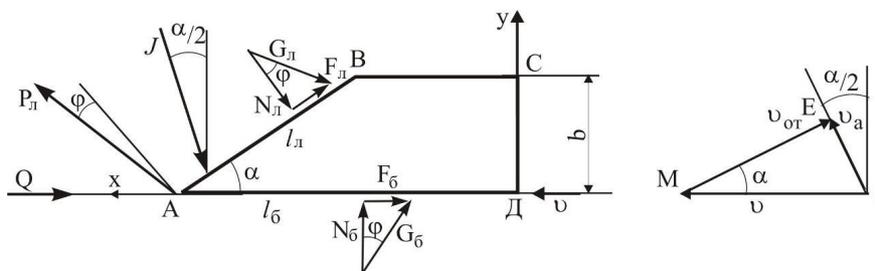


Рис. 2. Взаимодействие рыхлителя-распределителя с почвой

Рыхлитель-распределитель движется в почве со скоростью U и воздействует на нее силой P_n , которая является результирующей нормальных сил и сил трения на грани лезвия. Почва сопротивляется перемещению в ней рыхлителя-распределителя следующими силами:

Q – лобовое сопротивление пласта перед рыхлителем-распределителем;

J – динамическое пульсирующее сопротивление почвы из-за нарушения ее инерции покоя;

$G_{\tilde{e}}$ – косой подпор пласта на грань AB лезвия;

$G_{\tilde{a}}$ – боковой подпор пласта на грань AD ;

$N_{\tilde{a}}, N_{\tilde{e}}$ – нормальные реакции боковой грани и лезвия;

$F_{\tilde{a}}, F_{\tilde{e}}$ – силы трения на боковой грани и лезвии.

Очевидно, боковой подпор может возникать и на грани BC . Однако, оно настолько мало по сравнению с другими силами, что им можно пренебречь. Тем более если нарастить грань AB , то конструктивно его вообще можно свести к нулю.

Силы $\tilde{D}_{\tilde{e}}, G_{\tilde{e}} \in G_{\tilde{a}}$ отклонены от нормалей к поверхностям приложения на угол трения φ и характеризуют сопротивления почвы деформациям, возникающим в ней за счет воздействия рыхлителя-распределителя. Лобовой подпор направлен против движения рабочего органа.

Динамическое сопротивление J представляет собой ударные воздействия частиц почвы на лезвия рыхлителя. Очевидно, оно должно быть приложено к началу лезвия, так как именно там начинают соударяться частицы почвы с поверхностью рыхлителя-распределителя и получают абсолютную скорость v_a . Отсюда вывод: динамическое сопротивление должно быть направлено противоположно абсолютной скорости частиц почвы и приложено к началу лезвия, то есть к началу поступления почвы на лезвие.

Можно предположить, что, с какой скоростью перемещается рыхлитель-распределитель в почве, с такой же скоростью почва будет отставать от поверхности рыхлителя-распределителя. Это означает, что скорость перемещения частиц почвы по поверхности клина должна быть равна скорости перемещения в почве самого рыхлителя, то есть: $U_{om} = U$. При анализе действия сил при перемещении рабочего органа рыхлителя-удобрителя внутри почвы получена зависимость тягового усилия от его конструктивных параметров и физико-механических свойств почвы:

$$P_n \sin(\alpha + \varphi) = J \sin \frac{\alpha}{2} + G_{\tilde{a}} \sin(\alpha + \varphi) + G_{\tilde{e}} \sin \varphi + Q; \quad (1)$$

$$J = 2v^2 b h \rho \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \cos \alpha; G_{\tilde{a}} = \frac{N_{\tilde{a}}}{\cos \varphi}; G_{\tilde{e}} = l_{\tilde{e}} \cdot h \cdot \frac{\sigma_{сж}}{\cos \varphi}; Q = b \cdot h \cdot \sigma_{сж}, \quad (2)$$

где α – угол резания; φ – угол трения; b – ширина захвата; h – глубина рыхления; ρ – плотность почвы; $l_{\tilde{e}}$ – длина боковой грани клина; $\sigma_{сж}$ – временное сопротивление почвы сжатию.

Из (1) и рис. 3 следует, что тяговое усилие имеет линейную зависимость от угла резания и скорости движения самого агрегата и варьируется в пределах от 424,5 до 1801,5 Н при глубине рыхления $h = 50$ см и ширине захвата 25 см. Исходя из условия минимальности тягового усилия можно считать оптимальными значения угла резания $\alpha = 16-20^\circ$ и скорости агрегата $v = 1,8-2,0$ м/с.

Анализ результатов лабораторных опытов показывает, что неравномерность распределения удобрений по щелям при пределах изменения доз от 50 до 450 кг/га варьируется в пределах от 7,8% при внесении гранулированного суперфосфата (кривая 1) до 22,7% при внесении порошковидного суперфосфата (кривая 2). Причем на больших дозах внесения (200–450 кг/га) и гранулированных, и порошковидных удобрений резко снижается неравномерность высева, варьирующаяся в пределах 8–10% (рис. 4). Это объясняется тем, что при заполнении прямоугольного тукопровода масса удобрений приобретает упорядоченное, равномерно-симметричное движение, за счет продольных отсеков удобрения делятся на четыре потока и направляются к окнам, являющимися продолжениями этих отсеков, и равномерно распределяются по щелям распределителя.

В случае с тукопроводом круглого сечения частицы удобрений скапливаются в нижней части за счет значительного влияния сил тяжести и вогнутой поверхности, а в прямоугольном туко-

проведе вертикальные стенки распределителя не оказывают влияния на распределение гранул удобрений по сечению.

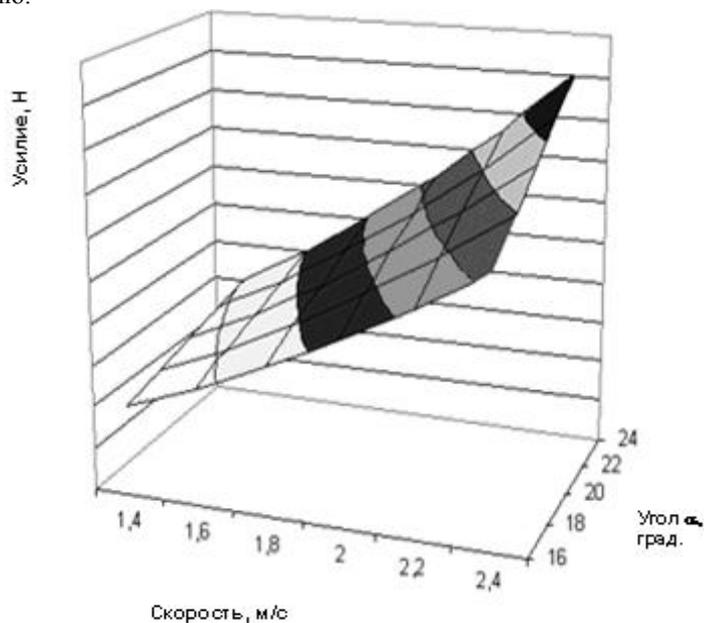


Рис. 3. Зависимости тяговых усилий от скорости агрегата и угла резания

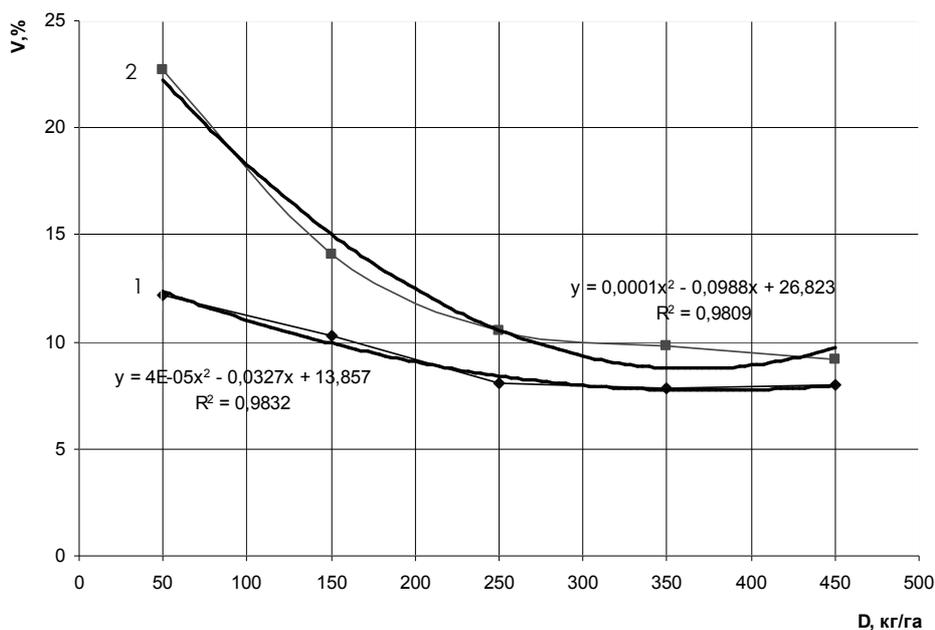


Рис. 4. Зависимости неравномерности высева между щелями распределителя от дозы внесения

Так как отсутствуют агротехнические требования к ярусному распределению удобрений внутри почвы, то за основу определения качественных показателей распределения удобрений внутри почвы приняты результаты приемочных испытаний аналогичных орудий (у рыхлителя-удобрителя РУН-4 неравномерность распределения удобрений по высоте щелей составляет 48,3% при заданной 50% по ТУ). Анализ сравнения показателей свидетельствует о достаточно хороших показателях качества работы чизеля-удобрителя.

Для более точной оценки тяговых характеристик опытного рабочего органа чизеля-удобрителя и проверки теоретических расчетных показателей на почвенном канале проведены

лабораторные опыты. Тяговое усилие записывалось с помощью динамографа на миллиметровую бумагу. Динамограмма показала 95,77 кг при скорости движения 2 м/с. Сравнение показывает, что теоретические расчеты хорошо согласуются с экспериментальными.

Результаты производственной проверки технологии ярусного основного внесения удобрений чизелем-удобрителем. Реализация технологии внутривспашечного ярусного внесения наклонной лентой основной дозы минеральных удобрений на паровом поле осуществлена на основе спроектированного и изготовленного опытного образца чизеля-удобрителя, прицепляемого к бункеру посевного комплекса. Основным рабочим органом является экспериментальный наклонный чизельный рабочий орган. Производственные проверки машины осуществлены на полях ТОО «Волгодоновское» Целиноградского района Акмолинской области и ТОО ТПК «КазАгро» Костанайского района Костанайской области на обработке пара с одновременным внутривспашечным внесением минеральных удобрений (рис. 5).

В качестве сравниваемой машины принят рыхлитель-удобритель РУН-4 «Минерал», предназначенный для основной обработки чистых паров и зяби с одновременным внутривспашечным внесением основной дозы минеральных удобрений на глубину 20...22 см.



Рис. 5. Экспериментальный чизель-удобритель

Показатели качества выполнения технологического процесса приведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели качества выполнения технологического процесса ярусного внесения минеральных удобрений наклонной лентой

Наименование показателей	Базовое	Предлагаемое
Скорость движения машины, м/с	2,44	2,44
Пропускная способность машины, кг/с	0,015...0,06	0,013...0,06
Доза внесения удобрений, кг/га:		
максимальная	480	480
минимальная	50	50
Неравномерность дозы внесения, %	14,22	12,6
Неравномерность распределения удобрений по ширине рассеивателя, %	48,3	14,8
Глубина заделки, см	20,3...21,1	5,6...34,8
Ширина ленты удобрений, см	5...6	32...35

Неравномерность распределения удобрений по ширине рассеивателя составила 14,8%, что в 3 раза меньше, чем у рыхлителя-удобрителя РУН-4 «Минерал». Следует отметить, что при оптимизации параметров целевого распределителя неравномерность может быть уменьшена.

Выводы

Лабораторно-полевые испытания показали, что чизель-удобритель обеспечивает обработку почвы и наклонное внесение удобрений с шириной ленты до 35 см на глубину 32...35 см и с неравномерностью распределения удобрений по ширине рассеивателя 14–15%.

Настоящая публикация выполнена в рамках подпроекта, финансируемого в рамках СКГ, поддерживаемого Всемирным Банком и Правительством Республики Казахстан. Заявления ав-

тора могут не отражать официальной позиции Всемирного Банка и Правительства Республики Казахстан.

УДК 629.114.2.012.001.4.

ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГУСЕНИЧНЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ

И.А. Садаков, асп., Уральская ГСХА

В разработке сельскохозяйственных и лесных массивов, их эксплуатации и возобновлении значительная роль принадлежит транспорту. В себестоимости продукции агропромышленного комплекса значительную долю составляют транспортные расходы. Снижение этих расходов – одна из самых актуальных задач. Она может решаться путем повышения экономичности транспортных средств, улучшения и усовершенствования конструкции, снижения металлоемкости и объема технического обслуживания. Особенно это относится к тракторам и автомобилям [2, 3, 7, 8].

В сельскохозяйственном производстве, промышленности и лесном хозяйстве автомобили и тракторы имеют самое широкое применение. Так, при весенне-осенних уборочных полевых работах до 95% выращенной сельскохозяйственной продукции вывозится автомобилями и тракторами. Почти все машины смонтированы на шасси гусеничных колес и колесных машин. Широкое распространение в сельском, лесном хозяйстве, промышленности и строительстве имеют тракторы и другие самоходные специальные машины на гусеничном ходу.

Такой тип ходовой части широко применяется и в военной технике – танках, бронетранспортерах. Гусеничная ходовая часть имеет ряд существенных достоинств: хорошее сцепление с почвой, малое удельное давление ($0,025-0,07$ МПа/см²), надежность в работе и простота конструкции. Но есть ряд существенных недостатков: большие затраты мощности на преодоление трения в ходовой части и перекачивание – до 10% от мощности двигателя [1], значительная масса – до 25% массы трактора [4], быстрый износ. Так, при работе трактора на черноземных почвах долговечность с открытым шарниром составляет не более 3000 часов, а при работе в сыпучих песках – всего до 350 часов.

Качество гусеничного движителя в значительной мере обуславливается его конструкцией [2]. Такие движители по способу привода гусеницы в движение бывают с приводом от ведущей звездочки, расположенной в задней части гусеничной машины. Подобное расположение применяется в основном в тракторах и обеспечивает уменьшенный износ гусеницы. В специальных гусеничных машинах применяется переднее расположение ведущей звездочки.

Часто оно обуславливается компоновкой машины, что способствует ускоренному износу гусеницы вследствие большего участка ее длины [6], находящегося под натяжением от крутящего момента звездочки. За последнее время предложен гусеничный движитель с треугольным обводом гусеницы. В России создан трактор с таким же обводом гусеницы – НАТИ-95.

Однако этот тип движителя имеет ряд существенных недостатков. Вследствие малого угла охвата звездочки гусеницей приходится во избежание спадывания гусеницы со звездочки увеличивать натяжение гусеницы, что приводит к повышенному ее износу. Кроме того, при такой конструкции гусеничного движителя высота центра тяжести трактора увеличивается, что ухудшает его устойчивость в поперечном направлении. Но такая компоновка имеет и много достоинств, важнейшим из которых является то, что ведущий мост трактора становится поддресоренным. При этом он не воспринимает удары непосредственно от дороги и увеличивается его долговечность [8]. При поднятом ведущем мосте легко осуществлять модернизацию трактора, делать более удобную компоновку, так как мост может передвигаться по раме, и проводить ремонт и ТО.

Гусеницы с открытым шарниром при работе на каштановых, лессовых и черноземных почвах имеют долговечность примерно 3000 часов. При этом звенья выходят из строя из-за износа шарниров (70%). На работу звеньев сильно влияют циклические нагрузки: растягивающие и изгибающие. Влияют также место и способ крепления деталей движителя. Так, например, установка поддерживающего ролика гусеничной цепи на консольной опоре уменьшает его забивание грязью, а следовательно, и износ.

При работе движителя трактор значительно уплотняет почву. Установлено, что сопротивление обработке почвы по следу гусеничных тракторов возрастает на 25%, по следу колесных тракторов – на 40%, а по следу автомобилей – до 65%.

Уменьшение воздействия движителей на почву достигается в основном конструкторскими методами. К ним относятся в первую очередь снижение удельного давления гусеницы на почву, величина и форма грунта зацепов, тип подвески трактора, распределение веса трактора по опорной длине гусеницы и многое другое. Основными факторами, определяющими воздействие почвы на движитель, являются плотность и твердость почвы, ее структурный состав, размеры частиц грунта, геометрия поверхности грунта, коэффициент заполнения проекции контакта гусеницы с почвой и ряд других [2].

Таким образом, на работу гусеничных движителей влияет значительное число факторов, но для трелевочных тракторов одним из важнейших будет макропрофиль поверхности дороги, а точнее, бездорожье, особенно при переезде трактора через деревья, пни, канавы и т. д.

За последнее время появились тракторы, имеющие движитель с треугольным обводом гусеницы. Такой промышленный трактор выпустила фирма «Катерпиллер». С таким же типом движителя выпустила трактор фирма «Комацу» в Японии. В России в 1995 г. тракторный институт НАТИ создал сельскохозяйственный трактор, тоже имеющий движитель с треугольным обводом гусеницы.

У всех этих тракторов ведущая звездочка расположена под верхней ветвью гусеницы и немного смещена от середины гусеничного движителя назад. Но, чтобы обеспечить достаточный угол охвата гусеницей ведущей звездочки, ее приходится поднимать довольно высоко, что ухудшает устойчивость трактора. Под воздействием движителей грунт подвергается различным деформациям: сжатию, сдвигу, смятию. В результате в нем возникают нормальные и касательные напряжения. От того, насколько способен грунт выдерживать их, зависят сцепление машины с ним, образование и глубина колеи. Поэтому свойства грунтов весьма сильно влияют на тягово-сцепные качества гусеничных машин. Движитель трактора очень сильно влияет на уплотнение почвы в пахотном и подпахотном слоях. Он образует колеи, нарушая экологию. Для уменьшения воздействия движителя трактора или машины на почву предлагается три направления [9, 10]:

- технологическое – уменьшение проходов техники по полю, применение широкозахватных орудий, устройство специальных полос для проезда техники и т. д.;
- агрономическое – состоит в повышении способности почвы противостоять уплотнениям и введении дополнительных операций разуплотнения;
- конструкторское – совершенствование тракторов: увеличение опорной площади гусеницы, то есть снижение удельного давления трактора на почву, распределение массы трактора между опорными катками. Последнее мероприятие значительно уменьшает глубину колеи, снижая в том числе силу, необходимую для передвижения самого трактора. Конструкторское направление совершенствования тракторов и их движителей является весьма эффективным.

Геометрические свойства поверхности дороги. Геометрия поверхности дороги оказывает значительное влияние на работу трактора и его движителя. Неровности почвы делятся на макро- и микронеровности. Если высота неровности несоизмеримо меньше размеров трактора, то это микронеровности – борозды в поле. Если высота соизмерима или больше размеров трактора, то это макронеровности: холмы, подъемы, спуски, ложбины. Как те, так и другие неровности отрицательно влияют на работу тракторного агрегата.

Макропрофиль поверхности влияет в основном на проходимость, устойчивость и управляемость. Макропрофиль поверхности вызывает колебательные процессы в тракторном агрегате, что приводит к утомляемости водителя, увеличению нагрузок на детали и узлы трактора, снижению скорости движения. Неровности носят случайный характер.

Таким образом, геометрические свойства поверхности грунтов оказывают большое влияние на работу тракторов, ухудшая условия их работы и вредно влияя на условия работы тракториста.

Требования, предъявляемые к тракторам и их движителям. Тракторы работают в самых разнообразных условиях и климатических зонах страны. Требования к тракторам бывают технико-экономическими. Они определяются производительностью трактора, то есть количеством выполненной работы в единицу времени, надежностью работы, хорошим запуском, простотой конструкции, узлов и агрегатов машины, меньшей металлоемкостью, высокой технологичностью, то есть простотой изготовления деталей, не требующей специального оборудования [1, 5, 6, 11, 12].

Одним из важнейших качеств является высокая экономичность, то есть наименьший расход топлива на единицу времени, который составляет в настоящее время 205–280 г/кВт-ч, а также

возможно меньший расход горюче-смазочных материалов, который в настоящее время составляет до 1% масла от расхода топлива. Поставлена задача снизить его до 0,6–0,8%. Гусеничные двигатели должны оказывать малое давление на почву – в среднем не более 0,045 МПа, а колесный – 0,08–0,11 МПа.

К техническим требованиям относится также надежность работы трактора, которая характеризуется долговечностью, безотказностью и ремонтпригодностью. Показателем долговечности является срок службы трактора, то есть календарная продолжительность – она находится в пределах 8–15 лет в зависимости от условий работы. Одним из показателей долговечности является ресурс работы узлов и механизмов трактора. Он характеризует наработку агрегатов и узлов в часах до достижения ими предельного состояния и колеблется в пределах 6–10 тыс. моточасов.

Литература

1. Анилович В.Я., Агейкин. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
2. Багин Ю.И. Автомобили и тракторы. Конструкция и элементы расчета шасси [Текст] / Ю.И. Багин. – Екатеринбург: УГТУ, 2000. – 349 с.
3. Багин Ю.И. Повышение эффективности машин лесного хозяйства и лесозаготовок на основе активных прицепов и совершенствования их привода [Текст] / Ю.И. Багин. – Свердловск: УЛТИ, 1986. – 284 с.
4. Барский И.Б. Конструирование и расчет тракторов [Текст] / И.Б. Барский. – М.: Машиностроение, 1980. – 335 с.
5. Пингин Б.Н. Теория трактора. Исследование свойств гусеничных движителей [Текст] / Б.Н. Пингин. – Челябинск: ЧПИ, 1985. – 93 с.
6. Пономаренко В.М. Выбор оптимального предварительного натяжения гусениц разных типов [Текст] / В.М. Пономаренко, Л.Н. Кутин // Тр. НАТИ. Вып. 256. – М., 1978. – 78 с.
7. Советские тракторы [Текст] / Под ред. Барского И.Б. – М.: Машиностроение, 1970. – 369 с.
8. Ксенович И.П., Шарипов В.М., Арустанов Л.Х. Тракторы. Конструкция. – М.: Машиностроение, 2000. – 821 с.
9. ГОСТ 19677-87. «Тракторы сельскохозяйственные. Общие технические требования».
10. Трепенков И.И. Перспективный типаж тракторов самоходных шасси и тракторных двигателей для производства в 1961–1965 гг. [Текст] / И.И. Трепенков // Тракторы и сельхозмашины. – 1961. – № 1.
11. Суликов Ю.Д. Исследование динамических процессов в основных агрегатах колесных лесотранспортных машин. [Текст] / Дис. ... д-ра техн. наук / Суликов Юрий Дмитриевич. – М., 1973.
12. Суликов Ю.Д. Прямая вывозка пакета деревьев [Текст] / Ю.Д. Суликов, Г.М. Васильев, С.И. Булдаков и др. – М.: Лесн. пром-сть, 1985. – 121 с.

УДК /662.756:621.436/
ББК/31.353/

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВ ДЛЯ ДИЗЕЛЕЙ

И.А. Садаков, асп.; Л.В. Денежко, к. т. н., доц.; Уральская ГСХА

Аннотация

На кафедре тракторов и автомобилей Уральской ГСХА проводятся исследования композиционных топлив на основе растительных масел. В данной статье изложены результаты исследования качества топливных композиций на базе рапсового масла.

Ключевые слова: дизельное топливо, растительное масло, рапсовое масло, вязкость.
Keywords: biofuel, diesel engine, viscosity, rapeseed oil.

Переход на использование моторного биотоплива позволяет одновременно решить две ключевые проблемы современности – удовлетворить растущие потребности в энергии без ущерба окружающей среде [2, 3].

В России среди биотоплива для сельскохозяйственного производства, в котором эксплуатируются большой тракторный парк и автомобили с дизельными двигателями, приоритет принадлежит биотопливу на основе растительных масел.

На кафедре тракторов и автомобилей Уральской ГСХА проводятся исследования композитных топлив на основе растительных масел.

В данной статье изложены результаты исследования качества топливных композиций на базе рапсового масла.

Определение физико-химических свойств топливных композиций проводилось по следующим показателям: вязкость, плотность, низкотемпературные свойства (температуры помутнения и застывания), цетановое число, показатели коррозионности (кислотность, испытание на медную пластинку, водорастворимые кислоты и щелочи) [1].

Для исследования были взяты 3 смеси:

1. Рапсовое масло (РМ) с дизельным топливом (ДТ).
2. Рапсовое масло (РМ) с бензином (Б).
3. Рапсовое масло (РМ) с керосином (К).

Смеси подвергали смешиванию на активаторе для получения однородного (гомогенного) состава. Продолжительность процесса активации каждой смеси составила 15 минут. Результаты исследования представлены в таблицах (таб. 1, 2).

Таблица 1

Сравнительные физико-химические показатели керосино-рапсовых смесей

Показатели	РМ	Смесь 80:20	Смесь 70:30	Смесь 60:40	К	ДТ
Низшая теплота сгорания, Мдж/кг	37,6	38,58	39,19	39,72	42,9	42
Плотность, кг/м ³ (20 °С)	0,916	0,884	0,876	0,866	0,786	0,827
Вязкость, мм ² /с (20 °С)	75,00	28,28	19,08	10,74	1,42	3,34
Температура помутнения, °С	-9	-17	-21 не набл.	-21 не набл.	-15	-
Температура застывания, °С	-12	не набл.	не набл.	-	не набл.	-
Цетановое число	29	29,5	30,5	33	63	45
Кислотность КОН, мг/100 см ³	6,1	5,6	5,1	5,0	3,2	-
Температура вспышки, °С	217	62	45	39	28	30
Испытания на медной пластинке	Выдерживает					
Содержание водорастворимых кислот, щелочей	Отсутствие					

Таблица 2

Сравнительные физико-химические показатели дизельно-рапсовых смесей

Показатели	РМ	Смесь РМ и ДТ (75:25)	Смесь РМ и ДТ (50:50)	Смесь РМ и ДТ (25:75)	ДТ
Низшая теплота сгорания, Мдж/кг	37,10	37,79	38,48	39,17	42
Плотность, кг/м ³ (20 °С)	0,916	0,895	0,871	0,843	0,827
Вязкость, мм ² /с (20 °С)	68,64	28,25	15,56	5,66	3,34
Температура помутнения, °С	0...-3	-19	-19	-19	-
Температура застывания, °С		Не набл.	Не набл.	Не набл.	
Цетановое число	29	30	36	44,5	45
Кислотность КОН, мг/100 см ³	6,1	5,8	5,6	5,25	5
Температура вспышки, °С	217	63	54	49	30
Испытания на медной пластинке	Выдерживает				
Содержание водорастворимых кислот, щелочей	Отсутствие				

Плотность топливных смесей по величине занимала промежуточное значение между плотностью масла и его компонентов (бензина, керосина или дизтоплива) и возрастала с увеличением доли масла в смеси. Плотность топлива влияет на качество распыла и зависит от температуры. У смесевых топлив она колеблется при температуре 20°С в пределах от 843 до 895 кг/м³.

Вязкость – один из важнейших показателей, влияющих на качество распыла, а следовательно, и на полноту сгорания топлива.

Как показывают результаты исследований, вязкость 6 сст при температуре 20°C может быть получена у смесей с содержанием в масле 40 % бензина или 45% керосина или 60% дизельного топлива (рис. 1). Закономерность изменения вязкости от температуры подтверждается. Однако характер изменения вязкостно-температурных кривых различен: более крутой у смесей с повышенным содержанием масла и более пологий с меньшим процентным соотношением масла в смеси. Вязкостно-температурные характеристики смеси масла с 30% бензина, 40% керосина и 60% ДТ близки к дизельному топливу.

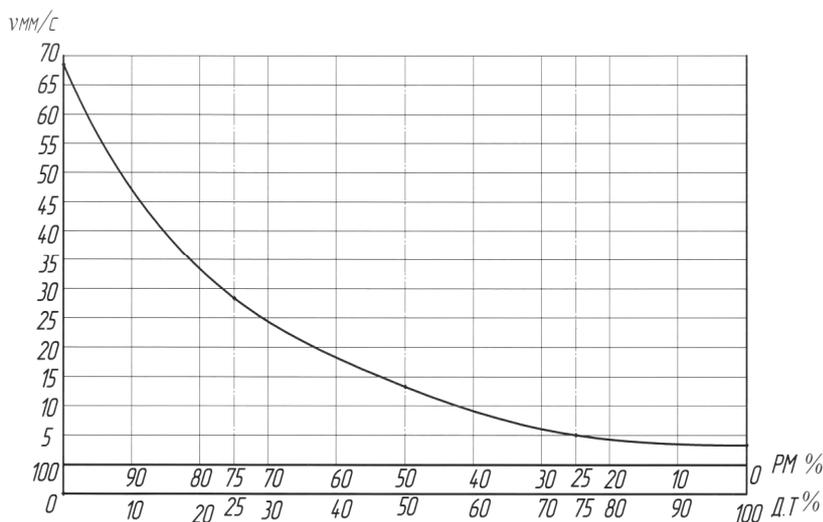


Рис. 1. Зависимость вязкости от состава смеси

Как показали результаты исследований, температура вспышки понижается с повышением концентрации компонентов в масле. Это указывает на то, что воспламеняемость смесей лучше, чем у дизельных топлив, а огнеопасность выше.

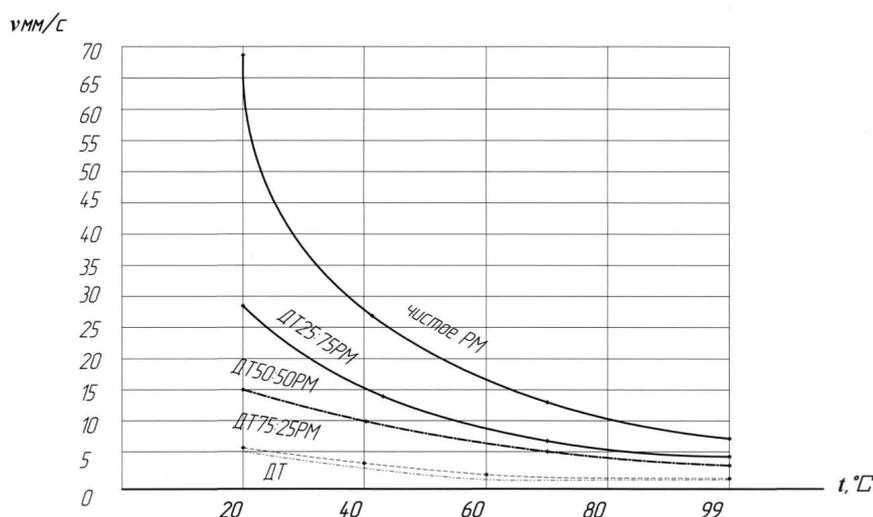


Рис. 2. Вязкостно-температурные характеристики смесей

Коррозийные свойства топлив оцениваются значением кислотности, содержанием водорастворимых кислот и щелочей, а также испытаниями на медной пластинке.

Цетановое число – показатель воспламеняемости дизельных топлив. Проведенные исследования показали, что с увеличением содержания масла в смеси цетановое число увеличивается: с 22 у А-76 до 29 у рапсового масла. Добавление бензина в рапсовое масло снижало цетановое число в среднем на единицу на каждые 10% увеличения концентрации бензина в смеси (рис. 3). Цетановое

число 40 соответствует смеси с содержанием керосина 60% и 55% дизельного топлива. Смеси ДТ с содержанием рапсового масла до 50% могут обеспечить нежесткую работу дизеля в период эксплуатации.

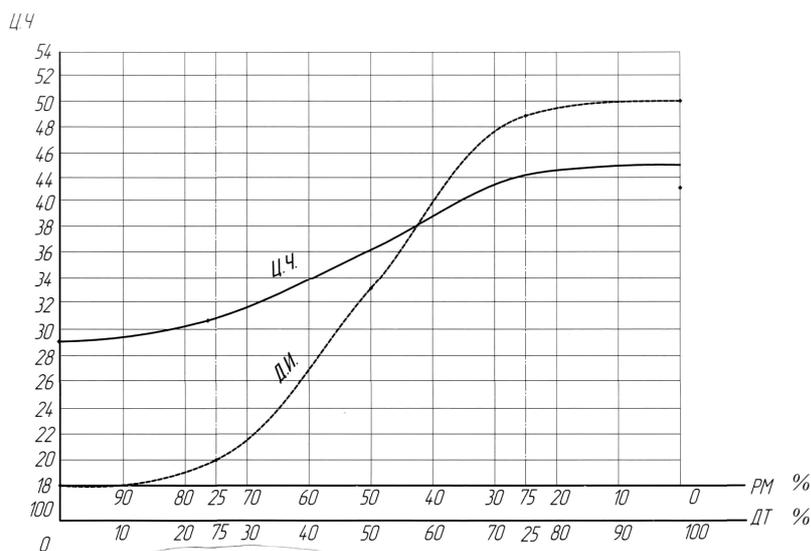


Рис. 3. Зависимость цетанового числа от состава смесей

В итоге анализа полученных результатов исследований можно отметить:

1. Смеси на базе рапсового масла с добавлением до 40% компонентов дизельного топлива, керосина и бензина имеют плотность, близкую к плотности дизельного топлива.
2. Вязкость исследуемых смесей снижается при увеличении в них топливных компонентов. Особенно сильно влияет на снижение вязкости добавление бензина и керосина.
3. Цетановое число до 38–40 единиц, соответствующее нежесткой работе дизеля, в смесях на базе рапсового масла может быть достигнуто при добавлении в них до 50% керосина или 55% дизельного топлива. Добавка бензина резко снижала цетановое число смесей.
4. Низкотемпературные свойства смесей, оцениваемые по таким показателям, как температура помутнения, указывают на возможность применения этих смесей в условиях эксплуатации до $-5 \dots -10^{\circ}\text{C}$.
5. По результатам испытаний на медной пластинке все смеси не содержат активной серы. Несколько большая величина кислотности у всех смесей на базе рапсового масла указывает на незначительное увеличение их коррозионности по сравнению с дизельным топливом.

Литература

1. Кузнецов А.В., Кульчев М.А. Практикум по топливу и смазочным материалам. – М.: Агропромиздат, 1987.
2. Результаты испытаний и перспективы эксплуатации дизелей на биотопливе. – М.: Росинформагротех, 2008. – 136 с.
3. Федоренко В.Ф. и др. Состояние и развитие производства биотоплива. – М.: Росинформагротех, 2007. – 130 с.

ВИБРОКОНТАКТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СИСТЕМ УПРАВЛЯЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ АВТОПОДНАЛАДЧИКОВ

Г.М. Тромпет, к. т. н., доц., Уральская ГСХА

Аннотация

В статье приведены полученные уравнения, описывающие работу магнитодинамического виброконтрактного преобразователя и формирование сигнала, поступающего на отсчетно-командное устройство, которое выдает команды на управление станком.

Ключевые слова: виброконтрактный преобразователь, автоподналадчик.

Keywords: vibrocontact converter, autocorrective adjustment device.

Постановка задачи. Построение приборов для активного контроля деталей непосредственно после их обработки на различных станках представляет сложную техническую задачу. Это объясняется малым промежутком времени цикла обработки, а также тем, что контролируемая поверхность детали труднодоступна, а сама деталь при обработке совершает сложное движение [1].

Поэтому работа над конструктивными элементами систем управляющего контроля виброконтрактного принципа измерения, устанавливаемых непосредственно после обработки деталей, вызывает необходимость создания теоретических основ их расчета и, прежде всего, первичного измерительного элемента, состоящего из двух взаимосвязанных узлов [2, 3]:

- вибратора (раскачивающего электромагнита – колебательной системы);
- виброгенератора (колебательной системы – постоянного магнита – катушки индуктивности).

Вопросам теории электромагнитных вибраторов посвящено большое количество работ отечественных и зарубежных авторов [4, 5, 6].

Вместе с тем виброконтрактный преобразователь имеет ряд особенностей [7]:

- работа в резонансном режиме;
- влияние постоянных магнитов вибратора на колебательную систему;
- влияние катушки индуктивности генератора на колебательную систему.

При выборе конструктивных элементов необходимо учитывать комплексное влияние вибратора на колебательную систему и на виброгенератор и, наоборот, влияние виброгенератора на колебательную систему и на вибратор в режиме резонансных колебаний при особенностях бесцентрового шлифования:

- высокой динамичности процесса перемещения контролируемых деталей;
- ударов кромок контролируемых деталей об измерительный наконечник;
- прерывистости измеряемых поверхностей в процессе технологического перемещения деталей;

- необходимости малого измерительного усилия;
- создания малогабаритных преобразователей, встраиваемых в измерительную оснастку [8].

В процессе проектирования конструкций преобразователей виброконтрактного принципа измерения возникает необходимость формализованного описания процесса в построении математической модели, где бы можно было определить все особенности формирования выходного управляющего сигнала, конкретно влияющего на метрологические и технологические возможности преобразователей различных конструкций.

Формирование сигнала в виброконтрактных преобразователях для автоподналадчиков. Целью данной работы является получение математической связи между всеми конструктивными элементами электромеханического вибропреобразователя и экспериментальная проверка ее при сопоставлении с работой реального прибора.

Проведенный анализ [9, 10] результатов применения различных по принципу действия первичных преобразователей в системах управляющего контроля – автоподналадчиков [8, 11, 12], исследования условий использования приборов управляющего контроля при влиянии охлаждающей жидкости, содержащей абразив и стружку [13, 14], показали целесообразность применения

виброконтактных преобразователей с подведенной системой (измерительного наконечника), работающей в режиме возвратно-поступательных колебаний [15].

Рассмотрим конструкцию преобразователя, широко используемую в системах управляющего контроля [3, 14]. Малогабаритный электромагнитный вибропреобразователь типа ВГП [2] разработан с учетом использования в различных контрольных системах и, прежде всего, для приборов активного контроля на бесцентрово-шлифовальных станках. Принцип действия такого преобразователя заключается в следующем (рис. 1).

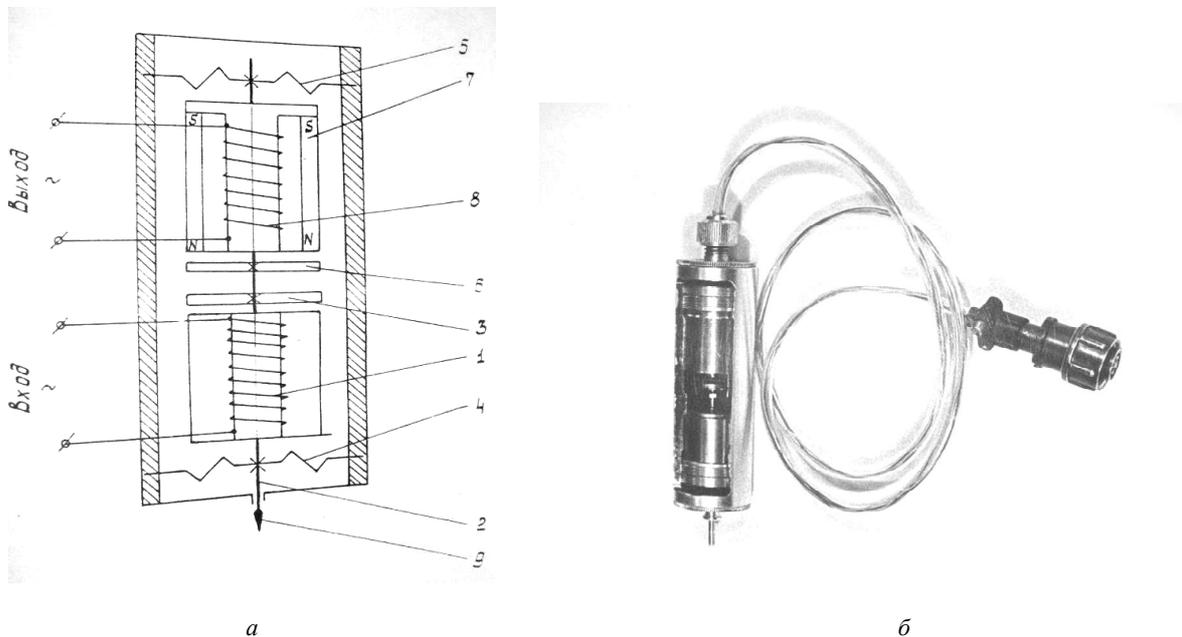


Рис. 1. Электромагнитный преобразователь типа ВГП:
а – схема прибора; б – общий вид

При подаче питающего напряжения на электромагнит 1 измерительный шток 2, жестко связанный с якорем 3 электромагнита и подвешенный на пластинчатых пружинах 4 и 5, приводится в колебательное возвратно-поступательное движение. Колебания жестко связанного со штоком якоря 6 виброгенератора перераспределяют магнитный поток постоянного магнита 7, вследствие чего в катушке 8 виброгенератора наводится ЭДС. Измерительный шток снабжен наконечником 9, который контактирует с обрабатываемой и измеряемой поверхностью. Сигнал, снимаемый с катушки 8, регистрируется в отсчетно-командном блоке. Электромагнитный вибропреобразователь устанавливается в таком положении, чтобы колебания измерительного наконечника ограничивались поверхностью контролируемой детали. С изменением положения измеряемой поверхности будет изменяться амплитуда колебаний штока, вследствие чего изменится величина перераспределения магнитного потока, пропорционально изменится и выходная Э.Д.С.

Совершая 100 колебаний в секунду, наконечник производит такое же количество измерений в разных точках движущейся детали. Сигнал, полученный в результате каждого измерения, будет преобразован в соответствующую амплитудную величину переменного тока, поступающего с датчика в отсчетно-командное устройство. Колебания наконечника позволяют легко преодолевать уступы на поверхности деталей и неровности при высокой скорости движения деталей, имеющих разрывы и малую площадь контролируемой поверхности. Упругая подвеска вибрирующего штока демпфирует случайные механические удары и предохраняет датчик от преждевременного выхода из строя.

Процесс измерения в общем случае является стохастическим. Для его исследования необходимо рассмотреть формирования сигнала в преобразователе и описать его математически. Виброконтактный преобразователь можно представить как совокупность двух связанных между собой узлов. В первый из них (вибратор) входят раскачивающий электромагнит, состоящий из катушки 1 и якоря 3, и измерительный наконечник 2 (колебательная система) с якорями 2 и 6; во второй (виброгенератор) – колебательная система (измерительный шток и два якоря), постоянный магнит 7, катушка индуктивности 8 и якорь 6.

Используя второй закон Кирхгофа, можно после соответствующих преобразований записать уравнение цепи электромагнита:

$$i_{\text{э}} r = V_0 \sin \omega t - W_{\text{э}} \frac{d\Phi_{\text{э}}}{dt}, \quad (1)$$

где $i_{\text{э}}$ – ток в обмотке электромагнита; r – активное электрическое сопротивление обмотки; $V_0 \sin \omega t$ – питающее напряжение с амплитудой V_0 и частотой ω ; $W_{\text{э}}$ – число витков обмотки; $\Phi_{\text{э}}$ – магнитный поток в данной цепи; $\frac{d\Phi_{\text{э}}}{dt}$ – скорость его изменения.

Дифференциальное уравнение движения колебательной системы с одной степенью свободы представим в виде [16, 17]:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + h \frac{dx}{dt} + kx = P \sin \omega t, \quad (2)$$

где x – величина перемещения измерительного штока; m – масса измерительного штока с якорями; h – коэффициент демпфирования (сопротивления); k – коэффициент упругости (жесткости); P – возмущающая сила электромагнита; ω – частота возмущающей силы; t – текущее время.

Выразим возмущающую силу P через магнитный поток $\Phi_{\text{э}}$, и уравнение (2) примет вид:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + h \frac{dx}{dt} + kx = \frac{\Phi_{\text{э}}^2}{2m_0 S_{\text{э}}} \sin \omega t,$$

где μ – магнитная проницаемость воздуха; $S_{\text{э}}$ – площадь кольца магнитопровода катушки электромагнита.

По опыту проектирования преобразователей виброконтактного принципа измерения [10, 15] возмущающие силы от постоянного магнита и действия внешних сил на два порядка меньше силы притяжения якоря электромагнита, поэтому уравнение движения измерительного штока совместно с якорями электромагнита и виброгенератора при максимальном значении силы притяжения якоря электромагнита будет выглядеть так:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + h \frac{dx}{dt} + kx = \frac{1}{2m_0 S_{\text{э}}} \Phi_{\text{э}}^2. \quad (3)$$

Уравнение виброгенератора представим в следующем виде:

$$E = -W_{\text{Г}} \frac{d\Phi_{\text{М}}}{dt} = L \frac{di_{\text{Г}}}{dt} + i_{\text{Г}} r_{\Sigma}, \quad (4)$$

где E – Э.Д.С.; $W_{\text{Г}}$ – число витков обмотки генератора; $\Phi_{\text{М}}$ – магнитный поток постоянного магнита; L – индуктивность обмотки генератора; $i_{\text{Г}}$ – ток в обмотке генератора; r_{Σ} – суммарное электрическое сопротивление обмотки генератора, проводов и нагрузки.

Индуктивность обмотки можно определить по формуле $L = m_0 S_r W_r^2 / (\delta - x)$, где δ – воздушный зазор между якорем и магнитопроводом виброгенератора; x – величина перемещения якоря генератора.

Подставив в выражение (4), получим уравнение виброгенератора:

$$-W_r \frac{d\Phi_M}{dt} = \frac{m_0 S_r W_r^2}{\delta - x} \cdot \frac{di_r}{dt} + i_r r_\Sigma \quad (5)$$

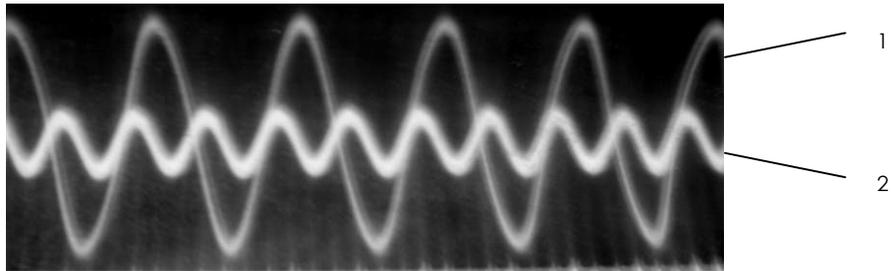


Рис. 2. Формирование сигнала при входной величине (1) и выходном сигнале (2)

Полученные уравнения (1), (3), (5) описывают работу электромагнитного вибропреобразователя типа ВГП (рис. 2) и формирование сигнала, который поступает на отсчетное устройство и по величине которого выдаются управляющие команды на получение необходимого размера изготавливаемых деталей.

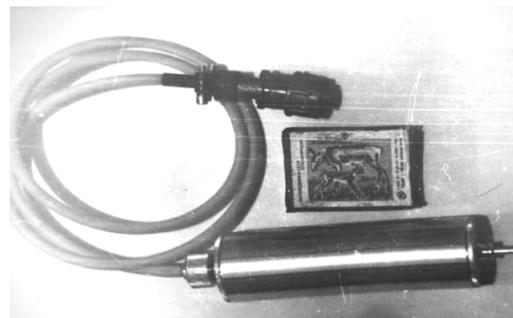
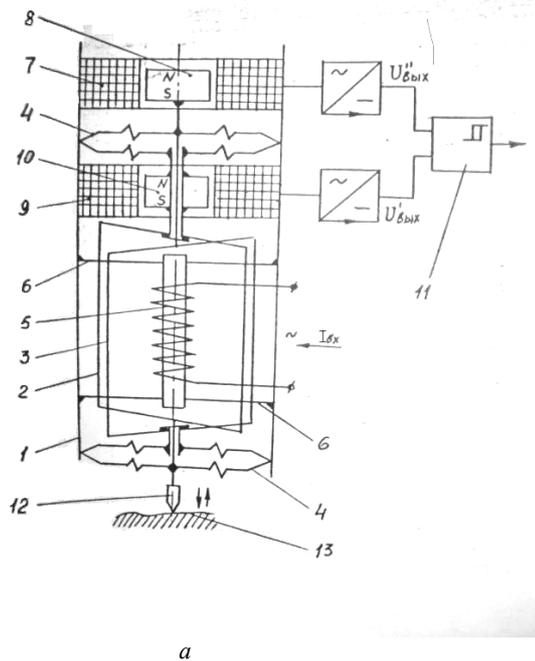


Рис. 3. Виброконтатное измерительное устройство:
а – схема прибора; б – общий вид

По полученной системе уравнений рассчитываем выходные параметры по заданным входным условиям (в частности, рассеивание размеров после выхода деталей из-под шлифовальных кругов бесцентрового шлифования), исследуем зоны устойчивой работы резонансного виброконтактного механизма преобразователя, влияние стохастического процесса измерения размеров об-

рабатываемых и контролируемых деталей на метрологические показатели всей измерительно-управляющей системы.

Эксплуатация вышеприведенных виброконтактных преобразователей привела к созданию датчика с двухсторонним действием силы притяжения якоря электромагнита [3] (рис. 3).

Принцип действия такого преобразователя заключается в следующем. При подключении обмотки электромагнита 5 к источнику питания переменного тока I_{ex} возникают противофазные колебания рамок 2 и 3, подвешенных на пружинах 4 в корпусе 1. Амплитуда колебаний этих рамок устанавливается такой, чтобы измерительный наконечник (щуп) 12, жестко соединенный с рамкой 2, приводился в соприкосновение с поверхностью контролируемой детали 13. Обе рамки 2 и 3 приводятся в движение от одного электромагнита 5, возбуждающая сила F которого равна [118]:

$$F = \frac{m_0 S W^2}{(\delta - x)^2} \cdot I_{ex}^2,$$

где m_0 – коэффициент магнитной проницаемости; S – поперечное сечение провода катушки; W – число витков в катушке электромагнита; δ – статический зазор; x – величина перемещения рамок; I_{ex} – ток в обмотке электромагнита.

Исходя из уравнения движения колеблющейся массы с одной степенью свободы:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + h \frac{dx}{dt} + kx = F, \quad (6)$$

где m – масса колеблющегося тела; h – коэффициент сопротивления; k – коэффициент жесткости; x – величина перемещения рамок; F – возмущающая сила.

Величина перемещения рамок будет одинаковой $x_1 = x_2$. Отсюда и на выходе измерительного устройства будут одинаковые по величине сигналы $V_{вых}^I = V_{вых}^{II}$, которые вырабатываются виброгенераторами, состоящими из постоянных магнитов 8, 10 и катушек 7, 9, уравнение которых имеет вид по аналогии с (4):

$$E = -W_r \frac{d\Phi_M}{dt} = L \frac{dI_{вых}}{dt} + I_{вых} r_{\Sigma}. \quad (7)$$

При отклонении контролируемой поверхности в процессе измерения будет изменяться амплитуда колебаний рамки 2, так как движение щупа 12 этой рамки будет ограничено поверхностью контролируемой детали 13. Если возмущающая сила постоянна $F = \text{const}$, то вторая рамка 3 будет совершать колебания с первоначальной амплитудой и, следовательно, сигнал $V_{вых}^{II}$, являющийся опорным, будет постоянным $V_{вых}^{II} = \text{const}$, а сигнал $V_{вых}^I$ будет изменяться пропорционально амплитуде колебаний рамки 2, соединенной с щупом 12. Эти оба сигнала $V_{вых}^I, V_{вых}^{II}$ поступают в компаратор 11, вырабатывающий сигнал рассогласования, по которому судят о результате контроля.

Электромагнитный поток Φ_{ε} , создаваемый электромагнитом 5 и представленный выражением

$$rI_0 = U_0 \sin \omega t - W_{\varepsilon} \frac{d\Phi_{\varepsilon}}{dt}, \quad (8)$$

будет замыкаться в основном на элементах А и Б (рис. 4),

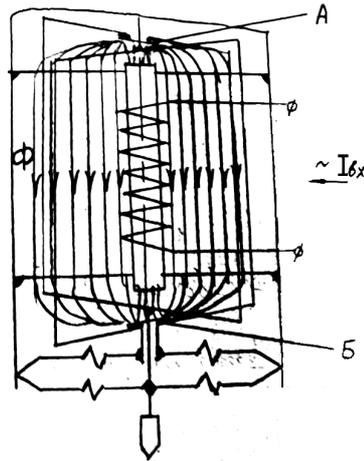


Рис. 4. Распределение электромагнитных потоков в вибраторе

якорях вибратора. В каждый полупериод тяговое усилие F (возмущающая сила [18]) будет притягивать элемент А вниз, а элемент Б вверх, отсюда – движение рамок в противоположные стороны. При такой конструктивной схеме электромагнитный поток Φ , создаваемый электромагнитом 5, будет направлен параллельно рамкам. Стойки 6 являются направляющими электромагнитного потока.

Уравнения (6), (7), (8) описывают работу виброконтактного преобразователя с двухсторонним действием электромагнита и формирование сигнала двух виброгенераторов $V_{\text{вых}}^I$ и $V_{\text{вых}}^{II}$, притом $V_{\text{вых}}^I = \text{const}$, а $V_{\text{вых}}^{II}$ меняется в зависимости от изменения положения поверхности 13 (см. рис. 3).

На последних системах управляющего контроля для бесцентрово-шлифовальных станков (рис. 5) установлены магнитодинамические преобразователи виброконтактного принципа измерения. Высокая динамичность процесса при технологическом движении контролируемых деталей вызвала создание механизма более жесткой конструкции колебательной системы (измерительного наконечника). Для достижения этой цели наконечник, якорь электромагнита возбуждения вибратора и сердечник катушки индуктивности блока измерения амплитуды виброколебаний жестко соединены между собой, образуя измерительный шток, прикрепленный к корпусу посредством упругих подвесок [3].

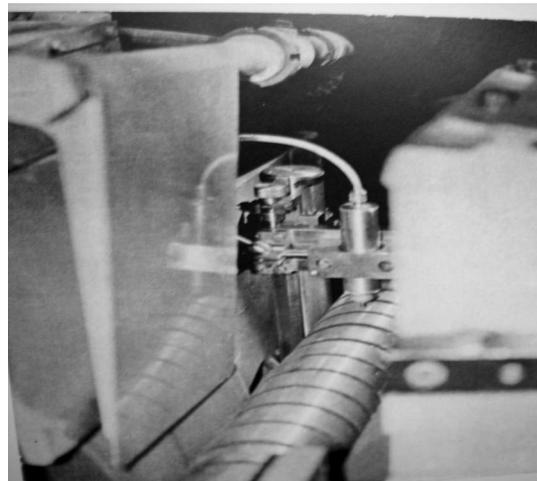


Рис. 5. Процесс измерения деталей при использовании магнитодинамического преобразователя

Измерительный шток, объединяя в единое целое составляющие колебательной системы, увеличивает ее жесткость, обеспечивая высокую чувствительность устройства при креплении измерительного штока к корпусу посредством упругих подвесок. При такой жесткой колебательной системе не возникают поперечные колебания ее элементов, что повышает точность измерений. Отсутствие этих колебаний и демпфирование измерительного штока упругими подвесками и массой самого штока способствуют повышению точности измерения при ударах наконечника о кромки деталей в процессе их технологического движения.

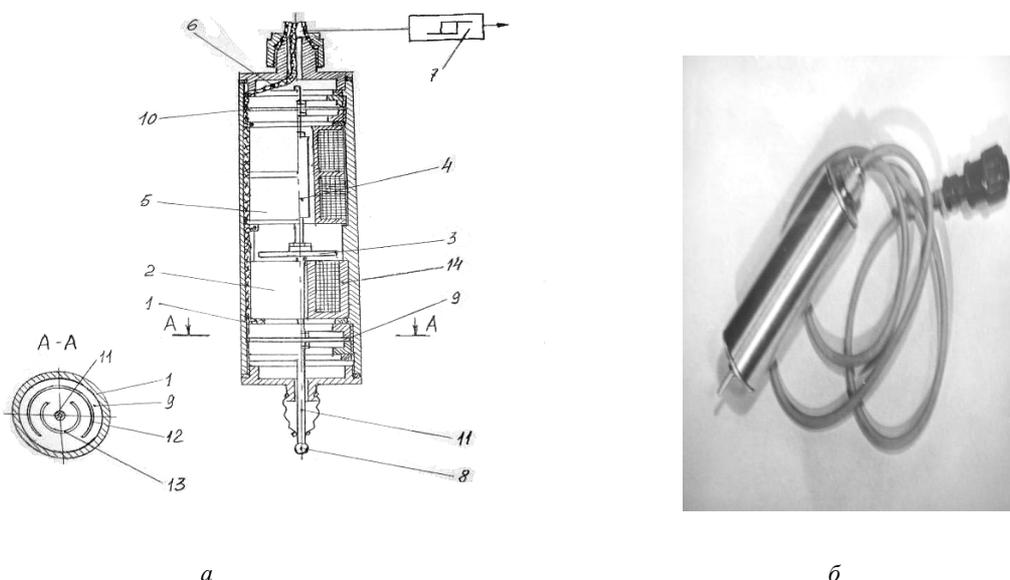


Рис. 6. Магнитодинамический преобразователь:
а – схема прибора; б – общий вид

Виброконтактное измерительное устройство содержит корпус 1 (рис. 6), расположенный в нем вибратор в виде электромагнита возбуждения, включающего катушку 2 и якорь 3, блок измерения виброколебаний с сердечником 4 и катушкой индуктивности 5, связанный кабелем 6 с регистратором 7, наконечник 8 и две упругие подвески 9 и 10. Каждая упругая подвеска выполнена в виде горизонтально расположенной мембраны 12 и 13, противоположно расположенными относительно измерительного штока. Мембрана 9 прикреплена к корпусу между наконечником 8 и электромагнитом возбуждения вибратора, охватывая стержень 11 измерительного штока, соединяющий наконечник и якорь 3. Мембрана 10 прикреплена к корпусу между сердечником 4 и торцом корпуса, охватывая соответствующий участок измерительного штока. Стержень 11 измерительного штока, соединяющий наконечник 8 и якорь 3, расположен в центральной отверстии магнитопровода 14 электромагнита возбуждения вибратора. Катушка индуктивности 5 имеет две расположенные друг над другом обмотки с противоположными намотками, а сердечник 4 расположен вдоль этих обмоток.

Электродинамический вибропреобразователь работает следующим образом. При подаче питающего напряжения на катушку 2 электромагнита возбуждения вибратора приводятся в колебательное возвратно-поступательное движение стержень 11 с наконечником 8 и якорь 3 с сердечником 4. В катушке индуктивности 5 блока измерения виброколебаний индуцируется ЭДС, пропорциональная изменению скорости магнитного потока, создаваемого сердечником 4.

В процессе измерений размеров обрабатываемых деталей наконечник 8 измерительного штока 11 контактирует с контролируемой поверхностью. При этом в зависимости от измерения размеров деталей изменяется амплитуда колебаний штока, в том числе сердечника 4. Изменение амплитуды колебаний сердечника 4 приводит к изменению ЭДС, что по кабелю 6 передается регистратору сигналов 7 с последующей выдачей показаний измерений в удобочитаемой форме.

Для рассмотрения формирования этих сигналов последовательно опишем работу всех узлов вибропреобразователя, начиная с электромагнита (1)

$$i_{\Sigma} r = V_0 \sin \omega t - W_{\Sigma} \frac{d\Phi_{\Sigma}}{dt} \quad (9)$$

Дифференциальное уравнение движения колебательной системы, состоящей из штока 11 с наконечником 8, якоря 3 и сердечника 4, представим по аналогии с (3) в виде

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + h \frac{dx}{dt} + kx = \frac{1}{m_0 S_{\Sigma}} \Phi_{\Sigma}^2 \quad (10)$$

Движение колебательной системы, с которой жестко связан сердечник 4 виброгенератора, приводит к появлению ЭДС (7):

$$E = -W_{\Gamma} \frac{d\Phi_M}{dt} = L \frac{di_{\Gamma}}{dt} + i r_{\Sigma}, \quad (11)$$

где E – ЭДС; W_{Γ} – число витков обмотки генератора; Φ_{Σ} – магнитный поток постоянного магнита; L – индуктивность обмотки генератора; i_{Γ} – ток в обмотке генератора; r_{Σ} – суммарное электрическое сопротивление обмотки генератора, проводов и нагрузки.

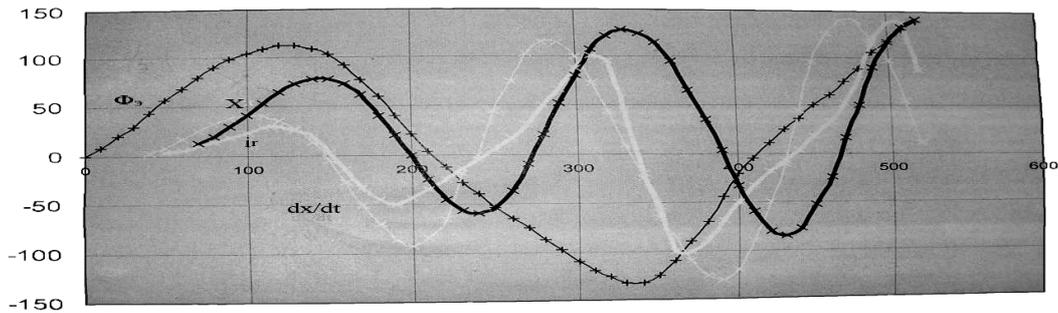


Рис. 7. Графическое решение системы уравнений:

Φ_{Σ} – электромагнитный поток; X – величина перемещения измерительного штока (колебательной системы); dx/dt – скорость перемещения измерительного штока; ir – выходной ток генератора (измерительной системы)

Полученные уравнения (9), (10), (11) описывают работу магнитодинамического вибропреобразователя и формирование сигнала [19] (рис. 7), поступающего на отсчетно-командное устройство, которое выдает команды на управление работой бесцентрово-шлифовального станка [15].

Полученные зависимости используются для расчета выходных параметров по заданным входным условиям, использования зоны устойчивой работы виброконтактной системы измерения и влияния стохастического процесса контроля размеров обрабатываемых деталей [20].

Литература

1. Приборы для автоматического контроля в машиностроении / С.С. Волосов, Е.И. Педь. – М.: Изд-во стандартов, 1970. – 310 с.
2. Пат. № 66514 РФ МПК G01 В7/12 Виброконтактное измерительное устройство / Тромпет Г.М., Колка И.А., Тромпет Л.В.; опубл. 10.09.2007. Бюл. № 25.
3. Пат. № 59236 РФ МПК G01 В7/12 Виброконтактное измерительное устройство / Тромпет Г.М., Колка И.А.; опубл. 10.09.2006. Бюл. № 34.
4. Иориш Ю.И. Виброметрия / Ю.И. Иориш. – М.: Машгиз, 1963. – 510 с.
5. Агарянц Р.А. Динамика, синтез и расчет электромагнитов / Р.А. Агарянц. – М.: Наука, 1987. – 308 с.

6. Любчик М.А. Расчет и проектирование электромагнитов постоянного и переменного токов / М.А. Любчик. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1953. – 283 с.
7. Тромпет Г.М. Разработка систем управляющего контроля с использованием виброконтактных приборов / Г.М. Тромпет, В.А. Александров. Вестник Росс. гос. агр. заоч. ун-та, науч. журнал – № 2 (7). – М., 2007. – С. 71–73.
8. Приборы автоматического управления обработкой на металлорежущих станках / А.В. Высоцкий, И.Б. Карпович, М.П. Соболев, М.И. Этингф. – М.: Машиностроение, 1995. – 328 с.
9. Соболев М.П. Автоматической размерный контроль на металлорежущих станках / М.П. Соболев, М.И. Этингф. – Смоленск: Ойкумена, 2005. – 300 с.
10. Разработка и исследование измерительных устройств активного контроля для плоскошлифовальных и бесцентрово-шлифовальных станков по теме ТТ7-607-77. Прибор автоматического активного контроля к плоскошлифовальным станкам ЛАК-7. УПИ: отчет о НИР / УПИ им. С.М. Кирова; исполн.: В.В. Кувшинский, Г.М. Тромпет [и др.]. – Свердловск, 1980. – № ГР78004234. Сб. реф. НИР и ОКР сер. «Машиностроение». – № 43. – 86 с.
11. Активный контроль в машиностроении: Справочное пособие / Под ред. Е.И. Педя. – М.: Машиностроение, 1971. – 360 с.
12. Высоцкий А.В. Активный контроль в металлообработке / А.В. Высоцкий, М.П. Соболев, М.И. Этингф. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 175 с.
13. Тромпет Г.М. Прибор автоматического активного контроля для бесцентрово-шлифовальных станков / Г.М. Тромпет, Т.В. Половникова // Инф. листок № 84-78. – Свердл. СМТЦ НТИП, 1984. – 4 с.
14. Тромпет Г.М. Система активного контроля для бесцентрово-шлифовальных станков: Каталог. Тематическая выставка «Достижения ученых высшей школы в научно-исследовательской работе». – М.: ВДНХ, 1988.
15. Тромпет Г.М. Система активного контроля для бесцентрово-шлифовальных станков / Г.М. Тромпет, В.В. Кувшинский // Сб. «Научно-технические достижения, рекомендованные межотраслевым экспертным советом к внедрению». – М.: ВИМИ. – № 12. – 1989. – С. 51–52.
16. Бабенков И.М. Теория колебаний / И.М. Бабенков. М.: Наука, 1986. – 256 с.
17. Яблонский А.А. Курс теории колебаний / А.А. Яблонский, С.С. Норейко. – М.: Высшая школа, 1975. – 180 с.
18. Борисов Ю.М. Электротехника: Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. / Ю.М. Борисов, Д.Н. Ликатов, Ю.Н. Зорин. М.: Энергоатомиздат. – 1985. – 552 с.
19. Тромпет Г.М. Формирование сигнала в виброконтактных системах управляющего контроля / Г.М. Тромпет // Технология производства машин: Межвуз. сб. науч. тр. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ УПИ, 2003. – Вып. 1. – С. 43–48.
20. Тромпет Г.М. Оценка динамических характеристик виброконтактной системы управляющего контроля / Г.М. Тромпет, А.Я. Красильников // Машиностроитель. – 2006. – № 8. – С. 21–23.

УДК 621.990.1.

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВИБРОКОНТАКТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ АВТОПОДНАЛАДЧИКОВ

Г.М. Тромпет, к. т. н., доц.; Уральская ГСХА

Аннотация

Полученная математическая модель позволяет предварительно перед проектированием виброконтактного преобразователя исследовать влияние различных элементов конструкции на характер работы и надежность измерительной системы.

Ключевые слова: виброконтактный преобразователь, математическая модель, точность, надежность.

Key words: accuracy, reliability, mathematical model, vibrocontact converter.

Процесс контроля при высокой динамичности перемещения деталей с прерывистыми поверхностями бесцентрового шлифования требует тщательной проработки конструкции первичных преобразователей, что вызывает необходимость создания теоретических основ их расчета, формализованного описания, построения математической модели, выбора оптимальной конструкции элементов всех узлов: раскачивающего электромагнита – колебательной системы (измерительного штока с наконечником), представляющих собой вибратор; и колебательной системы – постоянно-го магнита – катушки индуктивности (виброгенератора).

Расчетная схема электромагнитного вибратора магнитодинамического вибропреобразователя (рис. 1) [1] позволяет описать поведение электрической цепи следующей системой уравнений:

$$i_{\varepsilon} r = V_0 \sin \omega t - W_{\varepsilon} \frac{d\Phi_{\varepsilon}}{dt}; \quad (1)$$

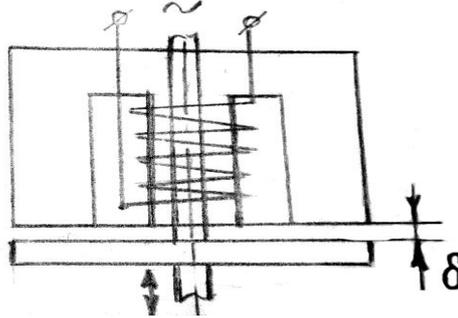


Рис. 1. Расчетная схема электромагнитного вибратора

$$\Phi_{\varepsilon} = \frac{m_0 S_{\varepsilon} W_{\varepsilon}}{\delta - x} \cdot i_{\varepsilon}, \quad (2)$$

где $i_{\varepsilon} r$ – ток и активное сопротивление в обмотке электромагнита; $V_0 \sin \omega t$ – питающее напряжение с максимальным значением V_0 и частотой ω ; W_{ε} – число витков обмотки; $\frac{d\Phi_{\varepsilon}}{dt}$ – скорость изменения электромагнитного потока; m_0 – магнитная проницаемость воздуха; Φ_{ε} – электромагнитный поток; S_{ε} – площадь сердечника электромагнита; δ – зазор между сердечником и якорем вибратора (рис. 1); x – величина перемещения якоря (измерительного штока).

Механическую систему вибропреобразователя, представляющую собой колебательный контур с одной степенью свободы, представим в виде [1]

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + h \frac{dx}{dt} + kx = \frac{1}{2m_0} \left(\frac{1}{S_{\varepsilon}} \Phi_{\varepsilon}^2 + \frac{1}{S_M} \Phi_M^2 \right), \quad (3)$$

где m – масса инерционного элемента (измерительного штока); h – коэффициент демпфирования (сопротивления); k – коэффициент упругости (жесткости); x – величина перемещения измерительного штока с якорем вибратора и сердечником виброгенератора; S_M – площадь магнитного потока виброгенератора; Φ_{ε} и Φ_M – соответственно электромагнитный поток в вибраторе и магнитный поток в виброгенераторе.

Электрическую выходную систему вибропреобразователя, представляющую собой магнитный сердечник и двухсекционную катушку индуктивности, представим в виде [2]

$$E = -W_r \frac{d\Phi_M}{dt} = L \frac{di_r}{dt} + i_r r_\Sigma \quad (4)$$

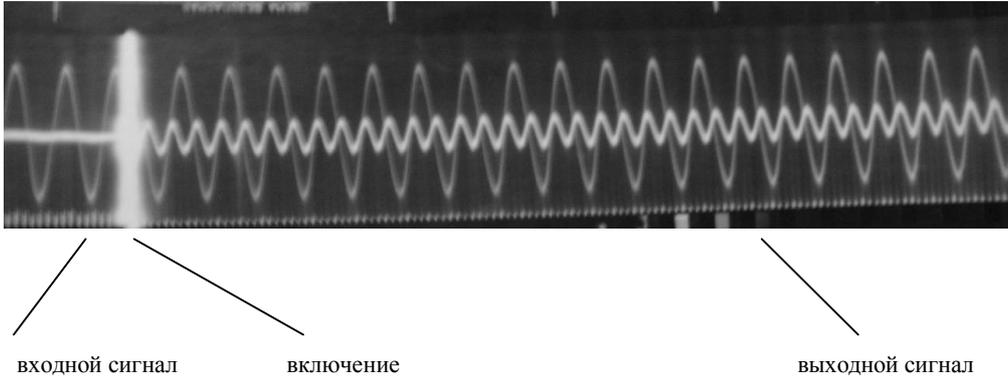


Рис. 2. Осциллограмма сигналов

Приближенное решение инерционной системы (1), (2) в установившемся режиме, исходя из предварительных сведений, полученных на реальной модели (рис. 2), и теоретических предпосылок [3], представим в виде

$$i_\omega = I_\omega \sin(\omega t - \alpha) \quad (5)$$

$$x = d + A \sin 2(\omega t - \alpha - \beta) \quad (6)$$

где α и β – фазовые углы; d – смещение центра колебаний, вызванное действием постоянной составляющей возмущающей силы; A – максимальное отклонение колебательной системы от точки равновесия.

Двойной угол взят потому, что резонансная колебательная система настроена на частоту собственных колебаний, равных частоте возмущающей силы.

Рассмотрим уравнение (1), которое путем интегрирования приводится к виду

$$r \int i_\omega dt = V_0 \int \sin \omega t dt - W_\omega \Phi_\omega + k \quad (7)$$

С учетом того, что постоянная интегрирования $k = 0$ и используется соотношение (2), выражение (7) примет вид

$$r \int i_\omega dt = \frac{V_0}{\omega} \cos \omega t - \frac{m_0 S_\omega W_\omega^2}{\delta - x} i_\omega \quad (8)$$

Решая (8) с учетом (5) и (6), получим:

$$\omega m_0 S_\omega W_\omega^2 I_\omega \sin(\omega t - \alpha) = \{\delta - [d + A \sin 2(\omega t - \alpha - \beta)]\} * [r I_\omega \cos(\omega t - \alpha) - V_0 \cos \omega t] \quad (9)$$

После интегрирования (7) находим:

$$\Phi_\omega = \frac{1}{\omega W_\omega} [r I_\omega \cos \omega t - \alpha] - V_0 \cos \omega t \quad (10)$$

Как видно из осциллограммы (рис. 2) и практического использования преобразователей виброконтрастного принципа измерения [4], магнитный поток Φ_M визуально не влияет на работу

колебательной системы и доминирующим является электромагнитный поток Φ_{ϑ} . Введя значения Φ_{ϑ} ,

$x, \frac{dx}{dt}, \frac{d^2x}{dt^2}$ в (3), получим:

$$\begin{aligned} & 4mA\omega^2 \sin^2(\omega t - \alpha - \beta) + 2h\omega A \cos 2(\omega t - \alpha - \beta) + \\ & + k[d + A \sin 2(\omega t - \alpha - \beta)] = \\ & = \frac{1}{2m_0 S_{\vartheta} \omega^2 W_{\vartheta}^2} (rI_{\vartheta} \cos(\omega t - \alpha) - V_0 \cos \omega t) \end{aligned} \quad (11)$$

В системе (9), (11) имеются четыре неизвестных α, β, A, d , для определения которых нужно иметь четыре уравнения – их мы получим, используя метод гармонического баланса, вытекающий из общего метода Ритца [5]. Мерой точности в этом случае считают насколько погрешность, называемая невязкой $\varepsilon(t)$, получаемая при подстановке приближенного решения в уравнение, приближается и остается близкой к нулю во всем исследуемом интервале. Поскольку решение данной системы периодическое, то таким интервалом является период $0 \leq z \leq 2\pi$. Ввиду ортогональности круговых тригонометрических функций из интегральных условий метода Ритца вытекает:

$$\int_0^{2\pi} \varepsilon(t) \sin z dz = 0, \quad (12)$$

$$\int_0^{2\pi} \varepsilon(t) \cos z dz = 0, \quad (13)$$

где $z = 2(\omega t - \alpha - \beta)$.

Рассмотрим тождество (11), где невязка

$$\begin{aligned} \varepsilon_1(t) &= 4mA\omega^2 \sin^2(\omega t - \alpha - \beta) + 2h\omega A \cos 2(\omega t - \alpha - \beta) + \\ & + k[d + A \sin 2(\omega t - \alpha - \beta)] - \\ & - \frac{1}{2m_0 S_{\vartheta} \omega^2 W_{\vartheta}^2} (rI_{\vartheta} \cos(\omega t - \alpha) - V_0 \cos \omega t) \end{aligned} \quad (14)$$

Введем $\varepsilon_1(t)$ в выражения (12), (13) и после соответствующих преобразований получим:

$$a_1 \sin 2\beta + a_2 \sin 2(\alpha + 2\beta) + a_3 \sin(\alpha + \beta) = 2(a_4 + a_5), \quad (15)$$

$$a_1 \cos 2\beta + a_2 \cos 2(\alpha + 2\beta) + a_3 \cos(\alpha + \beta) = -2a_6, \quad (16)$$

где $a_1 = \frac{r^2 I_{\vartheta}^2}{2m_0 S_{\vartheta} \omega^2 W_{\vartheta}^2}$, $a_2 = \frac{r I_{\vartheta} V_0}{m_0 S_{\vartheta} \omega^2 W_{\vartheta}^2}$, $a_3 = -\frac{V_0^2}{2m_0 S_{\vartheta} \omega^2 W_{\vartheta}^2}$, $a_4 = kA$,

$$a_5 = -4m \omega^2 A, \quad a_6 = -2h \omega A.$$

Для выражения (9) невязка:

$$\begin{aligned} \varepsilon_2(t) &= \omega m_0 S_{\vartheta} W_{\vartheta}^2 I_{\vartheta} \sin(\omega t - \alpha) - \{\delta - [d + A \sin 2(\omega t - \alpha - \beta)]\} * \\ & * [rI_{\vartheta} \cos(\omega t - \alpha) - V_0 \cos \omega t]. \end{aligned} \quad (17)$$

Введя ее в (12), (13), получим:

$$b_1 \cos 2\beta - 2b_2 \sin \alpha + b_3 \cos(\alpha + 2\beta) = -2b_4; \quad (18)$$

$$b_1 \sin 2\beta - 2b_2 \cos \alpha + b_3 \sin(\alpha + 2\beta) = 2b_5. \quad (19)$$

Совместное рассмотрение уравнений (15), (16), (18), (19) позволяет освободиться от фазовых углов α, β и связать максимальное отклонение колебательной системы A как показатель устойчивости с различными параметрами, зависящими от определенных технологических факторов, и выбрать конструктивные решения отдельных элементов вибропреобразователя:

$$A^2(16 m^2 \omega^2 - 8m \omega^2 k + k^2 + 4h^2 \omega^2) = \frac{z^4 I_3^4 + 2z^2 I_3^2 V_0^2 + V_0^4}{16m_0^2 S_3^2 \omega^4 W^4}, \quad (20)$$

$$A^2(V_0 - r^2 I_3^2) = 4\omega^2 m_0^2 S_3^2 W_3^4 I_3^4 + 4r^2(\delta - d)I_3^2 - 8\omega m_0 S_3 V_0 W_3^2 I_3(\delta - d) + 4V_0(\delta - d)^2 \quad (21)$$

Методика практического использования. Полученные соотношения (20), (21) представляют амплитудные уравнения. Анализ их с использованием автоматизированной информационно-измерительной системы на базе модулей для распределенных систем сбора данных и управления серии АДАМ-4000 фирмы Advantech с вводом информации в восьмиканальный модуль АДАМ-4018 позволил исследовать характерные зависимости электромеханической части прибора.

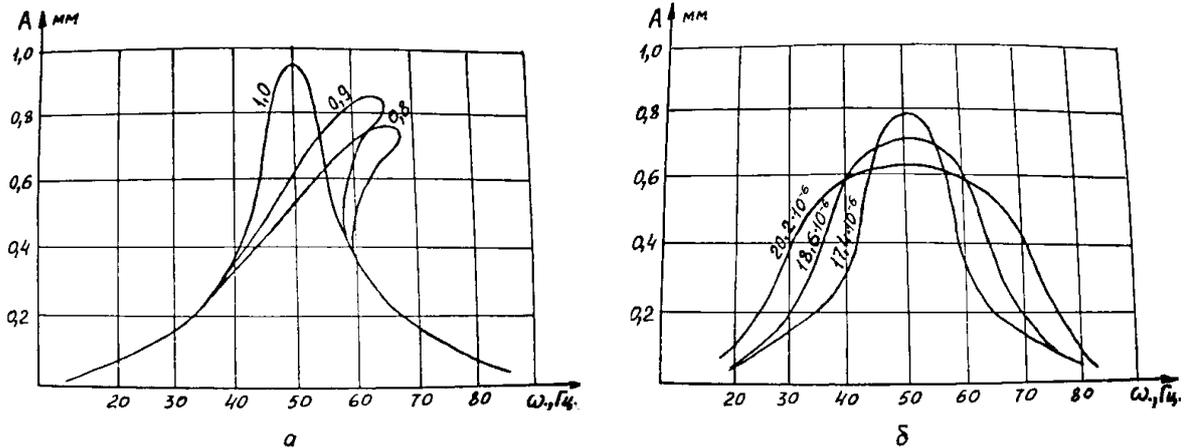


Рис. 3. Амплитудные кривые электромеханической части магнитодинамического вибропреобразователя: а – при изменении величины $(\delta-d)$; б – при изменении величины h

На рис. 3а представлены амплитудные кривые, построенные для различных зазоров $(\delta-d)$, зависящих от величины припуска на обработку. Как видно из графиков, возможен срыв колебаний частоты питающего тока в пределах 10–12%. Это можно предотвратить изменением коэффициента сопротивления h (рис. 3б). Зона устойчивости системы увеличивается с увеличением h . Однако при сильном увеличении коэффициента сопротивления у системы уменьшается возможность осуществлять контроль припусков свыше 1 мм. По построенным амплитудно-частотным характеристикам удобно определить влияние вибрации станка и частоты перемещения деталей под измерительным штоком на устойчивость измерительной системы.

С целью анализа точности выходного управляющего сигнала i_r была отработана программа решения системы уравнений (1), (2), (4) на ЭВМ [1]:

$$\ddot{\Phi}_3 = 10^{-2} \sin 2\pi ft - 1,23 \cdot 10^6 \delta \Phi_3 + 1,72 \cdot 10^4 x \Phi_3, \quad (22)$$

$$\dot{y} = \frac{1}{m} (k \dot{x} - kx + 1,56 \cdot 10^8 \Phi_3^2 + \frac{1,1 \cdot 10^{-5}}{(12,9 - 280x)^2}), \quad (23)$$

$$i_r = 3,097 \cdot 10^3 i_r + \frac{0,387}{(12,9 - 280x)} y \quad (24)$$

$$\frac{dt}{dt} = 1 \quad \text{– уравнение времени;} \quad (25)$$

где y – новая переменная, вызванная упрощенным вводом данных в машину.

Решение и анализ системы (22) – (25) позволили исследовать изменение управляющего сигнала i_r при воздействии на измерительное устройство различных технологических факторов: влияние ударов измерительного наконечника о кромки перемещающихся деталей, смазочно-охлаждающей жидкости, налипания на измерительный шток абразива, стружки, изменения рассеивания размеров деталей.

Выводы

1. Полученная система уравнений позволяет предварительно перед проектированием датчика исследовать влияние различных элементов конструкции на характер работы и надежность измерительной системы.

2. Предварительное (перед конструированием) исследование статического зазора δ позволило определить оптимальную его величину при действии технологических факторов (припуска, ударов, рассеивания размеров контролируемых деталей).

3. Используя математическое моделирование работы измерительной системы при влиянии станочных факторов (смазочно-охлаждающей жидкости, абразивной пыли, вибрации, стружки и т. д.), выявили слабые стороны системы и конструктивно, изменяя детали преобразователя, устранили недостатки.

4. Предварительные исследования электромеханической части системы и всего прибора в целом позволили повысить технологический запас точности в среднем на 30% (рис. 4) [6].

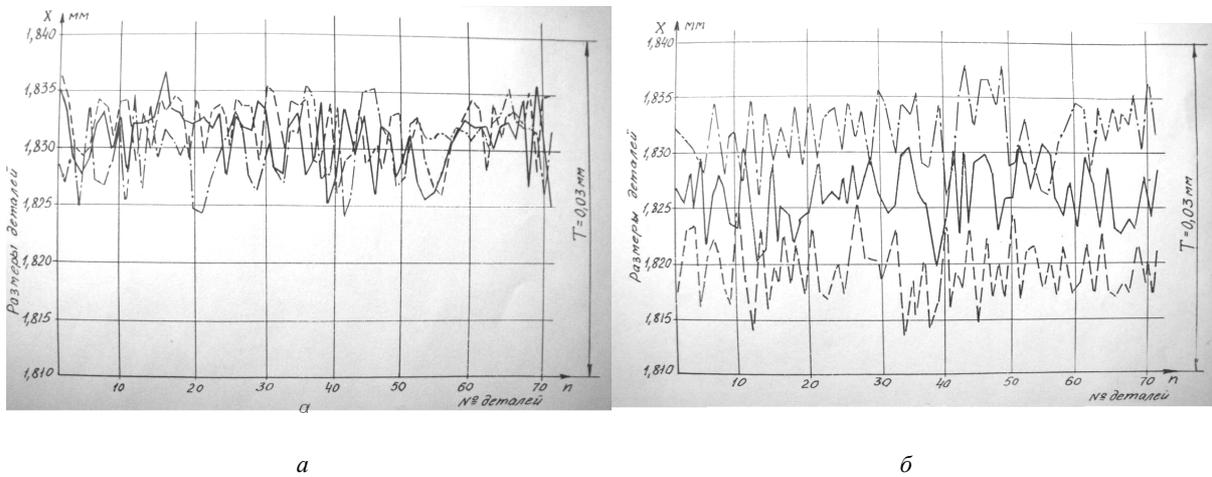


Рис. 4. Точечные диаграммы размеров партий: до использования (б) и при (а) использовании вибропреобразователя в автоподладчиках

5. На основе анализа математической модели и продолжительных исследований в процессе промышленной эксплуатации были разработаны конструкции новых магнитодинамических преобразователей и измерительно-управляющих приборов виброконтактного принципа измерения [7].

Литература

1. Тромпет Г.М. Исследование измерительно-управляющей станции на ЭВМ / Г.М. Тромпет // Межвуз. сб. «Методы и средства технического контроля в машиностроении и приборостроении» / Под ред. проф. В.В. Кондашевского, доц. А.И. Савича. – Омск. ОмПИ, 1982. – С. 160–162.
2. Тромпет Г.М. Динамическая устойчивость работы виброконтактных систем управляющего контроля на многофункциональных станках / Г.М. Тромпет // Вестник Курганского университета. Серия «Технические науки». – Вып. 2.4.1. – Курган: Изд-во Курган. гос. ун-та, 2006. – С. 119–121.

3. Каннингхэм В. Введение в теорию нелинейных систем / В. Каннингхэм. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 310 с.
4. Разработка и исследование измерительных устройств активного контроля для плоскошлифовальных и бесцентрово-шлифовальных станков по теме ТТ7-607-77. Прибор автоматического активного контроля к бесцентрово-шлифовальному станку ЛАК-9-УПИ: отчет о НИР УПИ им. С.М. Кирова; исполн.: Г.М.Тромпет. – Свердловск, 1980. № ГР78004234 // Сб. рефератов НИР и ОКР сер. «Машиностроение». – № 45. – 95 с.
5. Ананьев И.В. Колебания упругих систем в авиационных конструкциях и их демпфирование / И.В. Ананьев, П.Г.Тимофеев. – М.: Машиностроение, 1965. – 320 с.
6. Тромпет Г.М. Повышение точности активного контроля при бесцентровом шлифовании / Г.М. Тромпет // Машиностроитель. – 1985. – № 9. – С. 17–18.
7. Тромпет Г.М. Измерительно-информационная система для металлорежущих станков / Г.М. Тромпет // Конструирование и технология изготовления машин: Сб. науч. тр. – Екатеринбург: УГТУ, 2000. – С. 110–112.

УДК 621.746:669.35

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АНТИФРИКЦИОННЫХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЛАТУНЕЙ ДЛЯ АВТОТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

С.И. Фоминых, к. т. н., доц., УГТУ-УПИ

Аннотация

В работе рассматриваются вопросы совершенствования технологии изготовления деталей пар трения для гидроагрегатов из высокопрочной антифрикционной латуни.

Ключевые слова: антифрикционная латунь, гидроагрегат, биметалл, технология изготовления.

Keywords: antifriction brass, hydraulic unit, bimetal, manufacturing technology.

В современных тракторах, автомобилях и других сельскохозяйственных машинах много гидрофицированных агрегатов, коробок передач и других узлов. В ответственных узлах этих устройств применяются детали из антифрикционных медных сплавов – бронз и латуней. От их технического состояния во многом зависят надежность и эксплуатационные показатели техники. Одними из лучших антифрикционных материалов считаются оловянно-свинцовые бронзы, они имеют наиболее высокие антифрикционные свойства при больших удельных давлениях и скоростях. Но эти сплавы дорогие и недостаточно прочные.

Например, до настоящего времени остается актуальной задача повышения удельных энергетических показателей гидромашин, в том числе и аксиально-поршневых. Возможности повышения энергосиловых показателей ограничиваются характеристиками, свойствами конструкционных материалов. К материалам и конструкции таких деталей, как блок цилиндров, поршни, распределитель, предъявляются противоречивые требования. Это требования по высокой усталостной прочности, хорошей обрабатываемости, антифрикционным показателям, износостойкости.

Усталостная прочность ограничивает долговечность и энергетические показатели машины, определяемые в значительной степени рабочим давлением жидкости. С другой стороны, высокопрочные сплавы имеют плохую обрабатываемость, что важно при обработке отверстий в блоке цилиндров, и требуют подбора пары трения. Поэтому для автомобилетракторостроения, гидроаппаратостроения были разработаны и нашли широкое применение антифрикционные латуни (например, типа ЛМцАЖКС, ЛМцКНС, ЛМцКА и другие марки для изготовления деталей гидроаппаратуры, колец синхронизаторов коробок передач и других узлов трения). Опыт производства и эксплуатации изделий из кремнемарганцовистых антифрикционных латуней показывает, что в некоторых случаях они не в полной мере удовлетворяют техническим, технологическим и экономическим требованиям.

Во-первых, недостаточно высокие прочностные свойства в поперечном направлении горячепрессованного прутка не позволяют повысить энергосиловые показатели гидромашин. Например, блоки цилиндров аксиально-поршневых гидромашин с рабочим объемом 56 и 112 см³, изготовляемые из кремнемарганцовистых антифрикционных латуней, работают при номинальном давлении рабочей жидкости 20 МПа и максимальном – 35 МПа. При превышении максимального давления рабочей жидкости повышается вероятность выхода блока из строя. Самым уязвимым по усталостной прочности местом в таких деталях являются перемычки между цилиндрами, нагружаемые пульсирующим давлением рабочей жидкости.

Во-вторых, кремнемарганцовистые антифрикционные латуни обладают более высокими прочностными свойствами и дешевле свинцово-оловянных бронз, но не всегда превосходят их по антифрикционным свойствам при высоких удельных давлениях и скоростях, поэтому сферическую торцевую поверхность блоков приходится бронзировать. Наплавка бронзы на латунь повышает уровень внутренних напряжений в сплаве в наиболее нагруженной зоне блока и является причиной возникновения дополнительных неоднородностей в структуре сплава.

В-третьих, существующая технологическая схема получения изделий из кремнемарганцовистых антифрикционных латуней характеризуется низким выходом годного и коэффициентом использования металла.

Замена свинцово-оловянных бронз на кремнемарганцовистые антифрикционные латуни при изготовлении деталей гидроаппаратуры позволила существенно повысить ее технико-экономические показатели. Дальнейшее улучшение этих показателей возможно за счет уменьшения расхода цветных металлов, за счет сокращения количества переделов, за счет сокращения объема механической обработки.

В связи с этим представляет интерес получение заготовок литьем с кристаллизацией под давлением. Приложение давления является одним из эффективных методов физического воздействия на кристаллизующийся сплав. При этом возрастают прочностные показатели и плотность, сильно уменьшаются размеры структурных составляющих, повышается выход годного. Стоимость деталей из таких заготовок может быть существенно снижена, а применение армированных и биметаллических заготовок позволяет повысить энергосиловые показатели изделий.

При этом необходимо решить проблемы обеспечения образования металлической связи между сталью и антифрикционным медным сплавом, сохранить высокие механические свойства стальной обечайки. Первая задача состоит в защите поверхностей от окисления и в предотвращении выделения хрупких интерметаллидов по поверхности контакта кремнемарганцовистой антифрикционной латуни со сталью. Вторая проблема решается ограничением температуры нагрева стальной заготовки для сохранения мелкозернистой структуры стали при обеспечении ее усталостной прочности и сохранении свойств свинцово-оловянной бронзы после бронзирования.

Из ограниченного числа опубликованных данных об опытно-промышленном опробовании литья с кристаллизацией под давлением кремнемарганцовистых антифрикционных латуней известно, что литье с кристаллизацией под давлением таких латуней позволяет в некоторых случаях получать заготовки с достаточно высоким уровнем механических и других свойств и заменять ими отливки из более дорогих оловосодержащих сплавов или прессованные заготовки.

Блок цилиндров является одной из самых ответственных деталей аксиально-поршневой гидромашин. Материал детали должен обеспечивать высокие антифрикционные свойства, износостойкость, предел выносливости и временное сопротивление разрушению, высокую усталостную прочность, так как работает в условиях пульсации давления, больших контактных давлений и скоростей скольжения. В зависимости от назначения гидромашин и размеров блока для его изготовления могут использоваться различные материалы: стали, алюминиевые и медные сплавы. К массово выпускаемым гидромашинам для сельскохозяйственных, строительных, дорожных, коммунальных и других работ предъявляются все более повышенные требования по долговечности, материалоемкости, удельным энергосиловым параметрам, себестоимости, конкурентной способности.

Замена цельнометаллического бронзового блока на биметаллический бронзово-латунный позволила получить значительный экономический эффект и повысить технические характеристики гидромашин. Дальнейшее повышение энергосиловых показателей гидромашин сдерживается недостаточно высокой усталостной прочностью латунного блока в области перемычек между цилиндрами. Наиболее оптимальной с точки зрения предъявляемых к блоку требований по условиям нагружения при работе является конструкция со стальной основой (обечайкой), бронзированной сферической поверхностью и латунными цилиндрами со стальными перемычками между ними.

Вопросы бронзирования стальных заготовок достаточно изучены, и различные варианты нанесения антифрикционных покрытий из бронз широко применяются в промышленности. Но разработка технологии получения металлической связи в контакте конструкционная сталь – кремнемарганцовистая антифрикционная латунь по сложным поверхностям является актуальной.

При получении биметаллических отливок литьем с кристаллизацией под давлением было установлено, что на прочность соединения конструкционная сталь (45, 40Х, АЦ40Х2АФ) – антифрикционная латунь (ЛМцКНС 58-3-1,5-1,5-1) наиболее сильно влияет температура подогрева стальной части заготовки. Оптимальной температурой подогрева стальной части заготовок для получения максимальной прочности спая при сохранении механических свойств стали на достаточно высоком уровне оказалась температура около 950°С. Увеличение давления прессования повышает прочность латуни, но возможности его роста ограничены прочностью стали при нагреве до указанной температуры. Выдержка под давлением практически не оказывает влияния на прочность соединения.

Литература

1. Применение антифрикционных кремнемарганцовистых латуней взамен бронз / Гершман Г.Б., Котов В.В., Ткаченко В.А. и др. // Цветные металлы. – 1985. – № 11. – С. 64–66.
2. Подшивалов Р.Н., Храмов И.М., Фоминых С.И. Получение биметаллических деталей сталь – антифрикционный медный сплав литьем с кристаллизацией под давлением // Конструирование и технология изготовления машин. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 1995. – С. 109–110.
3. Свойства латуни ЛМцКНС 58-3-1,5-1,5-1 при литье с кристаллизацией под давлением и получение комбинированных заготовок для гидромашин / Поручиков Ю.П., Чухланцев С.Н., Титова А.Г., Фоминых С.И., Храмов И.М. // Сб. «Совершенствование литейных процессов». – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 1999. – С. 111–119.
4. Фоминых С.И. Изготовление блоков цилиндров аксиально-поршневых гидромашин литьем с кристаллизацией под давлением // Тез. докл. V Всеросс. науч.-техн. конф. «Проблемы и достижения автотракторного комплекса», 11 апреля 2007 г., Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 2007. – С. 102–105.