

3. Экономическая эффективность комплексного действия способа основной обработки почвы и применения удобрений на посевах ячменя

Способ обработки почвы	Урожайность*		Стоимость урожая		Общие затраты**		Рентабельность	
	ц/га	% к плужной	у. е./га	% к плужной	у. е. 1 ц зерна	% к плужной	%	% к плужной
Плужная	31,7	100	255,5	100	4,59	100	76	100
Чизелевание	30,3	96	244,2	96	4,20	92	92	121
Поверхностная	29,5	93	237,8	93	4,24	92	90	118

*) При внесении N₉₀P₆₀K₉₀;

**) На обработку почвы, применение удобрений, уборку и доработку зерна.

шаются в 3,9 - 5,5 раза.

Экономическая эффективность комплексного действия основной обработки почвы и применения удобрений (вариант N90P60K90) так же выше при чизелевании (121%) и поверхностной обработке почв (118%) в сравнении с вспашкой (табл. 3).

Таким образом, изложенные результаты исследований убедительно показывают, что коэффициенты энергетической эффективности комплексного действия способа обработки почвы и применяемых удобрений на вспашке, чизелевании и дисковании близкие между собой

(177, 173 и 171% при внесении N90P60K90 и 210, 211, 218% при внесении N60(40+20)P60K90). Эксплуатационные затраты в условных единицах в расчете на 1 га и на 1 ц зерна значительно ниже, а рентабельность выше (на 18 - 20%) при чизелевании и поверхностной обработке почвы в сравнении с вспашкой.

Учитывая вышеизложенное, считаем вполне обоснованным рекомендовать: осеннюю вспашку картофлянища заменить на чизелевание или дискование почвы. Это позволит без существенного снижения урожайности ячменя провести основную обработку почвы в более

сжатые сроки при меньших энергетических и финансовых затратах.

Литература

1. Бачило Н.Г., Симченков Г.В. и др. Эффективность отвальной и безотвальной систем основной обработки почвы в различных севооборотах. Научные труды БелНИИЗиК "Земледелие и растениеводство", вып. 37, 2000 г., с. 28 - 31.

2. Василюк Г.В., Богдевич И.М. и др. Методика определения энергетической эффективности применения минеральных, органических и известковых удобрений. БелНИИПА, Минск, 1996.

3. Нормативы трудовых и материальных затрат для бизнес-планирования и внедрения хозрасчета в сельскохозяйственных предприятиях. МСХиП РБ. "Ураджай", Минск, 1998.

4. Рациональные системы обработки почвы в интенсивном земледелии. (Рекомендации). БелНИИЗиК, Минск, 1992.

5. Севернев М.М. Энергосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве. Минск, "Ураджай", 1994.

УДК 631.312.6 - 631.4: 631.95

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЛАСТИНЧАТОГО ОТВАЛА

А.В. КЛОЧКОВ, д. т. н., профессор.; И.В. ДУБЕНЬ (БГСХА)

Качество почвообработки и расход топлива на ее проведение в значительной степени зависят от соответствия конструкции и параметров применяемых плужных корпусов физико-механическим свойствам почвы. При подготовке почвы к посеву или посадке сельскохозяйственных культур важное значение приобретает крошение пласта плужными корпусами при обеспечении требуемой заделки растительных остатков и выров-

ненности поверхности пашни. В этом отношении перспективным является применение пластинчатых отвалов, различные варианты которых получают в последнее время широкое распространение за рубежом. Если сплошной отвал традиционного корпуса выполняет в основном транспортирование пласта и оборот его в борозду, то пластинчатый отвал, благодаря наличию разделенных промежутками пластин, способен оказывать на пласт дополни-

тельное воздействие, интенсивность которого зависит от соотношения ширины пластин В и промежутков С между ними.

В большинстве зарубежных конструкций несплошных отвалов ограничение ширины промежутков до значений $C = 0,04 \dots 0,06$ м обусловлено стремлением предотвратить прохождение крупных комков почвы между пластинами и выход их на поверхность пашни. В то же время увеличение ширины промежутков способствует

сокращению площади контакта отвала с почвой и непродуктивных энергозатрат на трение. Целесообразность увеличения ширины промежутков подтверждена расчетами [1], согласно которым вероятность прохождения комков со средними размерами $84 \times 54 \times 35$ мм в промежутки шириной до 0,18 м не превышает значений 0,0019...0,024.

Исходя из тезиса о преимущественном значении агротехнических показателей вспашки, соотношение ширины пластин и промежутков может быть обосновано путем анализа напряженного состояния почвы, создаваемого отвалом в поперечном сечении пласта для развития его деформаций. Для теоретического обоснования рациональных значений относительной ширины пластин $\sigma = B/(B+C)$ используется модель почвы в виде несжимаемой анизотропной сцепленной среды, обладающей сцеплением c_0 и внутренним трением [2]. Условие разрушения почвы определяется теорией Кулона-Мора:

$$\tau \geq c_0 + \sigma \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$

где φ - угол внутреннего трения почвы, град.;

τ и σ - касательные и нормальные напряжения на выделенной элементарной площадке, Па.

Согласно теории предельного равновесия, воздействие элементов отвала на пласт приводит к образованию поперечного сечения пласта поверхностей скольжения, по которым происходят деформации сдвига после момента нарушения равновесия по условию (1) без изменения плотности почвы и дальнейшего увеличения напряжений. Условие предельного равновесия по Ренкину [3] на элементарной площадке dS с центром в произвольной точке $M(y, z)$, выраженное через напряжения (рис. 1), можно записать в виде:

$$\frac{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 4\tau_{yz}^2}{[(\sigma_z + \sigma_y) \sin \varphi + 2c_0 \cos \varphi]^2} = 1. \quad (2)$$

Выполнение этого условия со-

ответствует предельному напряженному состоянию и началу пластического течения почвы. Введем понятие критерия пластической деформации k_d , определяемого левой частью уравнения (2):

$$k_d = \frac{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 4\tau_{yz}^2}{[(\sigma_z + \sigma_y) \sin \varphi + 2c_0 \cos \varphi]^2}.$$

Чем больше в сечении пласта площадь элементарных площадок dS , для которых выполняется условие $k_d \geq 1$, тем лучшие условия создаются действующей нагрузкой и параметрами поперечного сечения не сплошного отвала для развития деформаций сдвига внутри почвенного пласта. Максимум суммарной площади элементарных площадок dS , для которых выполняется условие $k_d \geq 1$, названный площадью ядра деформации S_d , может служить критерием эффективности воздействия пластин отвала на пласт:

$$\sum dS(k_d \geq 1) = S_d \rightarrow \max \quad (3)$$

Выбор рациональных значений относительной ширины пластин σ предполагает определение критерия k_d на элементарных площадках поперечного сечения пласта и расчет площади S_d при заданных параметрах нагрузки. При относительном движении пласта вдоль пластин отвала нормальные σ_y, σ_z и касательное τ_{yz} напряжения на элементарных площадках dS можно считать обусловленными только нормальной составляющей P_n давления на пластину, так как касательная составляющая P_t , равная элементарной силе трения, направлена перпендикулярно плоскости поперечного сечения пласта и пластин.

В системе координат YOZ напряжения σ_y, σ_z и τ_{yz} определяли по формулам:

$$\begin{cases} \sigma_z = \sigma_n \cos^2 \alpha + \sigma_t \sin^2 \alpha + \tau_{tn} \sin 2\alpha; \\ \sigma_y = \sigma_n \sin^2 \alpha + \sigma_t \cos^2 \alpha - \tau_{tn} \sin 2\alpha; \\ \tau_{yz} = \frac{\sigma_t - \sigma_n}{2} \sin 2\alpha + \tau_{tn} \cos 2\alpha, \end{cases}$$

где α - угол постановки пластины к оси Y ;

σ_n, σ_t и τ_{tn} - напряжения в системе координат top , определяемые по методике И.И. Кандаурова [4], основанной на вероятностной модели распределения усилий между частицами среды с зернистой структурой:

$$\begin{cases} \sigma_n = \frac{P_n}{\sqrt{2\pi v} n_{M-B}^2} \int \exp\left(-\frac{(t_M - t_B)^2}{2v n_{M-B}^2}\right) dt_B; \\ \sigma_t = \frac{P_t}{\sqrt{2\pi v} n_{M-B}^2} \int (t_M - t_B)^2 \exp\left(-\frac{(t_M - t_B)^2}{2v n_{M-B}^2}\right) dt_B; \\ \tau_{tn} = \frac{P_t}{\sqrt{2\pi v} n_{M-B}^2} \int (t_M - t_B) \exp\left(-\frac{(t_M - t_B)^2}{2v n_{M-B}^2}\right) dt_B, \end{cases}$$

$v = 0,3$ - коэффициент бокового давления в зернистой среде, принятый на основе рекомендаций [4];

t_M и n_{M-B} - координаты точки M в системе координат top ;

t_B - координата точки нагружения на пластине;

dt_B - длина элементарного участка ширины пластины.

При воздействии на пласт N пластин отвала напряжения на элементарных площадках определяются суммированием составляющих, обусловленных воздействием отдельных пластин.

Сцепление c_0 и угол внутреннего трения φ почвы, характеризующие ее физико-механические свойства, приняты равными $c_0 = 10$ кПа и $\varphi = 35^\circ$ как средние для различных типов почв [5]. Размеры элементарных площадок dS приняты равными мм, количество пластин - 4 шт, среднее значение площади деформации определяли по двум средним пластинам. Условия нагружения почвенного пласта имеют объемный характер, так как сечение отвала в нормальной плоскости к относительным траекториям почвенных частиц характеризуется радиусом кривизны R_0 , значения которого могут составлять от 0,3 до 0,9 м в различных сечениях пластинчатых отвалов.

Моделирование напряженного состояния поперечного сечения пласта проводили на ЭВМ с

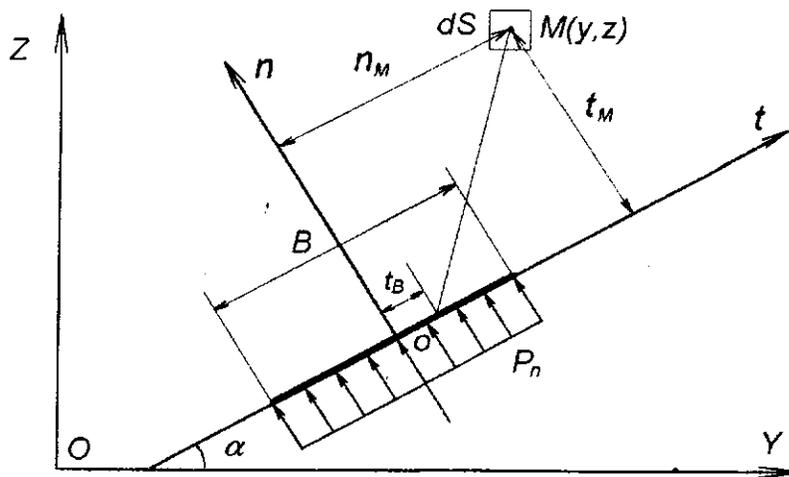


Рис. 1. Схема к расчету напряжений в произвольной точке M пласта при воздействии одной пластины.

использованием разработанной программы на языке Visual Basic. Для вывода результатов в графическом виде применен метод тоновой визуализации, при котором элементарным площадкам с большим значением критерия k_d соответствует более темная закрашка, белым цветом обозначены ядра пластической деформации. В результате установлено, что форма и площадь ядра S_d деформации зависят от относительной ширины пластин, нормального давления P_n и радиуса кривизны поперечного сечения отвала. Рациональное значение относительной ширины пластин σ_p из условия максимума площади ядра деформации по выражению (3) описывается регрессионной зависимостью ($r^2 = 0,958$):

$$\delta_p = \frac{0,04796}{R_0} + 0,3527 \ln P - 2,225 \cdot 10^3 P - 0,9476$$

Как показывает анализ выражения, отвалу с большей кривизной поперечного сечения ($R_0 = 0,3 \dots 0,5$ м) соответствуют значения $\sigma_p = 0,29 \dots 0,38$ в зависимости от давления P_n на пластины, что характерно для корпусов шириной захвата $0,20 \dots 0,25$ м. Для корпусов шириной захвата $0,35 \dots 0,50$ м ($R_0 = 0,6 \dots 0,9$ м) целесообразно увеличение относительной ширины пластин до $\sigma_p = 0,36 \dots 0,42$.

Результаты теоретических исследований подтвердились в лабо-

раторных опытах с учетом динамического характера взаимодействия отвала с почвенным пластом [6]. Нагружение двух пластинчатых деформаторов размерами $0,15 \times 0,05$ м при изменяемом промежутке между ними $C = 0 \dots 0,12$ м осуществлялось ударом падающего груза, удельная энергия нагружения составляла $E_{y0} = 0,4 \dots 0,8$ кДж/м². Плотность бесструктурной суглинистой почвы - $1030 \dots 1240$ кг/м³, абсолютная влажность - $7,3 \dots 21,0$ %.

В результате установлено, что удельные энергозатраты на вытеснение единицы объема почвы имеют максимум при ширине промежутка между пластинами $0,065$ м. Для снижения энергоемкости деформации почвы промежуток между пластинами должен составлять не менее $0,07$ м, что соответствует относительной ширине пластин $\sigma \geq 0,38$.

Аналогичные выводы позволило сделать исследование перемещения и деформации окрашенных горизонтальных слоев почвы. Для количественной оценки эффективности приложения нагрузки в изучаемом процессе использовали осредненные значения относительной деформации сжатия ϵ_{cp} и сдвига ϵ'_{cp} почвенных слоев на участке поперечного сечения почвенного массива размерами $0,16 \times 0,14$ м. Минимальные значения ϵ_{cp} и ϵ'_{cp} получены при отсутствии проме-

жутка между пластинами (рис 2). При увеличении C от $0,04$ до $0,08$ м наблюдается интенсивный рост деформации почвы, сопровождаемый разделением деформированной области, образуемой пластинами. При дальнейшем возрастании ширины C значения ϵ_{cp} и ϵ'_{cp} увеличиваются несущественно, энергоемкость деформации почвы снижается, что объясняется уменьшением взаимодействия пластин. Наиболее эффективное приложение нагрузки происходит при $C \geq 0,07$ м, средняя относительная деформация сдвига ϵ'_{cp} в исследуемой области поперечного сечения почвенного массива составляет около 90 % от максимального значения, соответствующего ширине промежутка $C = 0,12$ м. Таким образом, рациональное значение относительной ширины пластин ограничивается значением $\delta \leq 0,42$.

Проверку результатов теоретических и экспериментальных исследований проводили в полевых опытах. Был использован экспериментальный плужный корпус с пластинчатым отвалом, разработанный на базе серийного полувинтового корпуса ПЛП-01 производства Минского завода шестерен. Принципиальным отличием разработанного пластинчатого отвала от распространенных за рубежом подобных конструкций является цилиндрическая форма рабочей поверхности пластин с увеличенной кривизной, параметрами которой служат радиус R несущего цилиндра пластин и угол w подъема винтовых линий [7]. Интервал между пластинами составляет $B + C = 0,13$ м, поперечное сечение рабочей поверхности пластинчатого отвала в его средней зоне достаточно точно аппроксимируется дугой окружности радиусом $R_0 = 0,683$ м (отклонение координат точек не превышает $0,005$ м).

Исследования проведены на вспашке стерни яровых культур на глубину $0,20 \dots 0,22$ м при сред-

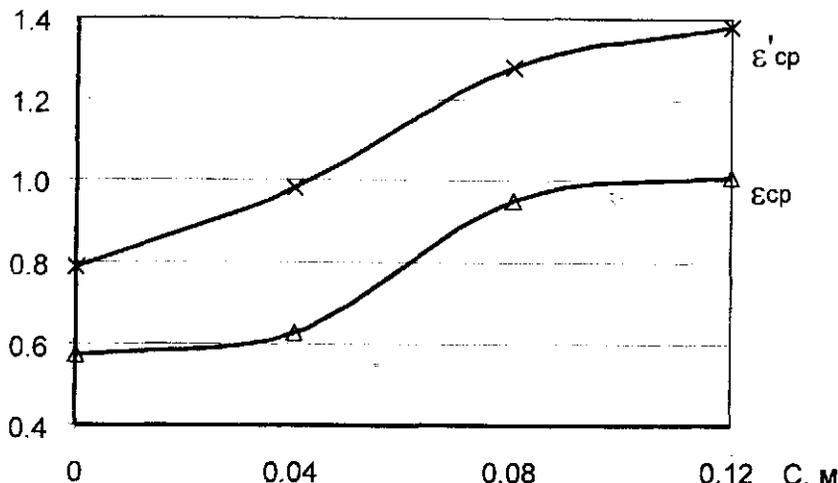


Рис. 2. Влияние промежутка C между пластинами на среднюю относительную деформацию сжатия и сдвига $\varepsilon'_{ср}$ элементов поперечного сечения почвенного массива.

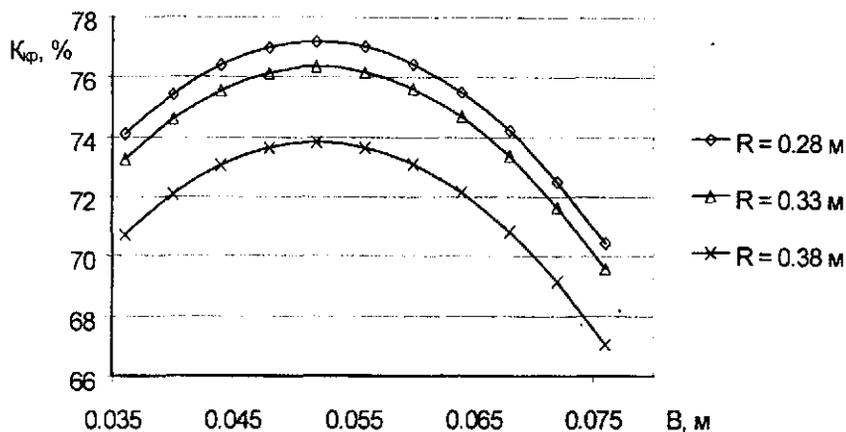


Рис. 3. Зависимость коэффициента крошения почвы $K_{кр}$ от ширины B пластин при интервале между пластинами отвала $B + C = 0,13$ м.

ней скорости пахотного агрегата 2,3 м/с. Средняя твердость суглинистой почвы составляла 2,58 МПа, абсолютная влажность - 19,5 %. По результатам опытов установлены зависимости коэффициентов крошения почвы $K_{кр}$ и глубистости $K_{гп}$ (процентное содержание по массе комков размером менее 0,05 м и более 0,15 м соответственно) от ряда геометрических параметров пластинчатого отвала. В результате установлено [8], что при различных значениях радиуса несущего цилиндра пластин R наилучшему крошению почвы ($K_{кр} > 77\%$) соответствует ширина пластин $B = 0,052$ м (рис. 3) и промежутков между ними $C = 0,078$ м.

Сравнение опытных значений относительной ширины пластин $\delta = 0,4$ при $B + C = 0,13$ м с рассчитанными по выражению (4) $\sigma_p = 0,38...0,41$ при $R_0 = 0,683$ м показывает достаточно высокую точность предложенного метода.

Приведенные размеры ширины пластин и промежутков между ними при радиусе несущего цилиндра $R = 0,28$ м, углах подъема винтовых линий $\omega = 10^\circ, 20^\circ$ и 35° (соответственно верхней, средней и нижней пластин отвала) и углах их постановки 22° к горизонтальному образующим сплошной груди обеспечивают повышение качества крошения почвы в среднем на 10,3 % и сни-

жение глубистости в 3,1 раза по сравнению с базовым корпусом ПЛП-01 с полувинтовым отвалом и углоснимом [8].

Разработанная методика обоснования ширины пластин и промежутков между ними может быть использована не только при проектировании пластинчатых отвалов различных типов.

Литература

1. Клочков А.В. Плужные пластинчатые отвалы нового типа // Тракторы и с.-х. машины. - 1990. - № 9. - С. 26-28.
2. Кушнарев А.С., Кочев В.И. Механико-технологические основы обработки почвы. - К.: Урожай, 1989. - 144 с.
3. Справочник по механике и динамике грунтов / В.Б. Швец, Л.К. Гинзбург, В.М. Голдштейн. - Киев, 1987. - 232 с.
4. Кандауров И.И. Механика зернистых сред и ее применение в строительстве - Л.: Стройиздат, 1988. - 280 с.
5. Бахтин П.У., Волоцкая В.И., Николаева И.Н. Физико-механические и технологические свойства основных типов почв Европейской части СССР // Материалы науч.-техн. совета ВИСХОМ. - М., 1968. - Вып. 25. - С. 74-86.
6. Дубень И.В. Моделирование взаимодействия с почвой пластинчатых деформаторов при их взаимном влиянии // Моделирование с.-х. процессов и машин: Тез. 2 респ. науч.-техн. конф. / БАТУ. - Мн, 1996. - С. 77.
7. Клочков А.В., Дубень И.В. Методика проектирования элементов пластинчатого отвала // Современные технологии в АПК: Тез. докл. науч.-техн. конф. - Мн, 1997. - С. 16.
8. Дубень И.В. Агротехнические показатели работы пластинчатых плужных корпусов // Повышение эффективности использования с.-х. техники: Материалы междунауч. науч.-практ. конф. / БСХА. - Горки, 1998. - С. 68-69.