

Введение

Природа ставит перед гражданами государства определённые задачи социального и экономического плана, что необходимо для нормальных условий жизни, его безопасной трудовой деятельности.

Трудовая составляющая жизни человека связана с приборами, машинами, различными инженерными конструкциями и сооружениями предназначенными для снижения затрат энергии труда. Поэтому он вынужден обеспечивать себя простейшими и более сложными механизмами, машинами, приборами автоматизации.

Для производства механизмов человек (конструктор) должен исследовать всё известное о механизмах до него и в настоящее время. Приобрести механизмы, которые с его точки зрения наиболее подходят для трудовой деятельности. Испытать их, применив к тем условиям, в которых он живёт. В испытаниях обязательно выявятся недостатки приобретённых механизмов через качество получаемой продукции, как результата его трудовой деятельности. Недостатки могут быть: в технике безопасности при эксплуатации приобретённых механизмов, в их экономичности и качестве получаемого продукта, в нарушении природных факторов (экология) и т.д. Выявив недостатки приобретённых механизмов, провести патентные исследования, выбрать прототип и запатентовать новый механизм, имеющий существенные отличия от всех изученных.

Сделать инженерный расчёт нового механизма на надёжность и экономичность и после этого разработать эскизную модель нового механизма, на основании чего изготовить экспериментальный образец, испытать его в своих природных условиях.

При достижении высокого качества работы нового механизма, можно приступить к его тиражированию.

Таким механизмом может быть плуг. Плуг – многокорпусное или однокорпусное сельскохозяйственное орудие, предназначенное для основной обработки почвы, заключающееся в обороте (отваливании) вырезаемого пласта. Корпус плуга состоит из стойки, к которой крепятся лемех и отвал, состоящий из груди и крыла, которое может иметь продолжение в виде съёмной пластины, называемой пером.

Оборот пласта.

Прежде чем перейти к характеристике отвальных поверхностей, рассмотрим фазы, какими определяется поперечный контур отвала. Они заложены в рабочем процессе, выполняемым плугом:

– отделение пласта в виде части почвенного слоя заданной глубины a и ширины b , оно выполняется лемехом (горизонтальное подрезание) и ножом, производящим продольно-вертикальный разрез;

– подъём пласта с поворачиванием его в сторону борозды, выполняемый грудью отвала;

– окончательное опрокидывание пласта в борозду выполняется крылом отвала и пером.

В зависимости от связности почвенного слоя, пласт, двигаясь по лемеху и по груди отвала, разрушается в большей или меньшей степени, что соответствует агротехническим требованиям на вспашку почвы. При малой степени связности раскрошенный пласт осыпается с груди отвала, а частицы почвы перемешиваются с удобрениями.

Поперечный контур отвала.

При сильной дернине и влажности почвы пласт вырезается плужным корпусом сплошной лентой и оборачивается на 180° растительностью вниз рис. 1., где $BKABC$ контур борозды, а $LMBKA$ – лобовой контур отвала.

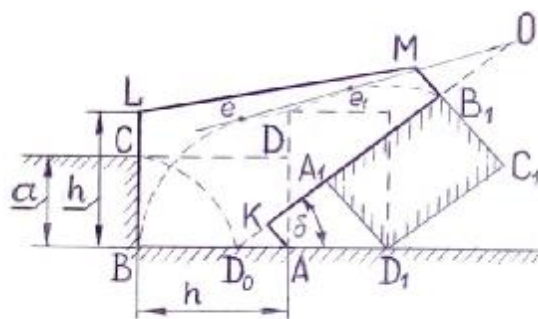


Рис. 1. – Приём построения лобового контура отвала

Очертание профиля борозды определяется заданными размерами поперечного сечения пласта, шириной $h = b$ и глубиной a . Профиль борозды отклоняется от предполагаемого очертания вследствие деформации пласта. Отклонения получаются значительными на слабых, старопашотных почвах и незначительными при обработке связных. Однако для выявления схемы перемещения пласта плугом условность в сохранении отваленным пластом своих первоначальных размеров необходима для установления геометрических соотношений при идеальном отваливании пласта [1,3].

Для правильного отваливания пласта необходимо, чтобы отвал свободно помещался в борозде, очерченной контуром поперечного сечения пласта. Профиль борозды определяется размерами поперечного сечения пласта, следовательно, и поперечный контур отвала, выполненный по профилю борозды, должен определяться теми же размерами пласта.

Из треугольника AID_0D_1 можно видеть, что $a = b \sin \delta$, следовательно, отношение $b/a = k = 1/\sin \delta$, или $\sin \delta = 1/k$.

Поперечный контур отвала в соответствии с профилем борозды очерчивается с четырёх сторон контурными линиями, называемыми обрезами:

- левый полевой обрез LB , обращён в сторону непаханого поля;
- нижний обрез AB , совпадающий с профильной линией дна борозды и являющийся проекцией лезвия лемеха;
- правый обрез DOB_1 , направленный по верхней грани отваленного пласта и наклонённый к дну борозды под углом δ , который определяется из соотношения $\sin \delta = 1/k$;
- верхний обрез LMB_1 , замыкающий контур отвала по линии, расположенной на достаточной высоте, чтобы исключалась возможность пересыпания почвы через отвал. Пользуясь профилем борозды, нетрудно построить левый, нижний и правый обрезы, при этом в зависимости от ширины лемеха правый обрез его соединяется с правым обрезом отвала KB_1 по некоторой кривой AK . Чтобы убедиться в недопустимости пересыпания почвы через верхний обрез отвала, проследим путь движения точки B по отвалу. Пласт сначала вращается около ребра A , а точка B будет перемещаться по отвалу по некоторой кривой, которая проектируется на поперечно-вертикальную плоскость в виде дуги окружности BA радиуса b . После достижения вертикального положения линией AB , точка D переместится в точку D_1 . Дальнейший поворот пласта происходит около ребра D_1 радиусом D_1B_1 . В точке B_1 пласт начнёт сходиться с отвала под собственным весом.

Касательная линия ee_1 , проведенная к обеим окружностям, отметит границу, до которой может доходить на отвале пласт. Чтобы исключить возможность пересыпания почвы через отвал, верхний обрез делается выше касательной линии ee_1 . Линия VL равна ширине пласта $b = h$ и граничной линией будет LM .

Проектирование поверхности отвала.

Рабочая поверхность косо поставленного клина в пространственных осях координат определяется тремя углами её наклона рис. 2. На горизонтальной координатной плоскости XOY отметится проекция лезвия клина AB , на плоскости XOZ – проекция полевого обреза AC , на плоскости YOZ – проекция линии BC к стенке борозды. Выберем направление движения клина по оси координат OX .

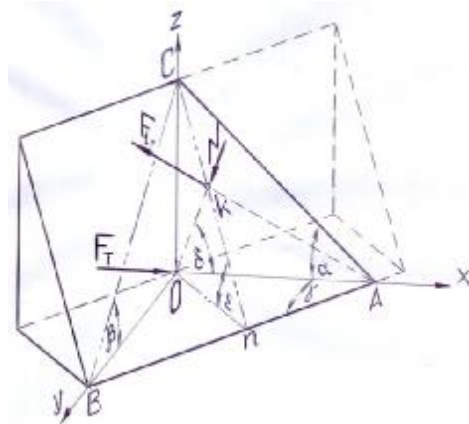


Рис. 2 – Косо поставленный клин в пространственных осях координат

При внедрении клина в почву происходит её деформация, в результате которой частицы почвы, находящиеся в точке O , переместятся по нормали Ok к плоскости клина в точку k . Клин за это время передвинется на расстояние OA . Нормальное давление N почвы на рабочую плоскость клина в точке k будет направлено по линии Ok . Сила трения почвы о поверхность клина определится из выражения $F_{tr} = N \operatorname{tg} \varphi$ и будет направлена по линии Ak , так как перемещение рассматриваемой частицы на плоскости ABC при движении будет происходить по этой линии.

Обозначим угол между линией полевого обреза AC клина и координатной осью OX через α . Двугранный угол ε , измеряемый линейным углом knO между линиями On и nk , перпендикулярными к лезвию клина AB . Угол δ наклона силы N к оси OX , соответствующий углу наклона поперечного сечения пласта к дну борозды в данный момент. Следовательно, плоский рабочий клин определится углом $90^\circ - \delta$, с учётом трения – углом $90^\circ - \delta + \varphi$, поэтому

$$F_T = \frac{N}{\cos(\varphi)} \sin(90^\circ - \delta + \varphi),$$

где F_T – сила тяги клина.

Принимая во внимание, что $90^\circ - \delta < \alpha$, будем иметь отношение

$$\frac{F_T}{F} = \frac{\sin(90^\circ - \delta + \varphi)}{\sin(\alpha + \varphi)} < 1$$

$$F_T < F$$

при

$$\alpha + \varphi \leq \frac{\pi}{2}$$

Отсюда, перемещение косо поставленного клина требует меньше затрат энергии, чем клин, у которого угол $\gamma = 90^\circ$, если учитывать трение. Косо поставленный клин плоскостями координат пересекается на три простых клина: в плоскости ZOX , с углом наклона α поднимает пласт; клин, расположенный в плоскости YOZ , с углом наклона β поворачивает пласт; клин с углом γ , расположенный в плоскости XOY , сталкивает пласт в борозду. Из анализа представленных зависимостей следует, что при постоянстве угла β опрокидывания пласта не произойдёт, поэтому угол β_{\max} дополняет до 180° угол δ наклона отваленного пласта, то есть $\beta_{\max} = 180 - \delta$.

В случае отношения $k=1,5$, угол $\delta=42^\circ$ и угол β должен быть доведен до $\beta_{max}=180-42=138^\circ$.

Из этого следует, что для оборачивания пласта необходим такой сложный клин, у которого поперечный угол β непрерывно изменяется, увеличиваясь от $\beta=0$ до $\beta=\beta_{max}$.

Удовлетворяет этому условию клин, рабочая поверхность которого является криволинейной.

Таким образом, криволинейная поверхность отвала представляет собой дальнейшее развитие трёхгранного клина, в котором происходит изменение всех трёх плоских элементов клиньев по величине углов α , β , γ . Степень и характер развития каждого из этих углов определяют форму поверхности, которая пригодна для обработки различных по механическим свойствам почв.

Поверхность, которая должна удовлетворять поставленным требованиям – винтовая поверхность. Трёхгранный клин ABC с этими начальными параметрами углов и постепенным перемещением образующей $B'O$ развивается в винтовую поверхность (рис. 3.). Движение прямой образующей $B'O$, которое определяется равномерным скольжением её конца B' по прямой линии $B'B$ и одновременным равномерным вращением около неё, то поверхность, описанная в пространстве образующей, будет винтовая поверхность, представляющую собой геликоид. По геликоидальной форме изготовить отвал невозможно, так как пласт после поворота на 90° , будет поворачиваться уже около другой оси, опираясь в борозде другим ребром. Поэтому образующая $B'O$ вращается около линии $B'B$ до тех пор, пока не займёт вертикальное положение. Дальнейшее вращение будет происходить около прямой DD' , параллельной BB' и отстоящей от неё на расстоянии a .

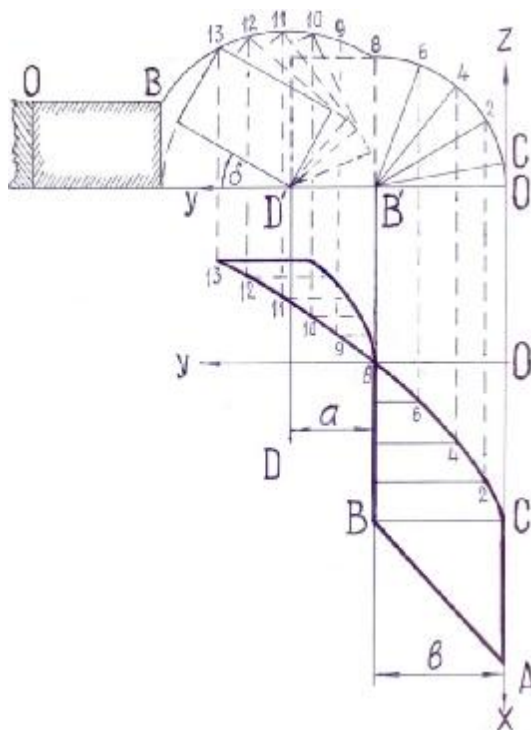


Рис. 3. – Винтовая комбинированная поверхность

На рис. 3. представлена такая сложная винтовая поверхность, состоящая из двух поверхностей, причём изображение положений образующей $B'O$ представлено в двух координатных плоскостях – горизонтальной и вертикальной. Одинаковые цифры отмечают одну и ту же образующую в них. Положение $B'8$ является границей, где винтовая поверхность, образованная по закону вращения $B'O$ около линии BB' , переходит в винтовую поверхность, образованную вращением той же образующей около другой линии DD' .

Проектирование лемеха, груди и крыла отвала.

Для проектирования отвала необходимо располагать следующими данными: глубиной пахоты a ; шириной захвата b ; постановкой лемеха, груди и крыла отвала.

Постановка лемеха определяется наклоном его к дну борозды (угол ε рис. 2.) и расположением лезвия к вертикальной стенке борозды (угол γ).

Оба угла – ε и γ определяют угол α продольно-вертикального клина, так как углы связаны следующим соотношением: $OC = O \cdot \tan \varepsilon = OA \cdot \tan \alpha$ и $On = O \cdot \sin \gamma$, следовательно, $\tan \alpha = \tan \varepsilon \sin \gamma$.

При малом угле ε наклона лемехе к дну борозды и при остром угле γ (малом угле $OA \cdot n$) носок лемеха будет тонким и непрочным. На этом основании угол ε выбирается в пределах: $\varepsilon = 22 \dots 300$.

Выбор угла $\gamma_0 = \gamma$ должен быть согласован с постановкой груди отвала и в практике форм отвалов угол γ_0 не выходит из пределов $300 < \gamma_0 < 500$.

Наиболее применяемыми размерами угла γ_0 , в зависимости от типа отвала (цилиндрический, культурный, винтовой), являются 450, 400, 350 соответственно.

Постановка груди отвала. Грудь отвала соединяется с лемехом и является его продолжением. Это средняя часть отвала, воспринимающая самую большую нагрузку и сильно изнашиваемую (рис. 3.). Чтобы поверхность отвала не получалась выпуклой, постановка груди должна быть круче, чем у лемеха. Следует при проектировании учитывать, что чрезмерная крутизна затрудняет подъём пласта и сползание его в сторону. Чтобы облегчить сползание пласта в сторону в нижней части отвала, наклон груди к стенке борозды делается на 1,5...2,00 меньше, чем у лемеха.

Постановка крыла определяется его положением относительно отваленного пласта. Чтобы край правого обреза, проходя мимо отваленного пласта, приглаживал его, а не задирает, необходимо, чтобы угол между плоскостью отваленного пласта и касательной плоскостью, проведенной к отвалу по правому обреза, не превышал 90°.

При взаимодействии рабочих органов сельскохозяйственных машин с почвой, в которой возникают напряжения, значительно превышающие упругие, которые достигают наибольших величин в области пластических деформаций. При этом почва разрушается с полной потерей структурной прочности и отделением (сколом) некоторого объёма от массива.

Оценка разрушения грунта с позиции теории упругости не применима для описания процесса разрушения почвы при обработке плугами. Однако есть и общие положения. Так, независимо от степени деформирования среды, при любом сложнапряжённом состоянии, разрушение может происходить только от растяжения для хрупких тел (скованная льдом почва) и от сдвига – для пластичных тел (почва при плюсовой температуре). Все связные почвы являются пластичной средой, разрушаемой от касательных напряжений τ сдвига. Параметрами сдвига, определяющими прочность почвы, являются удельная сила сцепления C_0 и угол внутреннего трения φ , которые входят в формулу Кулона $C_0 + \sigma \tan \varphi$, где σ – нормальные напряжения.

Почвообрабатывающие машины – плуги, разрабатывают как связные, так и несвязные почвы методом резания, изгиба и кручения пласта.

Физико-механические свойства почвы .

В инженерной механике основными механическими свойствами почвы являются следующие [2]

Вес. Это свойство характеризуется удельным (плотностью) и объёмным весом. Удельный вес почвы находится в границах, от 2,4 до 2,8 т/м³; исключение – торфяная почва, удельный вес которой составляет от 1,25 до 1,5 т/м³. Объёмный вес в рыхлом и слежавшемся состоянии от 1,5 до 2,0 т/м³ [3]

Практически все разновидности образований литосферы (относительно верхней твёрдой оболочки земного шара) является результатом физического и химического взаимодействия различных агрегатов, как резкие колебания температуры, ветра, изменение условий давления, деятельности воды, можно выделить три класса грунтов:

– скальные грунты (граниты, базальты, кварцы, мраморы, известняки, песчаники), характеризующиеся высокой прочностью связей между зёрнами или их агрегатами;

– песчано-глинистые грунты, представляют собой большую группу литологических разновидностей пород (пески, супеси, суглинки и глины). К ним, определяемым по крупности числу пластичности;

– почвы представляют собой поверхностно лежащий слой, представляющий минерально-органические образования, являющиеся результатом совместного влияния жизнедеятельности и распада микроорганизмов, под влиянием температуры, климата и рельефа местности.

Машины, применяемые только для обработки почвы, по-разному воздействуют на неё. Задачей рабочих органов при обработке почвы является разрыхление массива согласно агротехническим требованиям, замедление роста или полного уничтожения сорной растительности.

Поэтому знание основных физических и механических характеристик почвы позволяют правильно выбрать и сделать расчёт инженерной конструкции на надёжность (прочность, жёсткость и устойчивость рабочих органов) и экономическую эффективность.

Физические свойства почв, влияющие на их прочностное состояние. Почва состоит из основных фаз: твёрдой (минеральные частицы, образующие скелет), жидкой (вода, частично или полностью заполняющая поры), живые организмы (от микро- до относительно больших величин), волокна растений (существенно влияющие на прочностные качества почвы), камни принесенные при таянии ледника. В целом, почва представляет собой гигроскопическое тело, поглощающее воду из паров воздуха.

Основными составляющими элементами почвы являются песок и глина. Пески образуются путём механического разрушения коренных горных пород, а глины – продукт их химико-механического разрушения. Песок является мало связным, водно- и воздухопроницаемым, мало деформируемым, непластичным, который при высыхании не уменьшается в объёме и легко размывается. Глины отличаются противоположными, перечисленным для песков, свойствами. Почвы смешанного происхождения – супеси и суглинки.

Частицы почвы, размер которых находится между песчаными и глинистыми, образуют пылеватые почвы. Частицы пылеватой почвы характеризуются размером и другими, присущими только им, свойствами. Пылеватые почвы при увлажнении переходят в состав пльвунов, легко деформируются и резко снижают прочность. Частицы, входящие в состав почвы, классифицируются по их крупности (таблица).

Таблица 1. Классификация частиц, оставляющих минеральный скелет почвы

Частицы	галька, щебень	гравий	песчаная	пылеватая	глинистая
Размер, мм	более 20	20...2	2...0,05	0,05...0,005	менее 0,005

Все качественные размеры почв, включая прочностные свойства, помимо различия в размерах и форме частиц, определяются также объёмом пор, влажностью, температурой.

Ориентировочное представление о типе почвы можно получить по количеству содержащихся в ней глинистых фракций (таблица 2).

Таблица 2. Классификация почв по содержанию глинистых фракций

Почва	глина	суглинок	супесь	песок
Частицы, % *	более 30	30...10	10...3	менее 3

Примечание: * Содержание частиц мельче 0,0005 см, в % по массе

Пористость. Отношение объёма пор к общему объёму почвы $v=V_1/V_p$, где V_1 – объём пор; V_p – общий объём почвы, объём, занятый частицами.

Величина v может быть целым или дробным числом. Если $v=1$, то 50% объёма занято порами и 50% – частицами почвы. Для песка $v \leq 1$, для глины $v \leq 16$.

Объёмная масса. Объёмная масса почвы в залежи составляет 1,5...2,0 т/м³ в зависимости от минералогического состава, пористости, влажности и состава естественных растительных остатков. Это удельная величина γ_g при естественной влажности, равная весу объёма почвы F_g , делённому на величину этого объёма V почвы: $\gamma_g=F_g/V$.

Объёмную массу почвы важно знать при определении её рыхлости при деформировании (разрушении).

Рыхлость. Свойство обрабатываемой почвы увеличиваться в объёме при постоянстве её массы. Различают объём почвы в залежи и объём, который занимает та же масса после деформирования. Коэффициент рыхлости k_r , характеризующий отношение эти двух объёмов, больше единицы и изменяется от 1,08 до 1,35, меньший соответствует песчаным, больший – глинистым почвам. С течением времени рыхлая почва слёживается (уплотняется) и сохраняет только некоторую остаточную рыхлость. Величина остаточного коэффициента будет $k_i=1,01\dots 1,15$.

Объёмная масса скелета почвы. Объёмная масса скелета почвы Δ используется при определении степени уплотнения почвы инженерными конструкциями и определяется: $\Delta=\gamma_g/(1+\omega/100)$, где ω – влажность почвы.

Липкость. Липкость – причина дополнительного сопротивления резанию почвы рабочим органом, которая рассчитывается по формуле $F_L=\rho_L A$, где F_L – сила прилипания, равная N ; ρ_L – среднее удельное прилипание, глина 7...8, суглинки 5...7, супеси менее $5kN/m^2$; A – площадь контакта почвы с рабочим органом, m^2 .

Коэффициент трения почвы о сталь и почвы о почву. Величина коэффициента трения имеет существенное значение при воздействии рабочих органов машин и орудий на почву. При внедрении корпуса плуга в почву и движении его в борозде и движении пласта почвы по отвалу возникает сопротивление, равное $N \operatorname{tg} \delta$ где N – сила, направленная нормально к плоскости отвала; δ – угол трения почвы о сталь.

При переходе с лемеха на грудь отвала происходит деформация пласта, в результате которой часть почвы отсоединяется от общего массива и движется по плоскости скола. Перед грудью отвала возникает дополнительное сопротивление $N' \operatorname{tg} \rho$, где N' – вес сколотой части почвы; ρ – угол внешнего трения разрыхленной почвы или связной почвы при закручивании.

Угол внутреннего трения β является параметром разрушения почвы и входит во все аналитические формулы при определении усилий рыхления почвы.

Значения тангенсов углов β , ρ , δ при взаимодействии корпуса плуга с различными типами почв приведены в таблице 3.

Таблица 3. Значение тангенсов углов трения для почв

Почва	$\operatorname{tg} \beta$	$\operatorname{tg} \delta$	$\operatorname{tg} \rho$
песок, супесь	0,6...0,75	0,45...0,5	0,8...0,5
суглинок	0,75...0,85	0,5...0,6	0,55...0,4
глина	0,85...0,95	0,6...0,7	0,42...0,25

Влажность. Влажность определяется количеством воды в порах. В зависимости от количества воды в них почва изменяет свои свойства. С увеличением влажности связных почв коэффициент трения и сцепления снижается. Влажность ω в процентах определяется отношением массы влажной почвы к массе твёрдой среды – массовая влажность почвы $\omega=(mv-ms)100/ms$.

где mv – масса влажной почвы (проба); ms – масса сухой почвы.

Степень влажности почвы ω_g определяется $\omega_g = V_\omega / V_p$, где V_ω – объём воды в порах; V_p – объём пор.

Существует несколько порогов влажности: парообразная, гигроскопическая, плёночная, капиллярная, гравитационная.

Гигроскопическая вода обладает высокой степень вязкости, её плотность превышает единицу.

При капиллярной влажности все почвы резко снижают свою прочность, то есть способность сопротивляться воздействию внешних сил. Капиллярное давление для мелкодисперсных почв достигает $3kN/cm^2$.

Пределы видов влажностей для всех почв по А.Н.Зеленину в таблице 4.

Таблица 4. Пределы изменения видов влажности ω_g для типов почв [2]

Почва	гигроскопическая	плёночная	молекулярная	капиллярная	естественная
песок	1,0...2,0	2,5...5,0	5...6	7...8	7...10
супесь	2...6	6...8	8...12	12...15	10...15
суглинок	6...8	8...12	12...15	15...20	15...25
глина	8...12	12...15	15...20	20...30	25...35

Теоретический расчёт.

Среди современных задач механики деформируемого твёрдого тела и механики контактного взаимодействия его с другим твёрдым телом нет решений. Тем более, если одно твёрдое тело имеет механические характеристики, существенно отличающиеся от другого по их величине. Важнейшей задачей является расчёт инженерной конструкции при совместном влиянии одного тела на другое в период их контакта. При этом контакт происходит в движении одного тела относительно другого, то есть нагрузка состоит из нормальной силы и силы трения. Решение задачи может быть в определении напряжённо-деформируемой системы или неконтактное деформирование одного из элементов системы.

Характерным примером такой системы является взаимодействие корпуса плуга с почвой. В нашем случае почва рассматривается как деформируемое твёрдое тело. Физический аспект процесса упруго-пластической деформации заключается в том, что явление упругости вызывается силами меж структурной (плёночной, зависящей от влажности почвы) взаимосвязи, которая возвращает структуру в положение равновесия при снятии внешней силы, вызвавшей смещение на элементарную величину dx . Меж структурная сила F , возвращающая структурное равновесие, совершает работу с одновременным уменьшением потенциальной энергии W .

По закону сохранения энергии $Fdx = -dW$, откуда имеем $F = -dW/dx$.

Продифференцировав эту зависимость по x , получим $dF/dx = -d^2W/dx^2$. Если рассматривать силу и энергию как удельные (отнесённые к единице объёма) силу и энергию, то отношение dF/dx будет представлять модуль упругости E . Следовательно, $dF/dx = E = d^2W/dx^2$, то есть модуль упругости равен второй производной потенциальной энергии вдоль меж структурного промежутка (толщины плёнки). Отсюда следует, что модуль упругости E имеет прямое отношение к межструктурным связям твёрдого тела и является мерой сопротивления деформированию.

Закономерность изменения силы тяги плуга с изменением условий его работы должна вытекать из общей и точной теории, объединяющей сложный процесс, выполняемый пахотными орудиями.

Существующие эмпирические приёмы, не отражающие физической сущности связей между действующими факторами контактирующих тел.

Академиком В.П.Горячкиным [3] в результате теоретических и опытных исследований выведена зависимость тягового сопротивления плуга при деформировании почвенного пласта. В этой зависимости общее сопротивление плуга разделено на три составляющие части.

1. При работе плуга всегда имеет место сопротивление, не зависящее ни от глубины a пахоты, ни от скорости его движения. Это сопротивление, вызванное трением вращающихся колёс на опорах и о дно борозды, полевой доски и лемеха о стенки борозды др. Каждое их сопротивлений пропорционально нагрузке (вес плуга) и общее, отнесённое к весу плуга, можно выразить зависимостью: $F_1 = fG$, где f – общий коэффициент трения.

Сопротивление F_1 не связано с полезной работой плуга, сопутствующее.

2. Сопротивление, обусловленное деформацией почвенного пласта, величина которой пропорциональна площади поперечного пласта $F_2 = kab$, где k – коэффициент, характеризующий способность почвы сопротивляться деформации, kg/m^2 ; b – ширина пласта.

3. Сопротивление, оборачиванию пласта и придание структурным элементам поступательной скорости. Если выразить ежесекундное поступление массы m' почвы через размеры пласта и поступательную скорость v плуга, то $m' = \delta abv$, где $\delta = \gamma/g$ – плотность почвы; γ – удельный вес.

Сила, возникающая от кручения пласта сообщает элементам почвы скорость v' , определится величиной $m'v'$. Скорость v' , сообщаемая структурным элементам,

пропорциональна скорости v движения плуга, поэтому, полагая $v'=\varepsilon'v$ и учитывая значение величины m' , получаем величину $F_3=\varepsilon'\gamma abv^2/g$. Заменяв $\varepsilon'\gamma/g$ на ε , получим $F_3=\varepsilon abv^2$, где ε – коэффициент, учитывающий форму отвала и физические свойства почвы, имеет размерность кгс²/м⁴.

Формула для расчёта тягового усилия будет

$$F = fG + kab + \varepsilon abv^2 \quad (1)$$

Так как взаимодействие корпуса плуга с пластом почвы происходит контактным способом, при этом происходит закручивание пласта, к которому применим первый закон механики (Ньютона). Согласно которому, импульс сил инерции структурных элементов Ft равен количеству движения mv . Контактная сила F , сообщающая переменной массе m ускорение dv/dt , поэтому

$$F = d(mv)/dt = mdv/dt + vdm/dt \quad (2)$$

В этом выражении первое слагаемое определяет затрату усилия постоянной массе m некоторое ускорение dv/dt , а второе – затрату усилия на сообщение постоянной скорости v некоторому количеству массы, поступающей на отвал в единицу времени dm/dt .

Из вышеприведенного, $dm/dt=m'=\delta abv=\gamma abv/g$, второе слагаемое в формуле (2) можно представить в виде $vdm/dt=\gamma abv^2/g$.

Следовательно,

$$F = mdv/dt + \gamma abv^2 / g \quad (3)$$

Сопоставляя зависимости (3) и (1), видим, что первый член mdv/dt соответствует категориям сопротивления плуга, которые не зависят от скорости ($fG+kab$), а второй член $\gamma abv^2/g$ совпадает с расходом силы тяги на кручение пласта почвы и отваливания его в сторону.

Если величина F тягового усилия медленно возрастает с повышением скорости плуга, то мощность, расходуемая на работу плуга, быстро возрастает с увеличением скорости.

Зависимость мощности от скорости выражается кубическим уравнением $W=Fv/736=(fGv+kabv)/736+\varepsilon abv^3/736$ Вт, а кривая зависимости представляет параболу третьего порядка. Передача мощности почве или от почвы отвалу происходит в результате изменения момента количества движения $m'v'$ почвы при проходе по винтовой поверхности.

С повышением линейной и угловой скорости сопротивление пластическому деформированию σ_{pl} растёт на всех этапах зависимости $\sigma(\varepsilon)$, при этом σ_r растёт быстрее, чем σ_b .

Заключение

Физический аспект процесса упругой деформации заключается в том, что явление упругости вызывается внешними силами, действующих на сцепление структурных элементов почвы, которое возвращает в равновесное положение структуру при снятии внешней силы, вызвавшей их смещение.

В процессе работы плуга происходит контактное взаимодействие двух твёрдых тел с разными механическими характеристиками свойств, но одинаковой внешней силой (энергией), затраченной на выполнение работы.

Приведен расчёт мощности контактного взаимодействия двух физических твёрдых тел, при заданных параметрах одного.

Теоретический расчёт сопротивления деформации физического тела будет приведен в следующей статье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Механизация защиты почв от водной эрозии в нечернозёмной полосе. Под редакцией д.т.н., профессора А.Т. Вагина. – Л.: «Колос». – 1977. – С.278.
2. Зеленин А.Н. и др. Машины для земляных работ. // А.Н. Зеленин, В.И. Баловнев, И.П. Керров. – М.: «Машстрой». – 1975. – С.422.
3. В.П. Горячкин. Собрание сочинений. Под редакцией д.с.-х.н., профессора Н.Д. Лучинского. – Т. 2, изд. 2. – М.: «Колос». – 1968. – С.456.
4. Мороз Л.С. Механика и физика деформаций и разрушения материалов. // Л.С. Мороз. – Л.: «Машстрой». – 1984. – С.224.

УДК 629.12.011.-192

Хмелев А.А., Реут Л.Е., Сидоров В.А.

ОЦЕНКА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ЛОКАЛЬНО ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЗОН КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Разработан неразрушающий метод оценки трещиностойкости пластически деформированных зон конструкций путем измерения их максимальной твердости и сопоставления результатов измерения с твердостью стали в состоянии поставки и на поверхности разрушения.

Возникновение локальных пластически деформированных зон в инженерных конструкциях связано с целым рядом причин и может быть вызвано как технологическими методами предварительной обработки металлов, такими, как холодная гибка и сварка, так и условиями работы конструкции в процессе ее функционирования. Зарождение очагов таких областей возможно еще на стадии изготовления и сборки конструкции, а дальнейшая ее эксплуатация может привести к увеличению их размеров, разрастанию зон пластического повреждения и, как следствие, к опасности разрушения. Исследования показывают, что уровень пластической деформации металла ϵ_{np} в локально деформированных зонах часто достигает предельных для материала значений и приводит к образованию внутренних, не выходящих на поверхность, трещин, которые ослабляют элемент изнутри и являются потенциально опасными при дальнейшей эксплуатации конструкции. Каковы бы ни были причины возникновения этих зон, они обладают повышенной опасностью трещинообразования, а значит, требуют к себе особого внимания и необходимости постоянного контроля за текущим состоянием объекта.

Результаты исследования локально деформированных зон в конструкциях грузоподъемных сооружений, подкрановых балок, трубопроводов и сосудов высокого давления показывают, что в областях, подверженных локальному пластическому повреждению, твердость материала значительно выше твердости исходного металла и трещины в указанных зонах возникают и распространяются именно по точкам, имеющим максимальную твердость. Обнаружение таких точек позволяет установить потенциальные области образования трещин и это открывает возможность нового способа диагностирования, основанного на измерении твердости исследуемых зон и позволяющего осуществлять контроль качества и состояния объекта. При этом, техническая реализация способа крайне проста и доступна. Учитывая, что в локально деформированных зонах изменение твердости имеет пиковый характер с шириной пика порядка 1–2 мм, для указанных исследований – и текущих, и аварийных – удобным является применение портативных приборов ТПЦ–4, которые способны производить замеры твердости между точками именно на таких малых расстояниях.