

Влияние геометрических параметров почвообрабатывающих деталей на степень деформации почвы

Т.Ф. Ахметшин, к.т.н., Уфимский ГАТУ

Важнейшим условием успешного развития почвообрабатывающих орудий является расширение возможностей моделирования процессов их работы.

В процессе деформации почвы клинообразными рабочими органами по преимуществу используется деформация сжатия, величина и характер которой зависят от физико-механического состояния почвы и геометрии клина. При сжатии локального

объёма почвы наступает момент, когда внутренние напряжения не успевают уравновесить внешние нагрузки, происходит разрыв межагрегатных связей и разрушение монолита пласта. Описанные физические процессы – образование линий и тел скольжения приводят к появлению трещин в продольной и поперечной плоскостях с образованием элементов стружек (рис. 1).

По В.П. Горячкину [1], деформация и разрушение почвы клином протекают следующим образом.

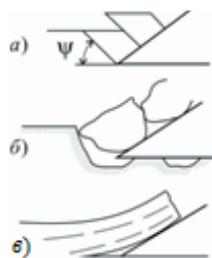


Рис. 1 – Основные виды стружек (по В.П. Горячкину) [1]

Клин, внедряясь в почву, передней гранью производит смятие почвенных частиц. Сжатие продолжается до тех пор, пока напряжения в пласте не достигнут предельной величины, необходимой для образования поверхностей сдвига или отрыва под углом ψ .

Необходимо отметить, что изображение поверхности сдвига под углом ψ достаточно условно, так как поверхность сдвига в почве имеет криволинейную форму, однако широко применяется для моделирования процесса.

Направление абсолютной скорости движения стружки определяется видом деформации, состоянием почвы и углами клина. В момент уплотнения почвы её частицы перемещаются по передней грани клина под углом к горизонтали $\psi = \frac{\pi}{2} - (\beta + \varphi)$, где β – угол наклона клина к горизонтали; φ – угол трения почва – металл. При обработке связных, среднеувлажнённых почв угол ψ направления абсолютной скорости перемещения частиц определяется из условия достижения максимума касательных напряжений (по теории Кулона Мора, разрушение пласта происходит в плоскости, действием нормального и касательного создаётся напряжение, равное чистому сдвигу; при этом всякий раз величина угла сдвига устанавливается такой, при которой сила резания будет минимальной) (рис. 1а, 2в). При обработке задернелых почв стружка отрезается сплошной лентой. В этом случае абсолютная скорость стружки имеет направление, совпадающее с биссектрисой угла, образованного

передней плоскостью клина и дном борозды, т.е. $\psi = \frac{\pi - \beta}{2}$ (рис. 1в, 2г). Твёрдая и сухая почва скалывается глыбами неправильной формы под переменным углом (рис. 1б). Сыпучая несвязная почва под действием клина может сгуживаться, образуя призму волочения.

В статье рассматривается обработка задернелых и плотных почв, когда стружка отрезается сплошной лентой, абсолютная скорость стружки совпадает с биссектрисой угла $(\pi - \beta)$ и почва не сгуживается под действием клина. Движение почвы можно представить как равноканальное угловое перемещение (РКУП), т.е. продвижение по каналу с одним изгибом в плоскости, перпендикулярным потоку почвы и имеющим наклон по биссектрисе угла $(\pi - \beta)$. На примере РКУП показана роль сдвиговой и поворотной составляющих деформации в структурообразовании и выполнена оценка их вклада в степень деформации почвы.

В механике сплошной среды [2] скорость движения материальной точки, заданной радиус-вектором R , можно определить как

$$V = \frac{dR}{dt} = \frac{dR}{dL} \cdot \frac{dL}{dt} = \tau \frac{dL}{dt} = \tau |V|, \quad (1)$$

где τ – единичный вектор, направленный по касательной к траектории движения;
 L – длина траектории движения;
 t – время деформации;
 $|V|$ – модуль вектора скорости движения материальной точки.

Степень деформации материальной точки при её движении за время t от начала до окончания процесса определяется как

$$e = \int_0^t \frac{V}{L} dt = \int_0^t \frac{dL}{L}. \quad (2)$$

Вычислим степень деформации материальной точки, перемещающейся по линиям, которые обычно рассматривают как траекторию движения при подрезании пласта почвы. Предположим, что пласт до и после деформации располагается в

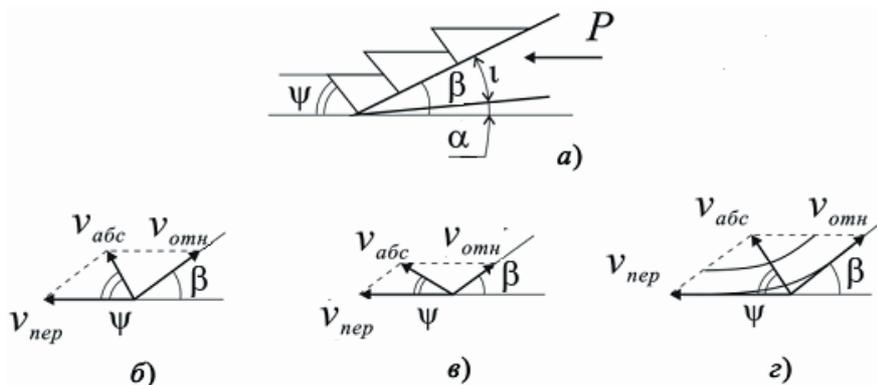


Рис. 2 – Процесс взаимодействия клина с почвой и абсолютная скорость движения стружки:
 а – воздействие клина на пласт; б – скорость стружки плотной почвы; в – среднеувлажнённой почвы; г – задернелой почвы

каналов одинакового поперечного сечения, расположенных относительно друг друга под углом ω ($\omega = 180 - \beta$), где β – угол крошения рабочей поверхности.

Вариант 1. Допустим, что при подрезании пласта клином реализуется простой сдвиг и траектория представляет собой ломаную линию, состоящую из двух прямых отрезков, стыкующихся на биссектрисе угла пересечения каналов (рис. 3).

Направление поля скоростей течения любой материальной точки, например V_1 , до пересечения с биссектрисой параллельно дну борозды, а после пересечения с биссектрисой скорость V_2 параллельно рабочей поверхности клина. Из условия несжимаемости почвы и совместности деформации справедливо равенство модулей скоростей $|V_1| = |V_2|$ и наличие скачка скорости ΔV на биссектрисе:

$$\Delta V = V_1 + V_2. \quad (3)$$

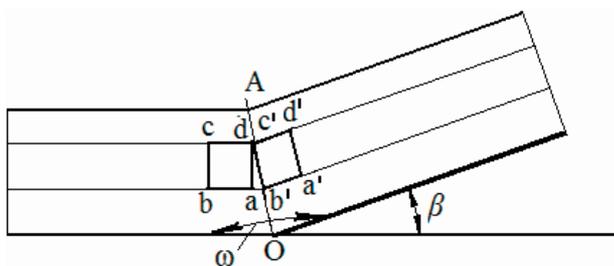


Рис. 3 – Схема реализации простого сдвига при РКУП, когда направление абсолютной скорости движения материальной точки совпадает с биссектрисой угла пересечения каналов

Биссектриса не имеет толщины ($\delta = 0$). Поэтому скачкообразное изменение скорости деформирования на ней независимо приводит к неограниченному росту скорости деформации $\xi = e/dt$:

$$\xi = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\delta} \rightarrow \infty. \quad (4)$$

Соответственно сингулярный рост должен быть присущ всем параметрам процесса, зависящим от скорости деформации, например изнашивающим способностям почвы в точке O. В этой связи можно отметить, что износ лезвий в точке O всегда более интенсивен, чем в других точках поверхности.

Очевидно, что вычисление степени деформации по формуле $\xi = e/dt$ связано с разрешением неопределённости вида $\infty \cdot 0$. Поэтому воспользуемся известной формулой, выведенной в работе [3] из геометрических соображений, в которой степень деформации при простом сдвиге определяется в зависимости от угла изгиба ω :

$$e = 2ctg(0,5\omega) / \sqrt{3} = 2tg(0,5\beta) / \sqrt{3}. \quad (5)$$

Для $\beta = 5 \div 30^\circ$ получим $e = 0,121 \div 0,372$.

При представлении кинематики движения материальной точки по этому варианту учитывается

только деформация разрыва почвы под действием абсолютно острой кромки.

Вариант 2. Допустим, что очаг деформации охватывает область OAB (рис. 4).

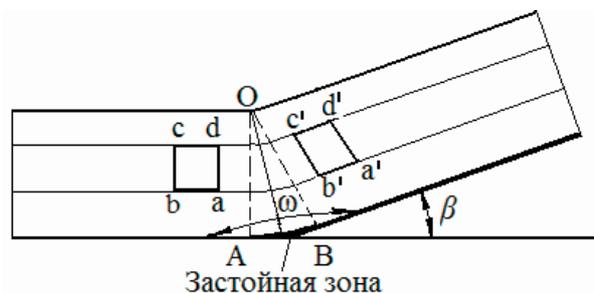


Рис. 4 – Схема реализации деформаций сдвига, сжатия и растяжения при РКУП (направление абсолютной скорости движения материальной точки совпадает с биссектрисой угла пересечения каналов)

Перемещению почвы в очаге деформации препятствуют: реактивная составляющая силы верхней части канала (зависит от коэффициента трения «почва – почва»), силы трения почвы по рабочей поверхности (зависит от коэффициента трения «сталь – почва») и противодействие, оказываемое предыдущим деформированным элементом. В результате часть почвы отрывается от массы, движущейся по каналам, образуя застойную зону. В качестве материальной точки, как и на рисунке 3, выделим элемент «abcd», а в качестве траектории возьмём линию тока – дугу окружности, центр которой совпадает с вершиной внутреннего угла пересечения каналов O ($180 - \beta$). Угол очага деформации при вершине O равен β . Длина траектории в зоне деформации $L = \beta R$, где R – радиус дуги. Скорость материальной точки определится в виде $V = dL/dt = \beta R$, а степень деформации

$$e = \int_0^t \frac{V}{L} dt = \int_{\beta_0}^{\beta_f} \frac{d\beta}{\beta} = \ln \beta_f - \ln \beta_0. \quad (6)$$

Пределы интегрирования β_0 и β_f взяты с учётом разрывов производной в точках сопряжения дуги с прямыми линиями. Так как $\beta_0 > 0$, примем её равной $0,01 \text{ rad}$. Тогда $\ln \beta_0 = -4,605$. Значения величины β_f колеблются в пределах $5 \div 300$. Следовательно, $5^\circ = 0,087 \text{ rad}$ и $30^\circ = 0,523 \text{ rad}$. Получим $e_{5 \div 30} = 2,163 \div 3,957$.

Расчёт накопленной степени деформации в материальной точке по второму варианту дал значение на порядок большее, чем по первому варианту. Это обусловлено тем, что в данном случае деформация обусловлена не только разрывом в структуре почвы, но и сжатием под действием абсолютно острой кромки клина.

Вариант 3. Рассмотрим более развитый очаг деформации при РКУП, учитывающий, что острая вершина кромки лезвия затупляется и образуется кромка с радиусом R (рис. 5).

