

СОГЛАСОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГЛАВНЫХ СООТНОШЕНИЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ВАЛКА ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

Мельник В.И., д.т.н., Романащенко А.А., доц.

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенко*

Предполагается, что массив органических удобрений в процессе формирования валка пребывает в состоянии пластичности. Задача решается в плоской постановке. Приведены основные уравнения предлагаемой математической модели, граничные условия и обоснование методов согласования параметров, которые вошли в них.

Актуальность. Внесение органических удобрений – одна из сложнейших и наиболее энергоемких задач современного земледелия. Причин тут много. Если такие удобрения применяют, то вносят в больших количествах (десятки тонн на гектар). Сама технология внесения сопряжена с трудностями, поскольку органические удобрения отличаются разнообразием и нестабильностью физико-механических свойств, а, кроме того, требуют немедленной заделки. Последнее само по себе не простая энергоемкая операция, а в связи с тенденцией к минимизации обработок почвы становится, вообще почти не решаемой проблемой.

Технологий внесения органики известно несколько. Мы в своей работе остановимся на варианте, который предполагает вывоз удобрений автотракторным транспортом в поле и раскладку куч, затем формирование валка, разбрасывание и заделку.

Состояние вопроса и формулировка решаемой задачи. Далее, в развитие цикла работ авторов, в реферативной форме приведем основные положения [1], необходимые для продолжения рассмотрения предлагаемой математической модели формирования валка органических удобрений.

На рис. 1 изображена схема рабочего процесса формирования валка из кучи. Массив $L^uUR^uR^dL^d$ органических удобрений 1 находится между двумя формирующими щитами 2 и 3. Асимметрия массива $L^uUR^uR^dL^d$ поясняется тем, что в пространство между щитами 2 и 3 попадает не вся куча, а только некоторая ее часть, отделенная от общего массива левым щитом 2.

Объективно рассматриваемая задача является объемной, но мы рассматриваем ее в плоской постановке. Привязку ортогональной двумерной системы координат Oxy не оговариваем, скажем только, что ось ординат ориентирована против направления вектора скорости движения агрегата. Углы β_l и β_r задают ориентацию формирующих щитов. L^dR^d – выходное окно валкователя. Кривые линии $L'R'$, LR и $L''R''$ отображают возможные варианты положения границы сводообразования, которое рассматривается как вероятностный процесс.

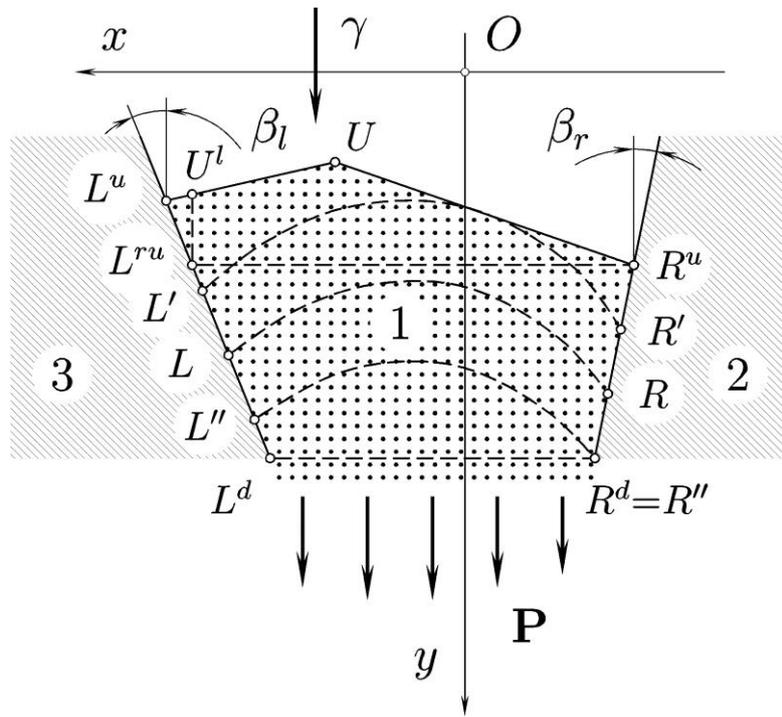


Рис. 1 – Схема области взаимодействия модельной (пластической) среды с окружающими конструктивными элементами устройства, моделирующего валкователь:

1 – пластическая среда; 2, 3 – ограждающие щиты; P – растягивающая нагрузка, порождаемая истекающей средой; γ – весовые силы; β_l и β_r – углы ориентации ограждающих щитов по отношению к оси абсцисс системы координат Oxy ; L^dR^d – уровень нижнего обреза направляющих щитов; L^uUR^u – верхний (передний) уровень пластической среды, проходящей между формирующими щитами; LR – линия сводообразования; $L'R'$ и $L''R''$ – верхнее и нижнее предельные положения линии сводообразования

Принято, что органические удобрения удовлетворяют модели пластической среды, которая характеризуется пластической постоянной (коэффициентом пластичности) k и удельным весом γ , а интересующая нас задача может быть решена на основе плоской теории пластичности [2, 3].

В работе [1] показано, что силы трения, которые возникают между удобрениями и поверхностью поля, можно заменить весовыми силами γ . Для этого необходимо мысленно представить виртуальный случай, когда формирующие щиты на рис.1 направлены не вперед по направлению движения, как это должно быть, а вверх. При этом модельная пластическая среда поступает сверху по направлению оси Oy и, под действием сил собственного веса γ , проходит вниз между формирующими щитами.

Все обозначения совпадают с принятыми в работах [1 – 3]:

$$\sigma_{xx} = s + k \cos 2\varphi, \quad \sigma_{yy} = s - k \cos 2\varphi, \quad \sigma_{xy} = \sigma_{yx} = k \sin 2\varphi, \quad (1)$$

$$\sigma_{1,3} = \frac{1}{2} [(\sigma_{xx} + \sigma_{yy}) \pm \sqrt{(\sigma_{xx} + \sigma_{yy})^2 + 4\sigma_{xy}^2}], \quad (2)$$

где: σ_{xx} , σ_{yy} и $\sigma_{xy} = \sigma_{yx}$ – нормальные и касательные компоненты тензора напряжений;

$s = \frac{1}{2}(\sigma_3 + \sigma_1)$ – полусумма наибольшего σ_3 и наименьшего σ_1 главных нормальных напряжений;

φ – угол между линией действия σ_3 и осью Ox .

Возникающее в объеме $L^uUR^uR^dL^d$ напряженное состояние моделирует система дифференциальных уравнений плоского пластического состояния (в работах [2, 3] – предельного равновесия) сплошной среды, для которой получены выполняющиеся вдоль линий параллельных осей системы Oxy , соотношения на декартовых координатных осях.

Соотношения на абсциссе:

$$x|_{y=\text{const}} = 2k \exp \frac{\gamma y - \tilde{C}_y}{2k} \text{ctg} \varphi + C_y^*, \quad (3)$$

$$s|_{y=\text{const}} = k \ln(\sin^2 \varphi) + C_y^+, \quad (4)$$

где угол φ попадает в интервал:

$$\varphi \in]\varphi_{x_0} - \frac{1}{2}\pi, \varphi_{x_0} + \frac{1}{2}\pi[, \quad \varphi_{x_0} = \pm \frac{1}{2}\pi, \quad (5)$$

$$C_y^+ = \tilde{C}_y + k \ln(2(C^v)^2), \quad (6)$$

\tilde{C}_y , C_y^* и масштабирующий множитель C^v – постоянные величины.

Соотношения на ординате:

$$y|_{x=\text{const}} = (-1)^r 2k \exp \frac{-\tilde{C}_x}{2k} \text{tg} \varphi + C_x^*, \quad (7)$$

$$s|_{x=\text{const}} = k \ln(\cos^2 \varphi) + \gamma y + k \ln(2(C^v)^2) + \tilde{C}_x, \quad (8)$$

$$s|_{x=\text{const}} = k \left[\ln(\cos^2 \varphi) + (-1)^r 2\gamma \exp \frac{-\tilde{C}_x}{2k} \text{tg} \varphi + C_x^+ \right], \quad (9)$$

где

$$\varphi \in]\varphi_{x_0} - \frac{1}{2}\pi, \varphi_{x_0} + \frac{1}{2}\pi[, \quad \varphi_{x_0} = \pm \frac{1}{2}\pi, \quad (10)$$

$$r = \begin{cases} 1 & \text{при } \varphi > \varphi_{x_0}, \\ 2 & \text{при } \varphi < \varphi_{x_0}, \end{cases} \quad (11)$$

$$C_x^+ = \gamma C_x^* + k \ln(2(C^v)^2) + \tilde{C}_x, \quad (12)$$

\tilde{C}_x, C_x^* – постоянные величины.

Масштабирующий множитель C^v остается постоянным для всей области пластичности, в то время, как постоянные $\tilde{C}_y, C_y^*, C_y^+$ или $\tilde{C}_x, C_x^*, C_x^+$ – изменяются всякий раз, когда меняется положение прямой, параллельной оси системы координат, для которой применяются соотношения ((4) – (6)) или ((7) – (12)). Таким образом, решение любой прикладной задачи состоит в формулировке граничных условий и разработке алгоритма расчета, по сути бесконечного множества комплектов постоянных $\tilde{C}_y, C_y^*, C_y^+$ и $\tilde{C}_x, C_x^*, C_x^+$.

Обоснование и формулировка граничных условий выполнены в [1].

Верхняя свободная граница L^uUR^u полностью состоит из бесконечного множества главных площадок. Углы $\theta_l = \varphi|_{L^u}$ и $\theta_r = \varphi|_{UR^u}$ определяют наклон касательной к L^uUR^u , а, значит, L^uUR^u является линией действия σ_3 :

$$\sigma_1|_{L^uUR^u} = 0, \quad \sigma_3|_{L^uUR^u} = 2k, \quad s|_{L^uUR^u} = k, \quad \sigma_{u\tau} = 0, \quad (13)$$

где $\sigma_{u\tau}$ – касательные напряжения, действующие вдоль L^uUR^u (рис. 2).

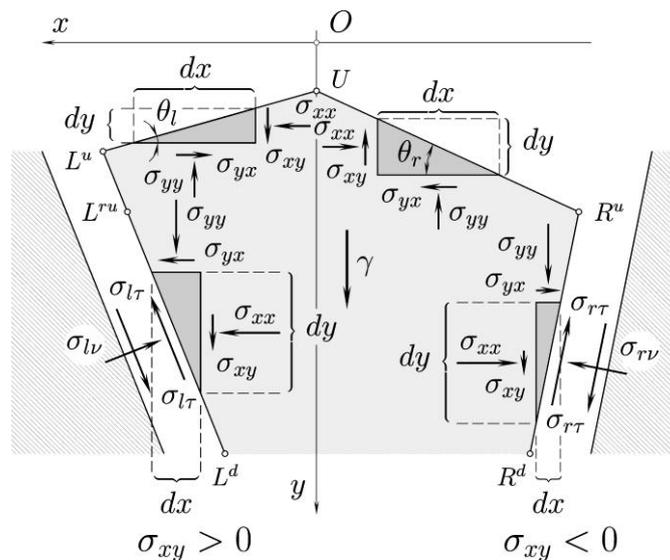


Рис. 2 – Иллюстрация граничных условий, действующих вдоль боковых линий контакта L^uL^d и R^uR^d среды с ограничивающими поверхностями

Предельные значения удельного трения τ_l и τ_r зависят от коэффициента f внешнего трения, действующего на левой L^uL^d и правой R^uR^d границах области $L^uUR^uR^dL^d$, и определяются из условий трения:

$$|\sigma_{i\tau}| \leq \tau_i = f_i \sigma_{iv}, \quad i \in \{l, r\}, \quad (14)$$

где σ_{iv} и $\sigma_{i\tau}$ – нормальная и касательная компоненты полного напряжения σ_i , действующего на границах L^uL^d ($i=l$) и R^uR^d ($i=r$)

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_{iv}^2 + \sigma_{i\tau}^2}, \quad i \in \{l, r\}, \quad (15)$$

которые определяются выражениями:

$$\sigma_{iv} = \sigma_{yy} \sin^2 \beta_i + \sigma_{xx} \cos^2 \beta_i + \zeta \sigma_{xy} \sin 2\beta_i = s_i + k \cos 2(\varphi - \zeta \beta_i), \quad (16)$$

$$\sigma_{i\tau} = \frac{1}{2}(\sigma_{yy} - \sigma_{xx}) \sin 2\beta_i + \sigma_{xy} \cos 2\beta_i = k \sin 2(\varphi - \zeta \beta_i) \quad (17)$$

где

$$\zeta = +1, \text{ при } i = l, \varphi \in]0, \frac{1}{2}\pi[\text{ или } \zeta = -1, \text{ при } i = r, \varphi \in]\frac{1}{2}\pi, \pi[. \quad (18)$$

Конечная форма граничных условий (условий трения), которые действуют вдоль $L^u L^d$ ($i = l$) и $R^u R^d$ ($i = r$), представляет собой неравенство:

$$s_i \geq k \left[\frac{|\sin 2(\varphi - \zeta \beta_i)|}{f_i} - \cos 2(\varphi - \zeta \beta_i) \right], \quad i \in \{l, r\}. \quad (19)$$

В угловых точках L^u и R^u должны выполняться как ограничения (13), так и условия трения (19). Такому требованию удовлетворяют неравенства:

$$|\operatorname{tg}(\varphi_{lu} - \beta_l)| \leq f_l, \quad \text{при } \varphi \in]0, \frac{1}{2}\pi[, \quad (20)$$

$$|\operatorname{tg}(\varphi_{ru} + \beta_r)| \leq f_r, \quad \text{при } \varphi \in]\frac{1}{2}\pi, \pi[, \quad (21)$$

где φ_{lu} и φ_{ru} – значения угла φ в точках L^u и R^u .

На этом формулировка граничных условий заканчивается.

Целью (задачей) настоящих исследований является иллюстрация методов согласования между собой соотношений (3) – (12) и граничных условий (13) – (21). Частично этот вопрос уже рассматривался в работе [1].

Решение поставленной задачи.

Непосредственно из выражений (20) и (21) следует, что:

$$\max\{0, (\beta_l - \arctan f_l)\} \leq \varphi_{lu} \leq \min\{(\beta_l + \arctan f_l), \frac{1}{2}\pi\}, \quad (22)$$

$$\max\{\frac{1}{2}\pi, (\pi - \beta_r - \arctan f_r)\} \leq \varphi_{ru} \leq \min\{(\pi - \beta_r + \arctan f_r), \pi\}. \quad (23)$$

На рис. 3 представлены графики выполняющихся вдоль линии $L^u R^u$ граничных зависимостей полусуммы главных нормальных напряжений s от величины угла φ , отвечающие соотношению на абсциссе (4), условиям трения (19), а также неравенству (21).

В работе [1] показано, что минимально узкий, но, тем не менее, возможный, интервал изменения φ соответствует такому значению постоянной C_y^+ при котором график № 2 соотношения (4) с касанием проходит над кривой условия трения (19) с индексом « $i = r$ ».

Именно такое напряженное состояние можно рассматривать как начальное, т.е. такое, которое соответствует минимальному количеству среды, располагающейся над уровнем $L^{ru}R^u$, при котором еще возможно достижение состояния пластичности. Кривые № 3 и № 4 соответствуют ситуации, когда ниже линии $L^{ru}R^u$ состояние пластичности достигается гарантировано. Поскольку условие (19) представляет собой неравенство, то возможно, что при увеличении $y > y|_{R^u}$ интервал

$$\varphi|_{y=\text{const}} \in [\varphi|_{L^uL^d}, \varphi|_{R^uR^d}] \quad (24)$$

возможных значений угла φ будет сужаться.

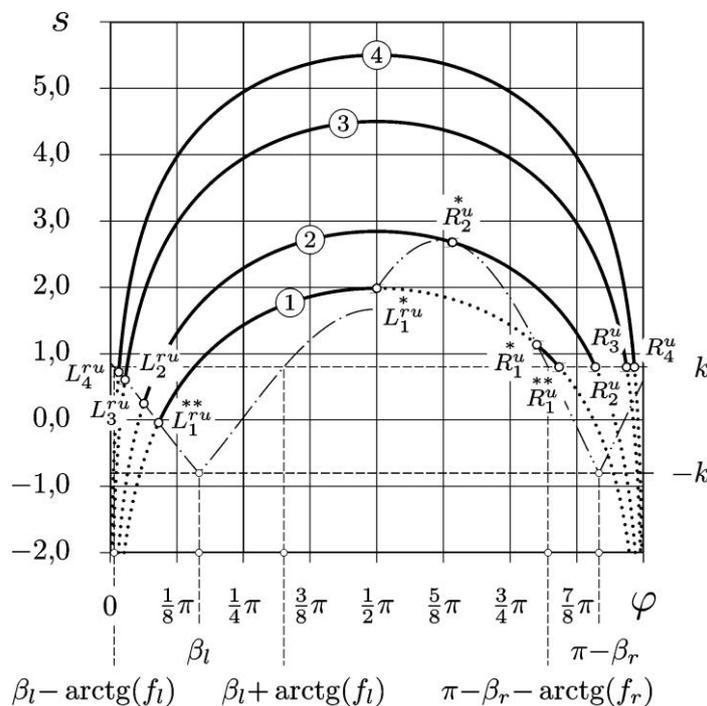


Рис. 3 – Граничные зависимости полусуммы главных нормальных напряжений s от величины угла φ , отвечающие: а) соотношению на абсциссе ((4) –—) при различных уровнях интенсивности внешней нагрузки (кривые 1, 2, 3 и 4, которым соответствует $C_y^+ = 1,986; 2,843; 4,5$ и $5,5$); б) условию трения (19) на левой ($\beta_l = \frac{1}{6}\pi$, $f_l = \text{tg}0,50$ – —...—) и правой ($\beta_r = \frac{1}{12}\pi$, $f_r = \text{tg}0,30$ – —. —) границах области пластичности. Сцепление $k = 0,8$

В точке R_2^{*u} выполняется два условия: во-первых, достигается равенство значений полусуммы главных нормальных напряжений s , вычисленной с использованием соотношения на абсциссе (4), и условия трения (19) при $\varphi = \varphi|_{R_2^{*u}}$, а, во-вторых, при том же значении $\varphi = \varphi|_{R_2^{*u}}$ достигается равенство первых производных $\frac{d}{d\varphi}s$, взятых от $s = s(\varphi)$, определяемых теми же выражениями (4) и (19) при $i = r$.

Аналогичная ситуация могла возникнуть и на левой границе, т.е. когда в (19) принято, что $i = l$.

Запишем в аналитическом виде условия, которые выполняются в случае касания кривых соотношения на абсциссе (4) и условия трения (19), действующего на левой $i = l$ или правой $i = r$ границе.

Для этого введем обозначение: $\varphi = \varphi_{i\tau}$ – значение угла φ , при котором достигается касание кривых (4) и (19). Интервал возможных значений $\varphi_{i\tau}$ гарантировано меньше следующего:

$$\varphi_{i\tau} \in [\beta_l, \pi - \beta_r], \quad \varphi_{i\tau} = \begin{cases} \varphi_{l\tau} \leq \frac{1}{2}\pi; \\ \varphi_{r\tau} > \frac{1}{2}\pi. \end{cases} \quad (25)$$

Далее, перепишем условие трения (19), предполагая, что в нем достигается равенство, а также избавляясь от знака модуля, имея ввиду, что $\varphi = \varphi_{i\tau}$ и принадлежит интервалу (25):

$$s_i = k \left[\frac{\zeta \sin 2(\varphi - \mathcal{G}\beta_i)}{f_i} - \cos 2(\varphi - \mathcal{G}\beta_i) \right],$$

$$\zeta = \begin{cases} +1, & \text{при } i = l, \quad \varphi \in [\beta_l, \frac{1}{2}\pi[; \\ -1, & \text{при } i = r, \quad \varphi \in [\frac{1}{2}\pi, \pi - \beta_r]. \end{cases} \quad (26)$$

Теперь запишем производную от $s_i = s_i(\varphi)$ по φ (26):

$$\frac{ds_i}{d\varphi} = 2k \left[\frac{\zeta \cos 2(\varphi - \mathcal{G}\beta_i)}{f_i} + \sin 2(\varphi - \mathcal{G}\beta_i) \right], \quad (27)$$

где ζ соответствует (26).

В заключение запишем систему:

$$\begin{cases} s = s_i; \\ \frac{ds}{d\varphi} = \frac{ds_i}{d\varphi}; \end{cases}, \quad (28)$$

где s и s_i – определяется соотношением на абсциссе (4) и условием трения (26);

$\frac{d}{d\varphi}s$ – производная от (4);

$\frac{d}{d\varphi}s_i$ – определено выражением (27).

Выполнив подстановку получаем:

$$\begin{cases} k \ln(\sin^2 \varphi) + C_y^+ = k \left[\frac{\zeta \sin 2(\varphi - \zeta \beta_i)}{f_i} - \cos 2(\varphi - \zeta \beta_i) \right]; \\ \frac{\cos \varphi}{\sin \varphi} = \frac{\zeta \cos 2(\varphi - \zeta \beta_i)}{f_i} + \sin 2(\varphi - \zeta \beta_i); \end{cases} \quad (29)$$

$$\zeta = \begin{cases} +1, & \text{при } i=l, \quad \varphi \in [\beta_l, \frac{1}{2}\pi[; \\ -1, & \text{при } i=r, \quad \varphi \in [\frac{1}{2}\pi, \pi - \beta_r]; \end{cases}$$

т.е. систему уравнений, в которой неизвестными являются постоянная C_y^+ и угол φ и которая является искомым аналитическим представлением условия касания кривых соотношения на абсциссе (4) и условия трения (19), действующего на левой $i=l$ или правой $i=r$ границе. Решив (29), относительно C_y^+ и φ , находим:

$$\begin{aligned} \varphi_{l\tau} = \varphi|_{i=l} \leq \frac{1}{2}\pi, & \quad \min\{C_y^+\}|_{L^u} = C_y^+|_{\varphi=\varphi_{l\tau}}, \\ \varphi_{r\tau} = \varphi|_{i=r} > \frac{1}{2}\pi, & \quad \min\{C_y^+\}|_{R^u} = C_y^+|_{\varphi=\varphi_{r\tau}}, \end{aligned} \quad (30)$$

где $\min\{C_y^+\}|_{L^u}$ и $\min\{C_y^+\}|_{R^u}$ – минимально возможные значения постоянной C_y^+ , входящей в соотношения на абсциссе ((3) – (6)), выполняющиеся вдоль прямой, содержащей точку L^u и/или R^u . В случае, если L^u и R^u принадлежат к одной горизонтали, то из двух найденных значений $\min\{C_y^+\}|_{L^u}$ и $\min\{C_y^+\}|_{R^u}$ (для левой ($i=l$) и правой ($i=r$) границ исследуемой области среды) выберут большее.

На рис. 3 изображен случай, когда в точке R_2^{*u} достигается касание кривых соотношения на абсциссе (4) и условия трения (19), действующего на правой $i=r$ границе. Такой ситуации соответствует некоторое значение постоянной $C_y^+ = \min\{C_y^+\}|_{R^u}$. В отношении максимально возможного значения $\max\{C_y^+\}|_{R^u}$ постоянной C_y^+ мы пока никаких ограничений ввести не можем.

Состояние пластичности – как условие сводообразования в пластической среде. Ранее при постановке задачи [1] (рис. 1) мы предположили, что в объеме модельной среды $L^uUR^uR^dL^d$ может произойти сводообразование, что затруднит ее прохождение между ограждающими щитами. Поскольку конфигурация и положение фронта сводообразования (ФСО) LR пока не определено, то в дальнейшем выделим два его крайних положения (рис. 1): $L'R'$ – крайнее верхнее; $L''R''$ – крайнее нижнее. Т.е. в дальнейшем мы понимаем, что фактический ФСО LR лежит в интервале между линиями $L'R'$ и $L''R''$, а также может совпадать с одной из них.

Если линия LR фактического ФСО переместится выше кривой $L'R'$, то наша задача распадется на две других разных задачи в соответствии с тем, как одна область пластичности L^uUR^uRL разделится на две подобласти. В таком

случае среда будет проходить между щитами беспрепятственно и, следовательно, достигаются наилучшие условия для формирования валка.

Если же линия LR опустится ниже $L''R''$, то это будет означать, что ФСО уже не упирается в два ограждающих щита, а, значит, среда снова сможет проходить между ограждающими щитами относительно без задержек, т.е. опять таки складываются благоприятные условия для формирования валка.

Плохим для формирования валка является случай, когда линия LR лежит в интервале между линиями $L''R''$ и $L'R'$.

Поскольку линия LR является фактическим положением ФСО, то можно утверждать, что вдоль LR среда может отрываться от пребывающего в состоянии пластичности массива L^uUR^uRL , а это означает, что LR состоит из главных площадок, и на их поверхности отсутствуют какие-либо напряжения, а большее из главных нормальных напряжений σ_3 действует в массиве среды по касательной к LR . В общем для LR можно записать:

$$\sigma_1|_{LR} = 0, \quad \sigma_3|_{LR} = 2k, \quad s|_{LR} = k, \quad \tau|_{LR} = 0, \quad (31)$$

Это обстоятельство будем использовать в дальнейшем.

Введем обозначения: $I_\tau|_{L^ruR^u}$ и $I_n|_{L^ruU^l}$ – интегральные значения касательных и нормальных напряжений, действующих, соответственно, в сечениях L^ruR^u и L^ruU^l . Заметим, что $I_\tau|_{L^ruR^u}$ имеет смысл только в том случае, когда линия ФСО LR полностью располагается ниже уровня горизонтали L^ruR^u . Предположим, это условие выполняется. В таком случае, для пребывающего в состоянии пластичности фрагмента среды $U^lUR^uL^ru$ справедливо условие равновесия проекций сил, действующих вдоль линию L^ruR^u :

$$I_n|_{L^ruU^l} = I_\tau|_{L^ruR^u}. \quad (32)$$

Это равенство мы используем для расчета фактической конфигурации верхней свободной границы $L^uU^lUR^u$.

Физическая интерпретация соотношений, выполняющихся вдоль линий, параллельных оси ординат. В данном случае мы имеем ввиду соотношения на ординатах ((7) – (12)), в частности, выполняющихся вдоль вертикальной прямой L^ruU^l в случае, если последняя полностью располагается в области пластичности.

На рис. 4 представлена зависимость $y|_{x=\text{const}} = y(\varphi)$ (7) ординаты от величины угла φ при различных значениях постоянных величин, включая коэффициент пластичности k . В настоящий момент у нас нет оснований полагать, что представленная зависимость противоречит физическому смыслу решаемой задачи. Показанные на рис. 4 закономерности мы будем учитывать в дальнейшем, в частности, при анализе согласованности соотношений на ординате $s|_{x=\text{const}} = s(\varphi)$ (8) и (9) с соотношением на абсциссе $s|_{y=\text{const}} = s(\varphi)$ (4), графики которых приведены на рис. 5 (исходные данные приведены в табл. 1).

Семейство кривых № 3, 5, 7 и 9 соответствуют соотношению на ординате (9) и выполняются только в одной точке R'' . Из-за этого обстоятельства увидеть какие либо противоречия с физическим смыслом решаемой задачи не представляется возможным. Следовательно, на данный момент мы можем думать, что любая из перечисленных кривых при определенных условиях может оказаться адекватной реальному напряженному состоянию. Разумеется, крайний случай невесомой среды – не в счет. Он приведен для того, чтобы лучше понимать, как меняется ситуация в случае уменьшения веса среды.

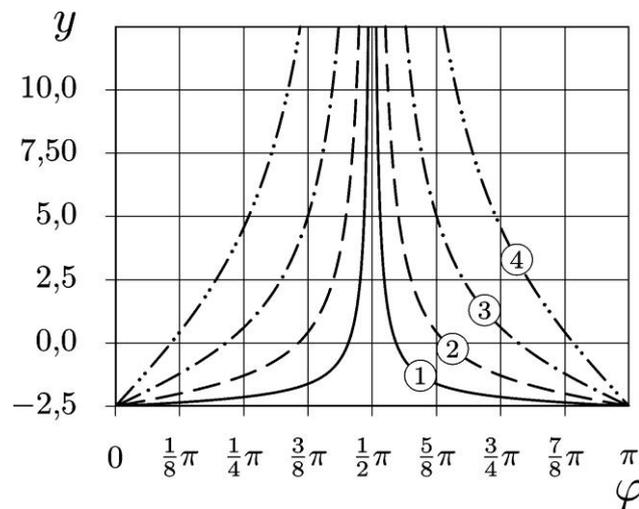


Рис. 4 – Зависимость $y|_{x=\text{const}} = y(\varphi)$ (7) ординаты от величины угла φ при $\tilde{C}_x = 1$ и $C_x^* = -2,5$, а также четырех значениях пластической постоянной: 1) $k = 0,5$; 2) $k = 1$; 3) $k = 2,0$; 4) $k = 4$

Заметим также, что между физическими размерами предельной области и удельным весом среды имеется нелинейная функциональная связь. Любые изменения физических размеров предельной области неизбежно приведут к изменению характера кривых № 2 – 9. Тем не менее, приведенные пучки кривых № 2, 4, 6 и 8, а также № 3, 5, 7 и 9 охватывают все возможные варианты.

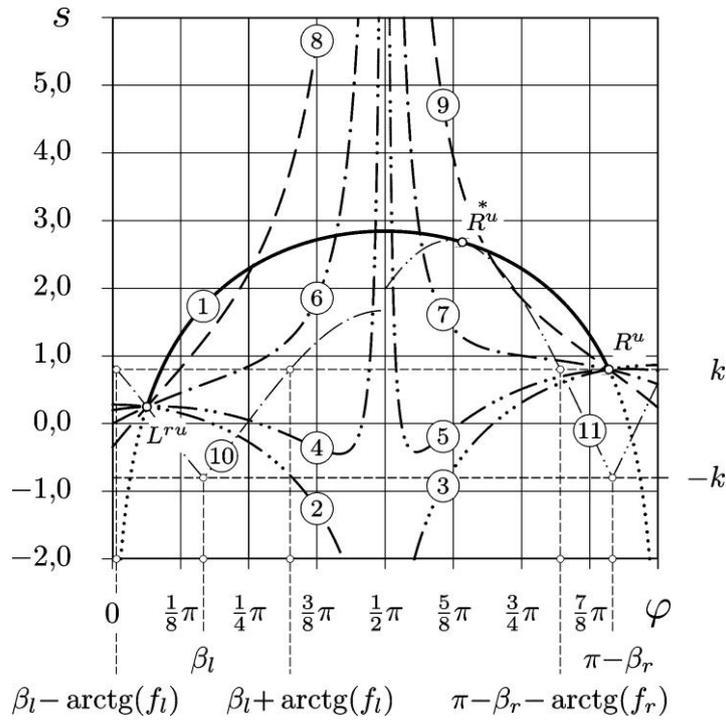


Рис. 5 – Граничные зависимости полусуммы s главных нормальных напряжений от величины угла φ , отвечающие: 1) соотношению на абсциссе (4); 2) – 9) соотношению на ординате (9) по две линии (четная и нечетная) для каждого из четырех значений удельного веса среды γ (исходные данные в табл. 1); 10) и 11) условию трения (19) на левой ($\beta_l = \frac{1}{6}\pi$, $f_l = \tan 0,5$) и правой ($\beta_r = \frac{1}{12}\pi$, $f_r = \tan 0,3$) границах области пластичности. Общие параметры: $x|_{L^u} = 1$; $x|_{R^u} = -1$; $y|_{L^u R^u} = 1$; $k = 0,8$; $C_y^+ = 2,843$; $C_y^* = 0$

Обратимся теперь к точке L^u , через которую проходит пучок кривых № 2, 4, 6 и 8, отвечающих соотношению на ординате (9). Иллюстрируемые ими зависимости должны выполняться вдоль линии $L^u U^l$ (рис. 1). В соответствии с условием (13) $s|_{L^u U^l} = k$, а, значит, на рис. 5 точка U^l должна лежать на линии $s = k$. При этом, с учетом закономерностей рис. 4, заключаем, что

$$\varphi|_{U^l} < \varphi|_{L^u}. \quad (33)$$

Следовательно, на рис. 5 точка U^l должна располагаться выше и слева точки L^u и к тому же они должны лежать на одной и той же кривой соотношения на ординате (9), подобной одной из кривых семейства № 2, 4, 6 и 8.

Из анализа семейства кривых № 2, 4, 6 и 8, а также кривой № 1 соотношения на абсциссе, можно сделать вывод, что если на рис. 5 точка U^l будет соответствовать условию $s|_{U^l} = k$, т.е. располагаться на линии $s = k$, то тогда точка L^u переместится вдоль кривой № 1 выше. Такая ситуация не будет противоречить условиям трения на левой границе (19). При этом мы помним, что на рис. 5 кривая № 1 изображена в своем самом нижнем положении, т.е. в состоянии касания (точка R^{*u}) с условием трения (кривая № 11) на правой

границе 19), когда $C_y^+|_{L^u R^u}$ равно своему минимально возможному значению $\min\{C_y^+\}$.

Таблица 1 – Исходные данные для построения графиков линий №2 – 9 на рис. 5

Номер линии	Обозначения и числовые значения постоянных величин					
	γ	\tilde{C}_y	C^v	\tilde{C}_x	C_x^*	C_x^+
2	0	1,4925	1,351	-1,0702	0,37047	0,28085
3	0	1,4925	1,351	-0,48674	0,37047	0,86429
4	0,13	1,6225	1,221	-1,0702	0,37047	0,19901
5	0,13	1,6225	1,221	-0,48674	0,37047	0,78245
6	0,45	1,9425	0,90102	-1,0702	0,37047	-0,0024363
7	0,45	1,9425	0,90102	-0,48674	0,37047	0,581
8	1,00	2,4925	0,35102	-1,0702	0,37047	-0,34868
9	1,00	2,4925	0,35102	-0,48674	0,37047	0,23476

Выводы

1. Предварительный анализ соотношений на декартовых координатах, условий трения на левой и правой границах области пластичности (внутренних поверхностях ограждающих щитов), а также совокупности начальных условий показали принципиальную возможность согласования между собой величин входящих в них параметров.

2. Применительно к рассматриваемой задаче (рис. 1) установлено, что условия сводообразования (когда линия LR , совпадает с одной из линий $L'R'$ и $L''R''$ или располагается между ними) могут возникнуть только в том случае, когда условие на ординате $s|_{y=\text{const}}=s(\varphi)$ (8) или (9) имеет два локальных минимума, которые приходятся на интервал возможных значений $\varphi|_{y=\text{const}} \in]\varphi|_{L^u L^d}, \varphi|_{R^u R^d} [$.

Список использованных источников

1. Мельник В. И. Анализ граничных условий, возникающих на щитах валкообразователя органических удобрений / В. И. Мельник, А. А. Романашенко // Бюллетень научных работ. Выпуск 30 / Белгород: Издательство БелГСХА им. В. Я. Горина, 2012. – С. 182 – 192.
2. Мельник В. И. Предельное равновесие сплошных неупругих сред: [монография] / В. И. Мельник. – Харьков: Издательство КП Типография № 13, 2006. – 368 с.
3. Мельник В. И. Предельное равновесие связных и сыпучих сред: [монография] / В. И. Мельник. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012, – 357 с.

Анотація

УЗГОДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ГОЛОВНИХ СПІВВІДНОШЕНЬ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ ВАЛКА ОРГАНІЧНИХ ДОБРІВ

Мельник В.І., Романашенко О.А.

Передбачається, що масив органічних добрив в процесі формування валка перебуває в стані пластичності. Задача вирішується в плоскій постановці. Приведені основні рівняння запропонованої математичної моделі, граничні умови і обґрунтування методів узгодження параметрів, які увійшли до них.

Abstract

THE RECONCILIATION SETTINGS MAIN RATIOS MATHEMATICAL MODEL OF FELLING ORGANIC FERTILIZERS

V. Melnik, A. Romanashenko

It is assumed that an array of organic fertilizers in the formation of the roll is in a state of plasticity. The problem is solved into a plane formulation. Basic equations of the proposed mathematical model, the boundary conditions and justification of methods agree on the parameters that are included in them