

УДК 631.372

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПАХОТНОГО МОТОАГРЕГАТА

Овсянников С.И., канд. техн. наук, доцент

*(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенко)*

Рассмотрено действие сил и моментов на пахотный мотоагрегат. Определены основные закономерности расчета составляющих сил сопротивления орудью в режиме заглабления и изменения глубины обработки. Установлено, что физические усилия оператора, направленные на регулирование глубины обработки почвы, значительно превышают допустимые.

Введение. Вспашка является основным агротехническим приемом в подготовке почвы при выращивании с.-х. продукции. На участках малой площади (приусадебные и дачные участки, огороды), где применение традиционных пахотных агрегатов затруднено и приводит к не рациональному использованию техники и избыточному переуплотнению почвы, целесообразно применять пахотные агрегаты на базе мотоблоков и мини-тракторов. Однако производительность этих агрегатов не велика, зависит от сцепных свойств агрегата, типа почвы (удельного сопротивления обработке), силового участия

оператора в тяговой динамике агрегата [1]. Недостаток тягово-сцепных свойств компенсируется усилием оператора в продольном направлении на штанги управления. В тоже время, чем больше оператор применяет физическую силу, тем больше он устает и требует отдыха [2].

Агрегаты на базе мотоблоков отличаются от традиционных жестким креплением орудия к остову мотоблока. Изменение глубины обработки в данном случае осуществляется продольным креном всего агрегата. Для этого оператор перемещает штанги управления в вертикальной плоскости. Таким образом, оператор прикладывает усилия на штанги управления в продольном и вертикальном направлениях.

Анализ литературных источников. Расчет конструктивных параметров плуга и силы, действующие на плуг, рассмотрены в работе [3]. Взаимодействие оператора с мотоагрегатом, действие сил и моментов подробно рассмотрено в работе [4]. На основе анализа литературных источников установлено, что пахотные мотоагрегаты имеют отличительные особенности при выполнении конструктивных расчетов.

Поэтому, целью работы является проведение аналитической оценки тяговых возможностей пахотных мотоагрегатов и влияние конструктивных параметров агрегата на физическое участие оператора в тяговой динамике.

Результаты работы. Силы, действующие на плуг, возникают в результате сопротивления почвы на лезвие лемеха и его рабочих поверхностях при работе плужного корпуса. В каждой плоскости проекций суммарное воздействие на корпус элементарных сил сопротивления почвы может быть представлено одной результирующей силой определенной величины и направления [3].

В горизонтальной плоскости проекций (рис. 2,а) на корпус плуга действует сила R_{xy} , образующая с осью x угол $\eta=(15-25^\circ)$. Сила R_{xy} пересекает лезвие лемеха на расстоянии, равном 0,4 ширины захвата и 0,5 глубины обработки почвы.

Проекция силы R_{xy} на ось x равна

$$R_x = \eta_{\text{пл}} \cdot k \cdot a \cdot b_{\text{к}} \quad (1)$$

где $\eta_{\text{пл}}$ – КПД плуга, $\eta_{\text{пл}} = 0,7$;

k – удельное сопротивление почвы, полученное линейным динамометрированием плуга;

$a, b_{\text{к}}$ – соответственно глубина и ширина захвата корпуса плуга. Исходя из агротехнических требований, минимальная глубина обработки почвы должна составлять $a = 15$ см, отсюда ширина захвата $b_{\text{к}} = 18$ см.

Удельное сопротивление почвы k зависит от типа и структуры почвы, влажности и плотности. Средние значения удельного сопротивления почвы (стерня колосовых) составляют: для тяжелых структурных почв – 90 кПа, средних почв – 60 кПа, легких – 30 кПа.

Проекция R_y равна

$$R_y = R_x \cdot \operatorname{tg} \eta = (0,25 - 0,45) R_x \approx \frac{R_x}{3}. \quad (2)$$

В вертикальной плоскости проекций на корпус плуга действует сила R_{zx} , образующая угол ψ с осью x (рис. 2,б). На плотных почвах при работе плуга с затупленным лемехом угол ψ может иметь отрицательное значение. Учитывая современные технологии самозатачивания лемехов принимаем, что в расчетах угол ψ будет равным $+12^\circ$, а на задернелых участках $+8^\circ$. Вертикальная составляющая силы R_{zx} равна:

$$R_z = R_x \cdot \operatorname{tg} \psi = 0,2 \cdot R_x. \quad (3)$$

В поперечной плоскости на корпус действует проекция силы R_{zy} , (рис. 2,в), равная векторной сумме сил R_z и R_y , т.е.

$$R_{zy} = R_x \sqrt{\operatorname{tg}^2 \eta + \operatorname{tg}^2 \psi}. \quad (4)$$

Направление силы R_{zy} характеризуется величиной угла ξ , тангенс которого равен

$$\operatorname{tg} \xi = \frac{\operatorname{tg} \eta}{\operatorname{tg} \psi}. \quad (5)$$

Расстояние ρ_{zy} от носа лемеха до прямой, являющейся продолжением силы R_{zy} , равно примерно 0,5 глубины пахотного слоя при положительных и 0,75 глубины при отрицательных значениях угла ξ .

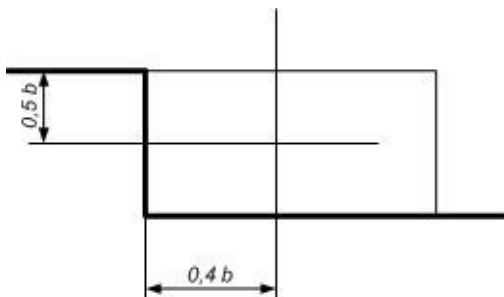


Рисунок 1 - Расположение центра сопротивления почвы в пахотном слое.

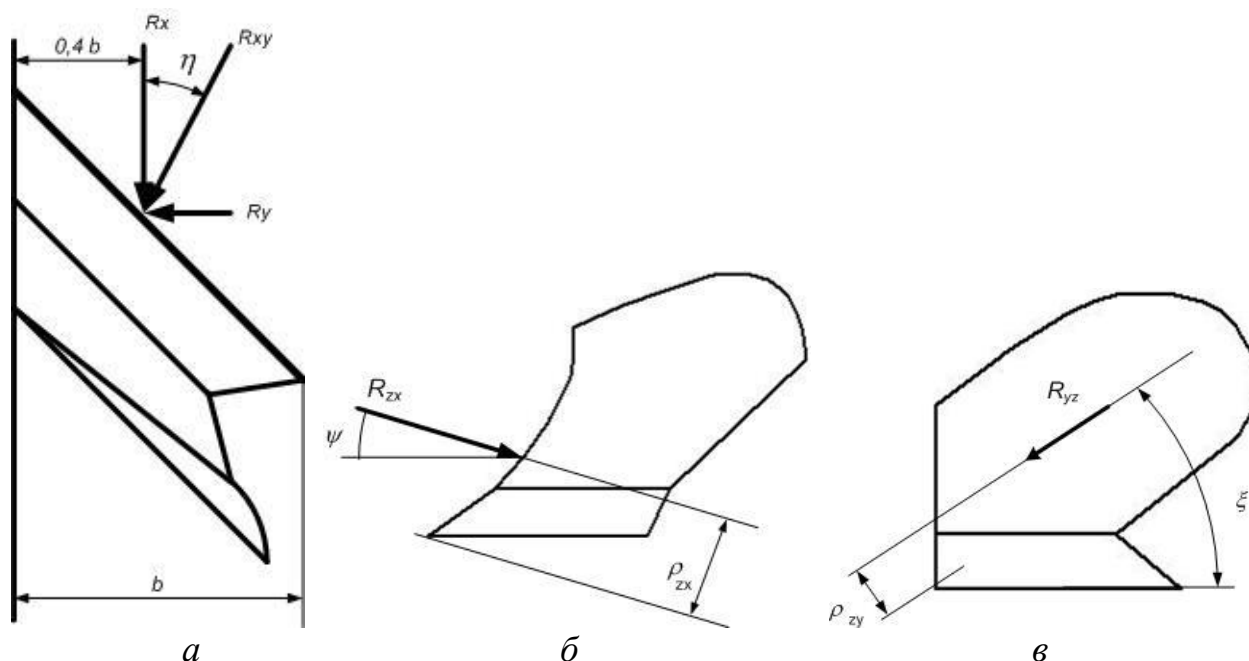


Рисунок 2 - Схема действия сил на плужный корпус:
a – продольно-горизонтальная плоскость; *б* – продольно-вертикальная плоскость; *в* – поперечная плоскость.

Отличительной особенностью мотоагрегатов, по сравнению с традиционными, является жесткое крепление орудия к остову мотоблока, выглубление и заглубление рабочих органов осуществляется поворотом всего остова агрегата относительно оси вращения колес. Силы, действующие на мотоагрегат (рис. 3):

G_m – сила веса мотоблока; G_{op} – сила веса орудия; P_{on} – усилие оператора на штанги управления в вертикальной плоскости; R_{xz} – реакция почвы на орудие в продольной плоскости; R_x – горизонтальная составляющая R_{xz} ; R_z – вертикальная составляющая силы R_{xz} ; S – результирующая сила на рабочих органах орудия.

Для обеспечения самозаглубления корпуса плуга необходимо, чтобы результирующая сила S проходила выше оси вращения колес. При этом образуется момент $S \cdot \rho_{zx}$. Рабочие органы орудия заглубляются до момента упора полевой доски в дно борозды, что приводит к увеличению реакции почвы в вертикальном направлении вплоть до выравнивания с вертикальной нагрузкой, тем самым ограничивая дальнейшее заглубление.

Для определения вертикальной составляющей силы веса агрегата, действующей на рабочие органы, составим уравнение определения центра тяжести агрегата. В зависимости от веса и расположения орудия, балластных грузов, координаты центра тяжести будут меняться. Продольную координату центра тяжести определяем из выражения:

$$x_a = \frac{\sum_{i=1}^n G_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n G_i}, \quad (6)$$

где G_i – вес i -го орудия, устройства, жестко соединенного с мотоблоком;
 x_i – продольная координата центра веса i -го орудия, устройства относительно оси вращения колес.

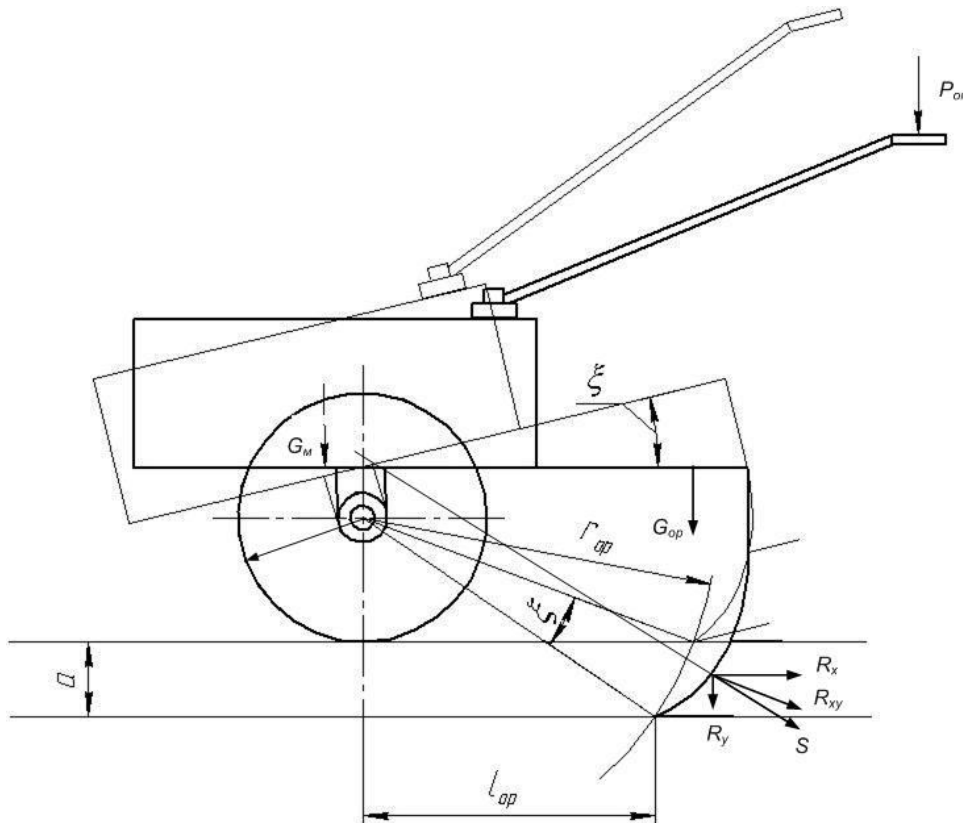


Рисунок 3 - Расчетная схема пахотного мотоагрегата.

В статическом положении сила веса агрегата уравновешивается силой оператора P_{on} в вертикальном направлении на штангах управления:

$$P_{on} = \frac{G_A \cdot x_A}{x_{on}}, \quad (7)$$

где x_{on} – продольное расстояние от оси вращения колес до рукояток штанг управления.

В процессе движения на оси колес мотоагрегата развивается крутящий момент, равный моменту сопротивления внешних сил. Соответственно на осто мотоблока будет действовать реактивный момент, численно равный и противоположно направленный крутящему моменту. Действие этого момента будет увеличивать силу заглубления.

Крутящий момент на оси колеса будет увеличиваться по мере заглубления плуга в почву. При достижении номинальной глубины, момент сопротивления плуга не является величиной постоянной, т.к. удельное сопротивление почвы изменяется в зависимости от структуры почвы и носит случайный характер. Следовательно, усилия оператора в вертикальной плоскости на штанги мотоблока изменяются пропорционально изменениям крутящего момента на оси привода колес.

Для определения значений реактивного момента рассмотрим процесс заглубления корпуса плуга (рис. 4). Реакция почвы в продольной плоскости будет увеличиваться по мере заглубления плуга в почву:

$$R_{zx} = \eta_{i\bar{v}} \cdot z \cdot b \cdot k, \quad (8)$$

где z – величина заглубления плуга, $0 < z < a$.

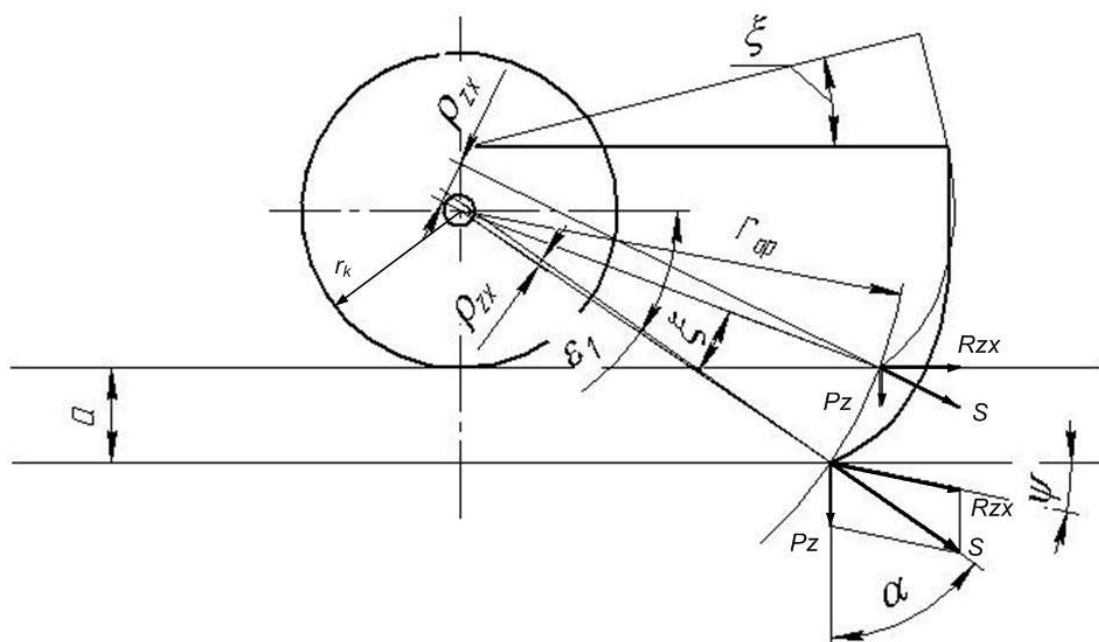


Рисунок 4 - Схема действия сил на рабочих органах плуга в процессе заглубления.

Значение вертикальной нагрузки определим из уравнения равновесий моментов:

$$P_z \cdot r_{i\bar{v}} = G_a \cdot x_a - M_r - P_{i\bar{v}} \cdot x_{i\bar{v}},$$

отсюда $P_z = \frac{G_a \cdot x_a - M_r - P_{i\bar{v}} \cdot x_{i\bar{v}}}{r_{i\bar{v}}}$. 9)

Результирующая сила в начальный момент заглубления будет равна:

$$S = \sqrt{R_{zx}^2 + P_z^2}. \quad (10)$$

При этом образуется заглубляющий момент, если он направлен по часовой стрелке относительно оси вращения колеса, в противном случае – выглубляющий момент:

$$M_S = S \cdot \rho_{zx} . \quad (11)$$

По мере заглубления направление вектора реакции почвы R_{zx} отклоняется от горизонтального направления на угол ψ , при номинальном положении угол составит $\psi=12^\circ$ [3].

Тогда результирующая сила S равна:

$$S = \sqrt{R_{zx}^2 + P_z^2 - 2R_{zx} \cdot P_z \cdot \cos(90 - \psi)} . \quad (12)$$

По мере заглубления корпуса изменяется угол α наклона вектора результирующей силы S . Величину угла определяем, применив теорему синусов:

$$\frac{P_z}{\sin \alpha} = \frac{S}{\sin(90^\circ \pm \psi)} , \text{ где } 0 < \psi < 12^\circ .$$

$$\text{Отсюда } \alpha = \arcsin \frac{P_z \cdot \sin(90^\circ - \psi)}{S} . \quad (13)$$

Направление вращения заглубляющего момента определяется из условия:

$$\begin{aligned} \alpha < 90^\circ - \xi_1 &\rightarrow + \\ \alpha > 90^\circ - \xi_1 &\rightarrow - \end{aligned} , \quad (14)$$

где ξ_1 – угол наклона остова мотоблока по мере заглубления плуга:

$$\xi_1 = \arcsin \frac{r_{\bar{e}} + z}{r_{i\bar{o}}} . \quad (15)$$

Плечо заглубляющего момента определим по формуле:

$$\rho_{zx} = r_{i\bar{o}} \cdot \sin(90 - \xi_1 - \alpha) . \quad (16)$$

В качестве примера рассмотрим работу мотоагрегата на базе мотоблока «Мотор-Сич» с плугом.

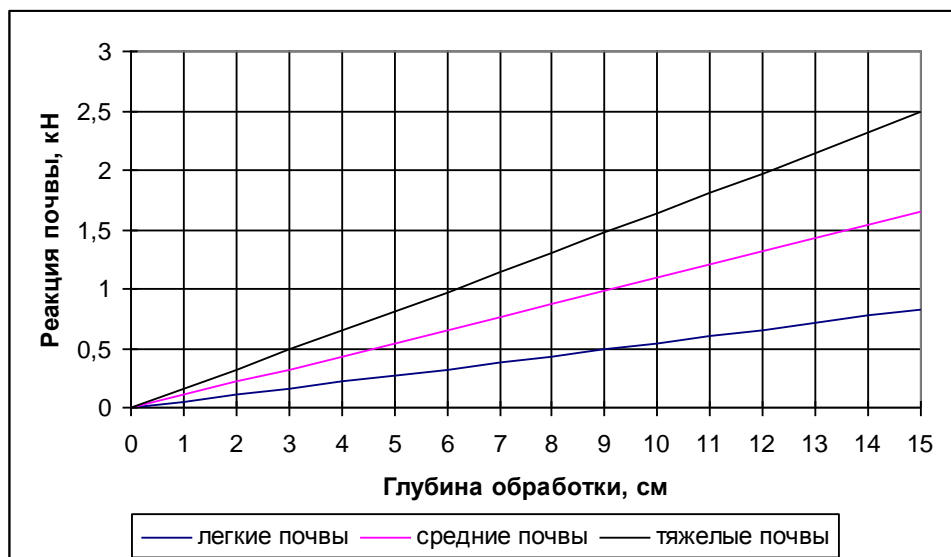


Рисунок 5 - Реакция почвы в зависимости от глубины обработки.

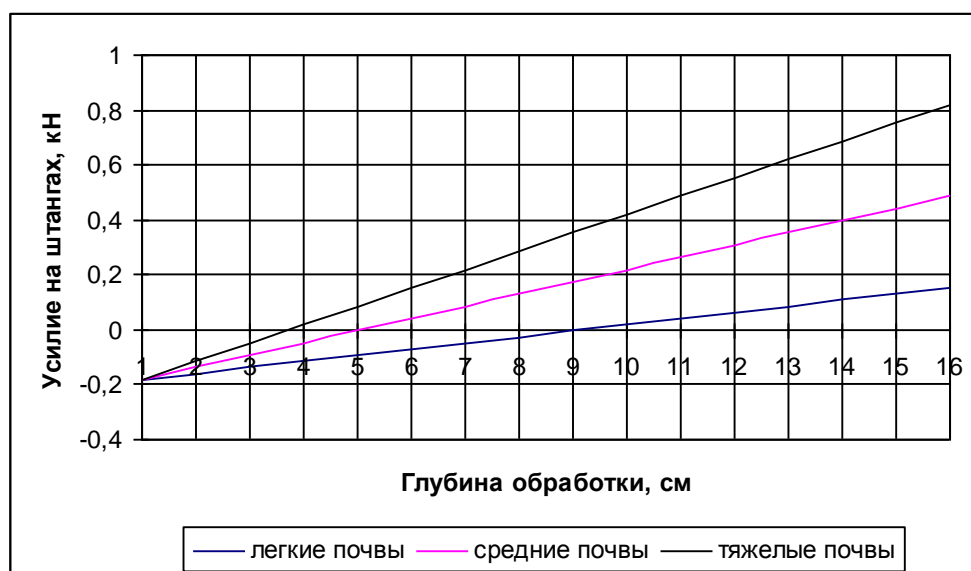


Рисунок 6 - Усилия оператора, прикладываемые на штанги управления в вертикальной плоскости в зависимости от глубины обработки.

Из графика на рис. 6 видно, что при работе на средних и тяжелых почвах оператор вынужден прикладывать усилия на штанги управления, ограничивающие глубину пахотного слоя, значительно больше допустимых (до 200 Н). Для снижения силовой нагрузки на оператора в вертикальной плоскости необходимо применять опорные колеса.

Выводы.

На основе анализа работы пахотного мотоагрегата установлено, что с увеличением глубины пахотного слоя увеличивается внешний момент сопротивления движению, а следовательно и крутящий момент на оси колес. Это, в свою очередь, приводит к увеличению реактивного момента, способствующего заглоблению плуга.

Оператор вынужден прикладывать физические усилия на штанги управления в вертикальной плоскости с целью регулирования глубины обрабатываемого слоя и обеспечения преодоления внешних сил сопротивления мотоагрегатом. Означенные усилия значительно превышают допустимые в два и более раз.

Для снижения физической нагрузки на оператора необходимо применять на пахотных агрегатах опорные колеса.

Список использованных источников

1. Овсянников С . Исследования силового управляющего взаимодействия в подсистеме «Оператор-мотоблок» / С . Овсянников, А . Марчишак. // Вісн. наук. праць ХНТУСГ : вип. 123 "Системотехніка і технології лісового комплексу". – Х. : 2012. – С. 20-26.

2. Овсянников С . І . Методика визначення енерговитрат оператора під час керування мотоагрегатів / С . І . Овсянников // Сільськогосподарські машини : Зб. наук. ст.. – Вип. 25. – Луцьк: Ред. – вид. відділ Луцького НТУ, 2013. – С. 93 - 101.

3. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин. В двух томах. Том 2 / Под ред. инж. А . В . Красниченко // Гос. науч.-техн. издат. Машиностроительной литературы. – М.: 1961. – С. 5-19.

4. Овсянников С. Силовое взаимодействие оператора при управлении мотоагрегатом / С. Овсянников // Вісн. НТУ "ХПИ", серія : Автомобіле- та тракторобудування. 2012. – № 60. – С. 25-30.

Анотація

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ОРНИХ МОТОВАГРЕГАТІВ

Овсянніков С.І.

Розглянуто дія сил і моментів на орний мотоагрегат. Визначені основні закономірності розрахунку складових сил опору знаряддя в режимах заглиблення та зміни глибини обробки. Встановлено, що фізичні зусилля оператора, які направлені на регулювання глибини обробки ґрунту, значно перевищують допустимі.

Abstract

FEATURES OF CALCULATION OF ARABLE WALKING TRACTOR

Ovsyannikov S.

Operating of forces and moments is considered on an arable walking tractor. Basic conformities to law of calculation of making forces of resistance an instrument are certain in the mode of increase and change of depth of treatment. It is set that physical efforts of operator, treatments of soil directed on adjusting of depth, the possible exceed considerably.