

Polish Academy of Sciences  
University of Engineering and Economics in Rzeszów  
University of Life Sciences in Lublin  
Faculty of Production Engineering

# **MOTROL**

**COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS  
IN AGRICULTURE**

**AN INTERNATIONAL JOURNAL  
ON OPERATION OF FARM  
AND AGRI-FOOD INDUSTRY MACHINERY**

**Vol. 17, No 9**

**LUBLIN – RZESZÓW 2015**

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ КОЛЕБАНИЙ РЫХЛИТЕЛЯ ПЛУГА ДЛЯ ВЫКОПКИ САЖЕНЦЕВ

*Александр Матковский*

*Таврический государственный агротехнологический университет*

*Пр. Б. Хмельницкого, 18, Мелитополь, 72310, Украина. E-mail: aimatkovski@mail.ru*

*Aleksandr Matkovskyi*

*Tavria State Agrotechnological University*

*B. Khmelnitsky Avenue, 18, Melitopol, 72310, Ukraine. E-mail: aimatkovski@mail.ru*

**Аннотация.** Рассмотрен механизированный процесс выкопки саженцев плодовых культур с рыхлением почвенного пласта и сепарацией грунтовых агрегатов. Процесс предполагает перемещение почвенного пласта с корневой системой саженца на высоту, превышающую глубину выкопки. Обеспечение необходимой степени разрыхления почвенного пласта с корневой системой позволяет создать оптимальные условия труда работников на выборке саженцев по показателям трудового процесса. Корневая система саженцев во время выборки размещается в почвенном слое с достаточно нарушенными связями между почвенными агрегатами. Такое состояние позволяет извлекать саженцы из почвы с минимальными повреждениями корней. Исследовано движение почвенного пласта с саженцем по колеблющемуся рыхлителю и определены режимы колебаний, способствующие снижению силы связей между почвенными агрегатами. Приведен метод определения режимов колебаний рыхлителя выкопочно-го плуга при перемещении и рыхлении почвы с корневой системой саженцев на поверхность поля. Определена критическая частота вращения приводного вала для режима колебаний с подбрасыванием почвы. Рассмотрены условия перемещения почвы с саженцами по рабочим поверхностям рыхлителя значительной длины, которое приводит к увеличению усилий на обеспечение движения. Такое перемещение требует исследования с целью создания поверхностей, имеющих меньшую площадь контакта и время нахождения во взаимодействии. Доказано, что рыхление почвы с корневой системой саженцев будет достаточным, если во время извлечения саженцев из почвы рабочими, усилия на их вытягивание не превышают нормативных требований. Такие условия труда можно обеспечить при режиме работы рыхлителя с подбрасыванием почвы с корневой системой саженцев.

**Ключевые слова:** выкопчный плуг, параметры разрыхлителя, режим колебаний, выкапывание саженцев.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Технологический процесс выкапывания саженцев выкопчным плугом вмещает операции отделения (вырезание) и перемещения грунтового пласта с корневой системой саженца на высоту, превышаю-

щую глубину выкапывания с последующим гравитационным падением на дно борозды [1, 2, 3,4,]. Следующей операцией является выборка, которая осуществляется извлечением саженцев из почвы [5]. Усилия на вытягивание саженцев должно соответствовать условиям труда по показателям трудового процесса. На усилия влияет степень разрыхления почвы.

Перемещение почвы по рабочим поверхностям, имеющих значительную длину приводит к повышению усилий на обеспечение движения [6, 7, 8]. Это можно отнести к задачам, требующих рассмотрения для уменьшения площади контакта и время нахождения во взаимодействии [9, 10, 11].

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

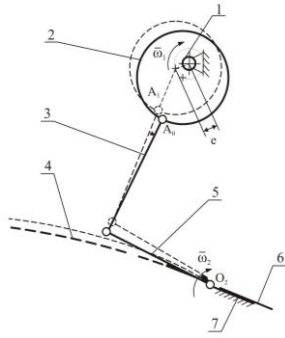
Изучению механики движения почвенного слоя посвящены исследования, касающиеся двугранного и трехгранного клина [12, 13, 14, 15, 16]. В данных работах перемещение грунта, при условии подпора со стороны неразрушенной почвенной среды, происходит по поверхностям параметры положения которых остаются неизменными. Отличаются условия движения, если положения поверхностей изменяется от колебаний во время перемещения почвы и дополнительно ставится задача разрушения связей между почвенными агрегатами. Это требует изучения условий обеспечения такого движения и влияния колебаний на разрыхление почвы [17, 18].

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исследовать движение почвенного пласта и саженцев по рыхлителю для определения режимов колебаний активного разрушения связей между почвенными агрегатами.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Рабочий орган состоит из выкопчной скобы и рыхлителя, установленного на выкопчном плуге ВПН - 2. Отделение почвы с корневой системой саженца осуществляется выкопчной скобой 6, шарнирно присоединенным к ней рыхлителем 4 осуществляет дальнейшее перемещение её к поверхности поля (рис. 1).



**Рис. 1.** Кинематическая схема привода разрыхлителя плуга: 1 – приводной вал; 2 – эксцентрик; 3 – эксцентриковая тяга; 4 – разрыхлитель; 5 – рычаг; 6 – выкопчная скоба; 7 – башмак.

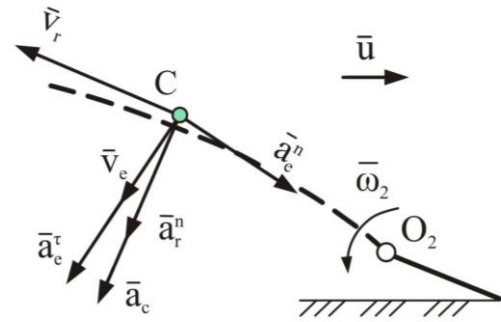
**Fig. 1.** Kinematic scheme for plough ripper drive: 1 – drive shaft, 2 – eccentric, 3 – eccentric drive, 4 – ripper, 5 – lever, 6 – undercutter, 7 – bearing plate

Разрыхлитель колеблется вокруг горизонтальной оси продольно направлению движения выкопчного плуга от воздействия на него через рычаг 5 эксцентриковой тяги 3, которая приводится во вращение через эксцентрик 2 приводным валом 1.

Перемещение грунта с корневой системой происходит при его скольжении по поверхности, обеспечивается силой подпора со стороны неразрушенного почвенного горизонта. Это возможно когда сила сопротивления пласта сжатию будет достаточно для преодоления сил трения. Поэтому деформацию сжатия пласта за счет сил трения и веса во время его движения по поверхности разрыхлителя можно не учитывать. Принимаем за основу недеформированную модель отделенной почвы с корневой системой [19, 20].

Рассмотрим движение почвенных агрегатов с корневой системой после схода со скобы, как объекта, на который направлено действие разрыхлителя. Почва с корневой системой, двигаясь по разрыхлителю, производит относительное к нему и переносное с ним движение. Колебания разрыхлителя вызывают у почвенных агрегатов с корневой системой поворотное переносное движение. Абсолютное движение почвенных агрегатов происходит по отношению к полю. Если рассматривать движение почвы с корневой системой в отношении разрыхлителя, который движется относительно грунтового массива (поля), то имеем случай относительного движения.

Изобразим схему ускорений и скоростей для материальной точке С в которой сконцентрировано массу системы «почва - корневая система саженца» во время движения по разрыхлителю для случая когда он движется вниз (рис. 2).



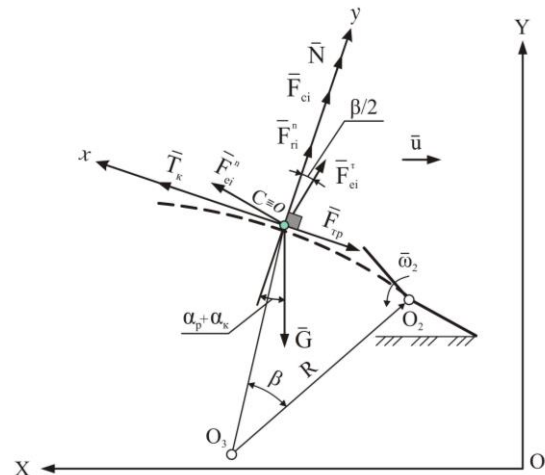
**Рис. 2.** Ускорения и скорости системы «почва - корневая система» т. С во время движения разрыхлителя вниз

**Fig. 2.** Acceleration and speeds in point C when ripper moves downward

На схеме (рис.2) для т. С отражены ускорения:  $\bar{a}_e^\tau$  – касательное ускорение переносного движения,  $\bar{a}_e^n$  – нормальное ускорение переносного движения,

$\bar{a}_n$  – ускорение Кориолиса; скорости:  $\bar{u}$  – скорость движения агрегата,  $\bar{v}_r$  – относительная скорость (по модулю равна скорости агрегата).

Выберем систему подвижных осей координат Сху (рис. 3), связанной с разрыхлителем, ось Сх направим по направлению относительной скорости (левая система осей координат). Сделаем допущения: движение почвы с корневой системой по направлению оси х будет прямолинейным, считая малую кривизну поверхности разрыхлителя (для предварительно принятого радиуса его дуги). Траектория перемещения т. С от колебаний разрыхлителя в направлении оси у будет прямолинейной в виду малого угла колебаний.



**Рис. 3.** Схема сил, действующих на т.С время движения по разрыхлителю вниз

**Fig. 3.** Scheme of forces acting on point C when ripper moves upward

Уравнения относительного движения грунтовых агрегатов для случая движения разрыхлителя вниз имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= \dot{O}_e + F_{ei}^n \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) + F_{ei}^\tau \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) - G \cdot \sin(\alpha_p + \alpha_e) - F_{\delta\delta} = 0 \\ m\ddot{y} &= N + F_{ei}^n \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) + F_{ri}^n - G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_e) - F_{ei}^\tau \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) - F_{ci} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Уравнение относительного движения грунтовых агрегатов для случая движения рыхлителя вниз по оси  $y$  имеют вид:

$$m\ddot{y} = N + F_{ei}^n \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) + F_{ri}^n - F_{ei}^t \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) + F_{ci} - G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_e) \quad (2)$$

Составляющие уравнения (2):

переносная касательная сила инерции:

$$F_{ei}^t = m \cdot \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) v_r \cdot t}{l_{\hat{a}}}, \quad (3)$$

кориолисова сила инерции:

$$F_{ci} = 2m \cdot \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) v_r}{l_{\hat{a}}}, \quad (4)$$

относительная нормальная сила инерции:

$$F_{r3}^n = m \frac{v_r^2}{R}, \quad (5)$$

сила тяжести:

$$G = m \cdot g. \quad (6)$$

Грунтовые агрегаты остаются на поверхности рыхлителя при колебаниях, если  $N > 0$ . Если это условие не выполняется, то они отрываются от поверхности и тогда  $F_{mp} = Nf = 0$ .

Уравнение (6) полета грунтовых агрегатов после сокращения на  $m$  примет вид:

$$\ddot{y} = \left( \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r}{l} \right)^2 v_r \cdot t \cdot \sin\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right) + \frac{v_r^2}{R} + \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) v_r \cdot t \cdot \cos\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right) + 2 \cdot \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r}{l} - g \cdot \cos\left(\alpha_{\partial i} - \frac{v_r \cdot t}{R} + \frac{\dot{a} \cdot (1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l}\right)}{1} \quad (7)$$

где:  $e$  – эксцентриситет,  $\omega_1$  – угловая скорость эксцентрика,  $l$  – длина рычага;  $R$  – радиус кривизны поверхности;  $t$  – момент времени;  $g$  – ускорение свободного падения.

Условие динамического равновесия в момент отрыва почвы с корневой системой, когда  $\ddot{y} = 0$  имеет вид:

$$\left( \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r}{l} \right)^2 v_r \cdot t \cdot \sin\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right) + \frac{v_r^2}{R} + \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) v_r \cdot t \cdot \cos\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right) + 2 \cdot \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r}{l} - g \cdot \cos\left(\alpha_{\partial i} - \frac{v_r \cdot t}{R} + \frac{\dot{a} \cdot (1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l}\right)}{1} = 0. \quad (8)$$

Максимальное ускорение

$e \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) \omega_1^2 = e \cdot \omega_1^2$  возможно для первого оборота эксцентрика при  $\omega_1 \cdot t = \pi$ , поэтому уравнение (8) примет вид:

$$\frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) v_r \cdot t \cdot \cos\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right)}{l} = g \cdot \cos\left(\alpha_{\partial i} - \frac{v_r \cdot t}{R} + \frac{\dot{a} \cdot (1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l}\right) - \frac{v_r^2}{R} \quad (9)$$

Левая часть уравнения (9) является ускорением колебаний. Параметр кинематического режима  $K$  составит:

$$\hat{E} = \frac{e \cdot \omega_1^2}{g} = \frac{l \cdot \cos\left(\alpha_{\partial i} - \frac{v_r \cdot t}{R} + \frac{\dot{a} \cdot (1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l}\right) - \frac{v_r^2}{R}}{v_r \cdot t \cdot \cos\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right)}. \quad (10)$$

По величине коэффициента  $K$  можно получить режимы работы рыхлителя: если  $K > 1$  – движение почвенных агрегатов происходит с отрывом от поверхности рыхлителя (режим с подбрасыванием); если  $K < 1$  – движение почвенных агрегатов происходит без отрыва от поверхности рыхлителя.

В уравнении (10) если выразить угловую скорость эксцентрика через число оборотов:

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n}{30}, \quad (11)$$

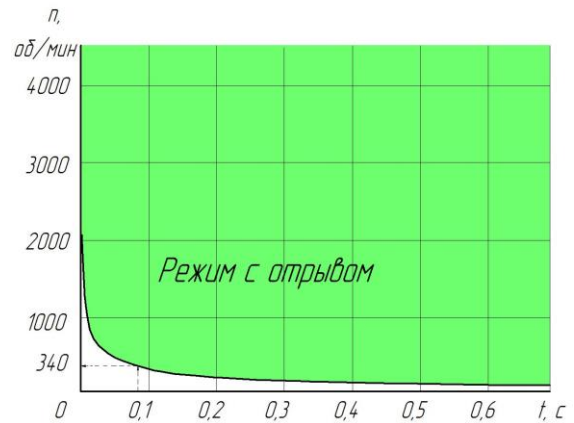
то можно определить критическую частоту вращения эксцентрика для режима с подбрасыванием:

$$n_e \geq \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g \cdot \cos\left(\alpha_{\partial i} - \frac{v_r \cdot t}{R} + \frac{\dot{a} \cdot (1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l}\right) - \frac{v_r^2}{R}}{e \cdot v_r \cdot t \cdot \cos\left(\frac{v_r \cdot t}{R}\right)}} \cdot l. \quad (12)$$

Полученная зависимость дает возможность рассчитать и выбрать необходимые пределы изменения конструктивных параметров и режимов работы рыхлителя при экспериментальных исследованиях.

По полученной формуле (14) для  $n_k$  построен график критической частоты вращения эксцентрика, где есть область (отмечена заливкой) когда движение грунтовых агрегатов с корневой системой будет происходить с отрывом от поверхности рыхлителя. Расчет выполнен для исходных данных:  $v_r = 1,5$  м/с;

$e = 0,019$  м;  $\omega_1 = 40$  рад/с;  $\alpha_p = 0,38$  рад;  $l = 0,4$  м;  
 $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>;  $R = 2,7$  м;  $L = 1$



**Рис. 4.** Критическая частоты вращения эксцентрика в функции от времени взаимодействия  $t$  рыхлителя с почвой

**Fig. 4.** The curve of eccentric rotation critical frequency during integration  $t$  ripper and soil

График (рис. 4) позволяет определять критические обороты эксцентрика. Для исходных параметров:  $l$ ,  $e$ ,  $v_r$  нужно определить время начала отрыва, зависящее от количества колебаний  $n$  и длины рыхлителя  $L$ . Сначала, определяется время перемещения почвенных агрегатов по рыхлительно после их схода со скобы до падения на дно борозды:

$$T = \frac{L}{v_r}. \quad (13)$$

Далее, задавшись числом колебаний рыхлителя  $n$  за время  $T$ , определяем продолжительность одного колебания:

$$t_{\hat{e}} = \frac{T}{n}. \quad (14)$$

Необходимо, чтобы отрыв грунтовых агрегатов начался за время больше половины первого периода вращения эксцентрика, поэтому время отрыва составит:

$$t_{\hat{a}} \geq \frac{t_{\hat{e}}}{2}. \quad (15)$$

Для  $n = 4$  время отрыва составит  $t_{\hat{e}} = 0,083$  с., которое откладываем на оси времени (рис. 4) и восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с кривой графика. Далее опускаем перпендикуляр на ось значений частоты вращения и получаем значения критических оборотов  $n_k \approx 340$  об / мин.

#### ВЫВОДЫ

По результатам исследований получена зависимость для определения параметров и кинематических режимов работы рыхлителя, позволяющая провести выбор и последующую оптимизацию:

1. конструктивных параметров: длины рычага, длины рыхлителя, величины эксцентриситета;
2. кинематических параметров: частоты вращения эксцентрика, количества колебаний рыхлителя за время взаимодействия с почвой и саженцами.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Фришев С.Г. 1997.** Для выкапывания саженцев плодовых культур. Техника в АПК. № 2, 28–29. (Украина).
2. **Сафонов О.А. 1997.** Механизация выращивания саженцев. Техника в АПК. № 2, 26–27. (Украина).
3. **Клиновой С.И. 1994** Обоснование технологического процесса выкопки саженцев и параметров вибрационного копателя : автореф. дис. канд. техн. наук. М.: [б. в.], 25.
4. **Фришев С.Г. 1998.** Обоснование и разработка технологического комплекса машин для возделывания посадочного материала плодовых культур: дис... док. техн. наук : 05.20.01 К : 296
5. **Коваль Я. 2013.** Изгиб корня под воздействием рабочего органа корчевательной машины. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture –Vol. 15. No 3. 288-292
6. **Бледных В.С., Олейников С.В. 1984.** Построение рабочей поверхности корпуса плуга на основе технологических требований. Совершенствование методов использования сельскохозяйственной техники. Научн. труды ЧИМЭСХ. Челябинск. 82–85
7. **Бледных В.С. 1990.** Тяговое сопротивление рабочих органов почвообрабатывающих машин. Почвообрабатывающие машины и динамика агрегатов. Сбор. научн. трудов. ЧИМЭСХ. Челябинск. 10–16.
8. Вопросы технологии механизации сельскохозяйственного производства. 1963. ЦНИИМи-ЭСХ Нечерноземной зоны СССР. Минск.: Госиздат с -х . литературы БССР, 263.
9. **Ксендзов В.А. Байдулетов К.О. 1991.** Механика взаимодействия двугранного клина со связным пластом почвы. Тракторы и сельскохозяйственные машины. №3, 27–28.
10. **Флайшер Н.М. 1979.** К теории тягового сопротивления плуга. Механизация и электрификация соц. сел. хоз-ва. №35, 46–50.
11. **Баловнев В.И. 1981.** Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно - строительных машин. Москва, 335.
12. **Строй А.А. 1986.** К обоснованию некоторых размеров колеблющейся трапецеи-дальной рамки выкопной скобы. Совершенствование процессов и рабочих органов сельскохозяйственных машин. Сборник научных трудов УСХА. Киев, 99-104
13. **Клецкин Н.И. 1980.** Сельскохозяйственные машины. М.: Машиностроение, 431.
14. **Синеоков Г.Н., Панов И.М. 1977.** Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение, 328.
15. **Зеленин А.Н. 1968.** Основы разрушения грунтов механическими способами М.: Машиностроение, 376.
16. **Павлов А.В., Корабельский В.И., Павлоцкий А.С. 1975.** Геометрическое обоснование формы поверхности, совмещающей рациональное резание пласта почвы с его деформацией. Сб. прикл. геом. и инж. граф. № 19, 127–127.
17. **Грибановский А.П. 1974.** Оценка влияния скорости резания и геометрических параметров двугранного клина на его тяговое сопротивление. Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. №1, 96–99.
18. **Грушанский О.А. 1994.** Исследование технологии и обоснование параметров рабочего органа машины для пересадки крупномерных деревьев с комом земли : автореф. дис. на получение наук. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.01 «Механизация сельскохозяйственного производства». Украинский госуд. агр. ун-т. Киев, 29.
19. **Кудриницкий Р.Б. 2001.** Взаимодействие двугранного клина с почвой. Механизация и электрификация сельского хозяйства. Вип. 85. 85–90. (Украина).
20. **Kovbasa V. 2011.** Fizichni tivnyannya deformuvannya gruntu z suttevim proyavom v' yazkoplastichnikh vlastivostey./ Volodymyr

**DETERMINATION OF PARAMETERS AND  
MODES OF PLOUGH LIFTER FLUCTUATIONS  
FOR NURSERY TRANSPLANTS EXCAVATION**

**Summary.** The mechanized process of fruit trees stocks digging out with loosening the soil layer and ground aggregates separation has been considered in the article. The process presupposes the soil layer moving with stock root system at the height exceeding the digging out depth. Proving the needed degree of soil layer loosening with root system enables to create optimal conditions for workers when sampling the stocks by work flows indices. The root system of the stock in the course of sampling is located in the ground layer having seriously damaged connections between ground aggregates. Such a state enables to dig the stocks out of the soil with minimal damage of the roots. The moving of the soil layer with stocks along oscillating ripper has been researched as well as the oscillating modes providing the decrease of the connections between ground aggregates have been defined. The technique for determining parameters of digger lifter to study the fluctuation

modes during breaking up of with nursery transplant root system on field surface have been suggested. The method for defining the excavating plough ripper oscillation modes when moving and loosening the soil with planting stocks root system to the field surface has been given. The critical frequency of driving shaft rotation for the mode with throwing soil up has been defined. The conditions of moving the soil with planting stocks along the working surfaces of the ripper having considerable length results to increasing the efforts for proving the movement have been considered. The above movement needs studying in order to create surfaces possessing smaller contact surface and time of being in the interaction. It was proved that soil loosening with planting stocks root system will be sufficient if under extracting the planting stocks from the soil by the workers the efforts needed for their extracting don't exceed normative requirements. These operation conditions may be provided under the ripper operation mode with throwing soil up with planting stocks root system.

**Keywords:** digger, lifter parameters, fluctuation modes, excavation of nursery transplants.