

## КОСВЕННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОНЫ ГЛУБОКОГО РЫХЛЕНИЯ ГРУНТА ПАССИВНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ МЕЛИОРАТИВНЫХ МАШИН

**В. И. ПЕТРОЧЕНКО**

*Институт водных проблем и мелиорации НААН Украины,  
г. Киев, Украина, 03022, e-mail: v\_petr47@ukr.net*

*(Поступила в редакцию 15.01.2018)*

*В статье обоснована необходимость оценки качества глубокого мелиоративного рыхления грунта и укладки бестраншейным способом дренажа и пленочных противofильтрационных завес по объему грунта, разрушаемого режущими элементами пассивных землеройных рабочих органов мелиоративных машин. Качество выполнения процесса глубокого резания грунта пассивными рабочими органами мелиоративных машин снижается при уплотнении грунта режущими элементами рабочих органов и повышается при достижении эффекта объемного рыхления. Эффект объемного рыхления грунта предложено оценивать площадью поперечного сечения зоны рыхления грунта, по которой определяют объем разрыхленного грунта на единицу длины пути передвижения мелиоративной машины. Для определения площади поперечного сечения зоны рыхления предложен метод, который исключает необходимость откапывания шурфа в грунте. В основу разработки нового метода положены закономерности образования зон рыхления грунта. При проведении исследований использованы основные положения теории резания грунтов. В заключении были сделаны выводы о целесообразности практического применения предлагаемого метода при испытании новых и использовании в технологических процессах существующих пассивных землеройных рабочих органов мелиоративных машин.*

**Ключевые слова:** *мелиоративная машина, пассивный землеройный рабочий орган, критическая глубина резания грунта, заблокированное резание грунта, зона рыхления грунта, коэффициент разрыхления грунта.*

*The article substantiates the necessity of assessing the quality of deep meliorative loosening of soil and the laying, by no-trench method, of drainage and film anti-filtration curtains according to the volume of soil destroyed by cutting elements of passive earthmoving working organs of melioration machines. The quality of the process of deep cutting of soil by the passive working bodies of reclamation machines is reduced when the soil is compacted with cutting elements of working organs and increases when the volume loosening effect is achieved. We suggest estimating the effect of voluminous loosening of the soil by the cross-sectional area of loosening zone of the soil, according to which the volume of loosened soil is determined per unit of length of the path of melioration machine. To determine the cross-sectional area of loosening zone, we suggest a method that eliminates the need for digging a hole in the ground. The new method is based on the patterns of formation of soil loosening zones. During the research, the main provisions of the theory of soils cutting were used. In conclusion, conclusions were drawn about the advisability of practical application of the proposed method for testing new and using existing passive excavation work tools of melioration machines in technological processes.*

**Key words:** *melioration machine, passive excavating tool, critical depth of soil cutting, blocked cutting of soil, loosening area of soil, coefficient of soil loosening.*

### **Введение**

К основным видам мелиоративных машин с пассивными рабочими органами глубокого резания грунта относятся: мелиоративные рыхлители, бестраншейные дреноукладчики, бестраншейные укладчики пленочных противofильтрационных завес. Особенностью пассивных землеройных рабочих органов мелиоративных машин является то, что они выполняют технологические процессы, используя энергию, получаемую от движителя базовой машины. В связи с этим они отличаются от землеройных рабочих органов активного действия более простой в изготовлении и удобной в обслуживании конструкцией, малой энергоемкостью, высокой производительностью, а следовательно, экономичностью. Однако по качеству выполнения технологических процессов пассивные рабочие органы в большинстве случаев уступают рабочим органам активного действия. Основной причиной этому является глубинное уплотнение грунта в процессе его резания пассивными рабочими органами глубокорыхлителей, бестраншейных укладчиков дренажа и пленочных противofильтрационных завес.

Мелиоративное рыхление тяжелых переувлажненных грунтов выполняют на глубину не менее 0,6 м с целью улучшения агрегатного состояния и водно-воздушного режима грунтов в период вегетации растений [13]. Однако при рыхлении грунтов повышенной влажности, а также при использовании рыхлителей с изношенными стойками и узкими долотами, эффект глубокого рыхления не достигается. Зачастую вместо образования необходимой для корневой системы растений объемной зоны разрыхленного грунта, стойки рыхлителей прорезают щели в грунте с уплотненными стенками.

Установлено также, что водоприемная способность и эффективность работы бестраншейного дренажа в 2–4 раза ниже по сравнению с дренажем, построенным траншейным способом [11]. Это объясняется образованием зоны уплотненного грунта в придренной зоне в процессе резания щелей в грунте ножевыми рабочими органами бестраншейных дреноукладчиков.

Уплотнение грунта также отрицательно сказывается на качестве выполнения технологического процесса укладки противофильтрационных завес из пленки бестраншейным рабочим органом [3]. На боковые стенки полого треугольного пленкопротяжного кожуха действует сила реакции уплотненного грунта, что приводит к сжатию кожуха, сужению пленкопротяжной полости и вследствие этого, к нарушению процесса разворота пленки и ее укладки в виде необходимой пленочной завесы.

Таким образом, качество выполнения процессов глубокого резания грунта пассивными рабочими органами мелиоративных машин различного технологического назначения снижается при уплотнении и повышается при разрыхлении грунта в зоне передвижения режущих элементов рабочих органов. В связи с этим возникает необходимость определения некоторого показателя объемного рыхления грунта пассивными землеройными рабочими органами мелиоративных машин. Таким показателем является площадь поперечного сечения зоны рыхления грунта, поскольку она определяет объем разрыхленного грунта на единицу длины пути передвижения рабочего органа.

Обычно, например, в исследованиях Е. Д. Томина [12], площадь поперечного сечения зоны рыхления грунта определяют, используя достаточно трудоемкий процесс откапывания шурфа в грунте поперек трассы рабочего передвижения мелиоративной машины.

Целью данного исследования является разработка менее трудоемкого, удобного для практического применения экспресс-метода определения объема рыхления грунта пассивными землеройными рабочими органами мелиоративных машин, исключающего необходимость откапывания шурфа.

### Основная часть

Новый метод разработан на основе закономерностей образования пассивными землеройными рабочими органами мелиоративных машин зон глубокого рыхления грунта, в зависимости от расположения в пространстве режущих элементов рабочих органов, или же в зависимости от схем глубокого резания. Схемы глубокого резания грунта исследовались многими исследователями и совершенствовались с целью достижения двух эффектов: увеличения зоны объемного рыхления грунта и снижения тягового сопротивления на рабочих органах [6–8, 12]. Установлено [10], что эти два эффекта достигаются путем применения процесса ступенчатого (ярусного) резания грунта.

На рис. 1а показана схема наиболее простого ступенчатого глубокорыхлителя, состоящего из вертикального черенкового ножа 1, на котором ступенчато закреплены долота 2. На рис. 1б показана схема ступенчатого рабочего органа бестраншейного дренаукладчика, который осуществляет укладку дренажной трубы в разрыхленный долотами грунт. На рис. 1в показана схема ступенчатого рабочего органа бестраншейного укладчика пленочных противофильтрационных завес, полый треугольный пленкопротяжный кожух 5 которого передвигается в зоне разрыхленного грунта и не испытывает со стороны грунта значительного бокового давления. Кроме того, использование долот 2 дает возможность на их продолжениях устанавливать ребра жесткости 6 кожуха 5 [5].

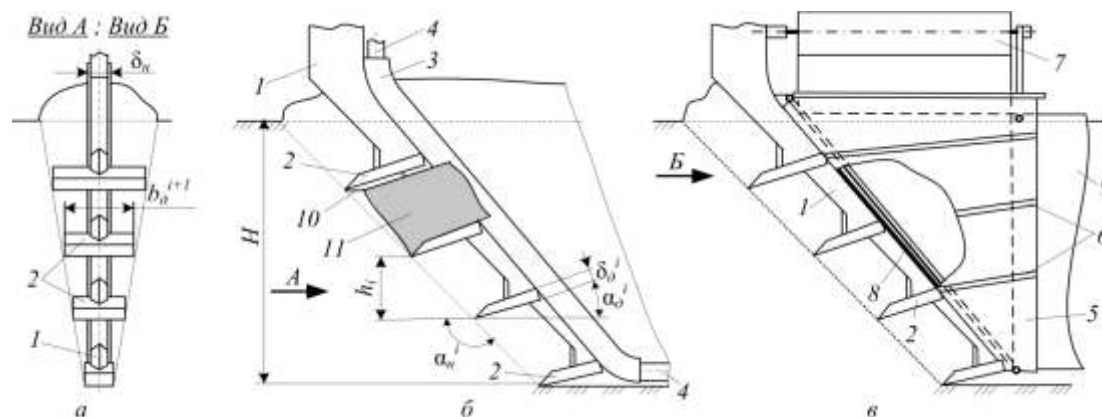


Рис. 1. Конструкции ступенчатых рабочих органов глубокого резания грунта:

- а – глубокорыхлителя; б – бестраншейного укладчика трубчатого дренажа; в – бестраншейного укладчика пленочных противофильтрационных завес; 1 – вертикальный нож; 2 – долото; 3 – кожух подачи дренажной трубы; 4 – дренажная труба; 5 – кожух разворота и подачи в грунт пленки; 6 – ребро жесткости; 7 – рулон с пленкой; 8 – пластина разворота пленки; 9 – завеса; 10 – искусственный горизонт открытой поверхности грунта; 11 – стружка грунта

Согласно исследованиям [9, 10], для достижения технологической возможности и высокого качества выполнения процесса глубокого ступенчатого резания грунта, параметры режущих элементов рабочих органов должны соответствовать двум критериальным условиям.

Первым условием является необходимость образования над каждой срезаемой стружкой 11 искусственного горизонта 10 открытой поверхности грунта. Для этого тупой угол резания  $\alpha_n^i$  на каждой  $i$ -й ступени ножа 1 должен составлять не менее  $125\text{--}135^\circ$ , что дает возможность каждому

вышерасположенному долоту 2 срезать стружку грунта 11 с опережением относительно нижерасположенного долота 2.

Вторым условием является возможность свободного прохождения (без заклинивания) срезаемых стружек грунта между нижерасположенным  $i$ -м и вышерасположенным  $(i+1)$ -м долотом. Для этого, согласно [10], параметры режущих элементов должны соответствовать неравенствам:

$$\alpha_o^{i+1} \geq \alpha_o^i; \quad (1)$$

$$\frac{\sin \alpha_n^i - \alpha_o^i}{\sin \alpha_n^i} \left( 1 - \frac{2\delta_n^i}{b_o^i + b_o^{i+1}} \right) - \frac{2\delta_n^i b_o^i - \delta_o^i}{b_o^i + b_o^{i+1} h_i} > k_p, \quad (2)$$

где  $\alpha_n^i$  и  $\alpha_n^{i+1}$  – угол резания на участке ножа 1 над нижерасположенным  $i$ -м и над вышерасположенным  $(i+1)$ -м долотом 2, град;  $\alpha_o^i$  и  $\alpha_o^{i+1}$  – угол резания на  $i$ -м и  $(i+1)$ -м смежных долотах, град;  $b_o^i$  и  $b_o^{i+1}$  – ширина нижнего  $i$ -го та верхнего  $(i+1)$ -го смежных долот, см;  $\delta_n^i$  – толщина ножа на  $i$ -й ступени, см;  $\delta_o^i$  – толщина  $i$ -го долота, см;  $k_p$  – коэффициент разрыхления грунта, который следует принимать по наибольшему его значению, например, для глины  $k_p = 1,35$ .

Очевидно, что деление общей глубины резания грунта на отдельные ступени (ярусы) как в технических решениях, представленных на рис. 1, так и в других технических решениях более сложного ступенчатого резания грунта [1, 2, 4], способствует достижению первого эффекта ступенчатого резания – увеличению зоны объемного рыхления грунта.

Второй эффект глубокого ступенчатого резания, который заключается в возможности снижения тягового сопротивления на ступенчатых землеройных рабочих органах, впервые на уровне гипотезы был установлен еще В. П. Горячкиным [7]. Теоретическими и экспериментальными исследованиями [9, 10] была доказана возможность снижения до 30 % тягового сопротивления на ступенчатых землеройных рабочих органах (рис. 1), по сравнению с черенковыми ножами, при условии соответствия параметров режущих элементов рабочих органов неравенствам (1) и (2).

В основу разработки нового метода положены результаты исследований [6, 8, 12] двух режимов резания грунта, – блокированного (докритического) и закритического резания, при которых образуются принципиально различные зоны рыхления грунта (рис. 2).

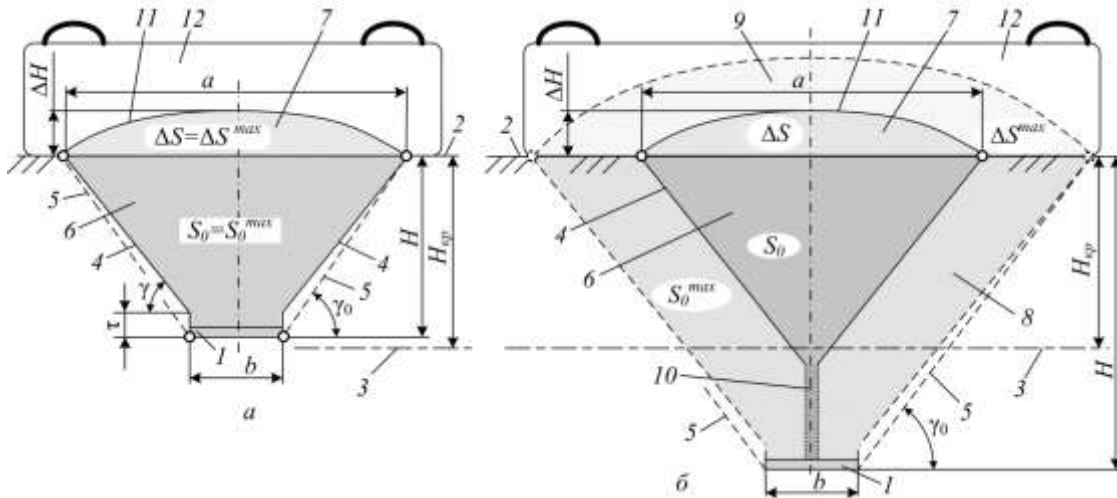


Рис. 2. Зоны рыхления грунта плоским ножом в зависимости от режимов резания:

$a$  – блокированное (докритическое) резание;  $b$  – закритическое резание; 1 – долото; 2 – поверхность земли; 3 – граница блокированного резания; 4 – фактическая поверхность расширения прорези в грунте; 5 – условная поверхность расширения прорези в грунте; 6 – подземная часть фактической зоны рыхления; 7 – наземная часть фактической зоны рыхления;

8 – подземная часть расчетной зоны рыхления; 9 – наземная часть расчетной зоны рыхления; 10 – щель в грунте;

11 – контур поперечного сечения наземной части фактической зоны рыхления; 12 – мерная пластина

При блокированном резании (рис. 2а) долото 1 передвигается выше границы блокированного резания 3, то есть глубина резания  $H$  не превышает критическую глубину резания  $H_{кр}$  ( $H \leq H_{кр}$ ). Площадь поперечного сечения зоны рыхления  $S_p$  состоит из площади  $S_0$  поперечного сечения подземной части зоны рыхления и площади  $\Delta S$  поперечного сечения наземной части зоны рыхления:

$$S_p = S_0 + \Delta S. \quad (3)$$

Соотношение площадей  $S_0$  и  $\Delta S$  определяют из уравнения:

$$\frac{S_0 + \Delta S}{S_0} = k_p \cdot \quad (4)$$

Эффект объемного рыхления целесообразно оценивать не по площади  $S_p$  всей зоны рыхления, а по площади  $S_0$  ее подземной части, которую на основе уравнения (4) можно представить так:

$$S_0 = \frac{\Delta S}{k_p - 1} \cdot \quad (5)$$

Объем рыхления грунта рабочим органом мелиоративной машины определяют по формуле:

$$V = S_0 L, \quad (6)$$

где  $V$  – начальный объем, который занимала масса разрыхленного грунта до рыхления;  $L$  – длина пути передвижения в грунте рабочего органа.

Для оценки эффекта объемного рыхления грунта предложено использовать коэффициент  $K_0$  в виде отношения площади  $S_0$  поперечного сечения подземной части фактической зоны рыхления к максимально возможной, под которой понимают площадь  $S_0^{max}$  поперечного сечения подземной части некоторой расчетной зоны рыхления с контуром, соответствующим блокированному резанию:

$$K_0 = S_0 / S_0^{max} \cdot \quad (7)$$

Для блокированного (докритического) резания (рис. 2а) всегда имеем:  $S_0 = S_0^{max}$ ;  $K_0 = 1$ .

Для закритического резания (рис. 2б):  $S_0 < S_0^{max}$ ;  $K_0 < 1$ .

Площадь  $S_0^{max}$  соответствует площади  $S_0$  только для блокированного резания. Для закритического резания параметр  $S_0^{max}$  принимают в качестве расчетного и используют только для оценки объемного рыхления грунта по формуле (7). В условиях закритического резания расчетную площадь  $S_0^{max}$  определяют на основе предположения, что контур зоны рыхления при глубине резания, превышающей критическую, будет таким же, как для зоны рыхления при блокированном резании.

Согласно результатам исследований Ю. А. Ветрова [6], параметр  $\tau$  (рис. 2а) при блокированном резании сравнительно небольшой и составляет  $\tau \leq 0,05H$ . Поэтому при расчетах площади  $S_0^{max}$  величиной  $\tau$  можно пренебречь. Фактическую поверхность 4 (рис. 2а) расширения прорези под углом  $\gamma$  можно заменить условной поверхностью 5 расширения прорези под углом  $\gamma_0$ . Тогда фактический контур подземной части зоны рыхления можно заменить контуром в виде обратной равнобедренной трапеции с нижним основанием равным ширине долота  $b$  и с углом расширения  $\gamma_0$  бедер 5. Учитывая также, что  $\gamma_0 > \gamma$ , а также то, что для суглинка  $\gamma \approx 42^\circ$  [6], при расчетах  $S_0^{max}$  можно принять  $\gamma_0 = 45^\circ$ .

Таким образом, с некоторыми допущениями можно принять расчетный (ожидаемый для случая блокированного резания) контур зоны рыхления в виде обратной равнобедренной трапеции с площадью, равной расчетной (ожидаемой) площади  $S_0^{max}$ , которую можно определить по формуле:

$$S_0^{max} = b + tg\gamma_0 H \quad H = b + H \quad (8)$$

Подставив в (7) значение  $S_0$  из (5) и  $S_0^{max}$  из (8), имеем для закритического резания грунта горизонтальным плоским долотом формулу расчета коэффициента  $K_0$ :

$$K_0 = \frac{\Delta S}{k_p - 1} \cdot \frac{1}{b + H} \cdot \frac{1}{H} \cdot \quad (9)$$

Площадь  $\Delta S$  в полевых условиях определяют с помощью мерной пластины 12 (рис. 2). Для этого после передвижения в грунте рабочего органа пластину 12 погружают в разрыхленный валик грунта в плоскости поперечного сечения верхней части зоны рыхления до соприкосновения рабочей кромки пластины 12 с поверхностью земли. На боковой поверхности пластины 12 фиксируют, например мелом, контур 11 поперечного сечения наземной части зоны рыхления 7. Если контур 11 имеет вид сложной линии, площадь  $\Delta S$ , ограниченную контуром 11, измеряют по частям. Если контур 11 имеет вид дуги (рис. 2), площадь  $\Delta S$  может быть определена по формуле площади сегмента:

$$\Delta S = 2/3 a \Delta H, \quad (10)$$

где  $a$  – ширина зоны рыхления на уровне поверхности земли;  $\Delta H$  – высота контура 11.

Для получения более точных результатов расчета с использованием формул (4), (5) и (8), коэффициент разрыхления грунта  $k_p$  определяют экспериментально в период работы мелиоративной машины. Для этого из материковой породы отбирают пробу грунта ненарушенной структуры массой  $m$  с помощью режущего кольца 1, например, режущего кольца ПГ-200 по ГОСТ 5180. Затем пробу грунта массой  $m$  разрыхляют любым механическим способом и отсыпают в разрыхленном состоянии в мерный стакан 4 (рис. 3). Для удобства определения  $k_p$  и экономии времени используют мерный стакан 4, в верхней цилиндрической стенке которого имеется смотровая прорезь 5 со шкалой 6. При этом внутренний диаметр мерного стакана 4 должен соответствовать внутреннему диаметру

режущего кольца 1. Это позволяет определять значения  $k_p$  непосредственно по шкале 6, поскольку в таком случае деления шкалы 6 будут соответствовать значениям  $k_p$ , рассчитанным по формуле:

$$k_p = h_1 / h_0, \quad (11)$$

где  $h_0$  – высота рабочей полости режущего кольца 1, мм;  $h_1$  – высота грунта в стакане 4, мм.

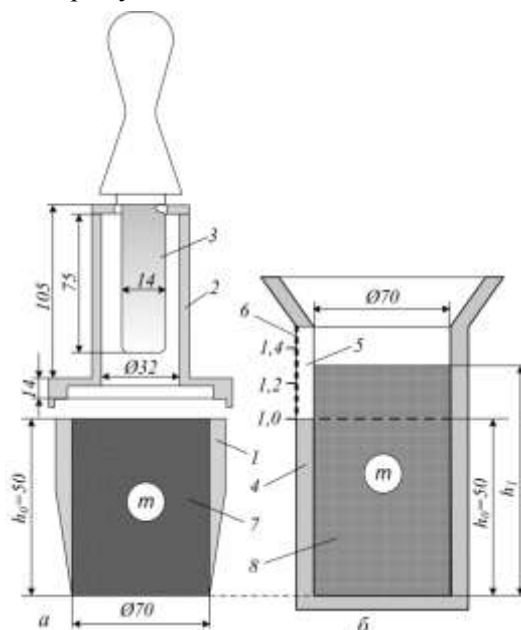


Рис. 3. Схема определения в полевых условиях коэффициента разрыхления грунта:

*a* – отбор пробы грунта режущим кольцом ПГ-200 по ГОСТ 5180; *б* – определение коэффициента разрыхления грунта; 1 – режущее кольцо; 2 – цилиндрический упор; 3 – нож-рукоятка; 4 – мерный стакан; 5 – смотровая прорезь; 6 – шкала; 7 и 8 – проба грунта массой  $m$  до и после разрыхления

Оценку эффекта объемного рыхления грунта для пассивных землеройных рабочих органов различных видов и сложности выполняют, используя приведенные выше методические принципы и расчетные формулы. При этом учитывают конструктивные схемы и параметры рабочих органов. Например, для трехстойкового глубокорыхлителя, работающего в режиме закритического резания (рис. 4), оценку эффекта объемного рыхления выполняют в такой последовательности.

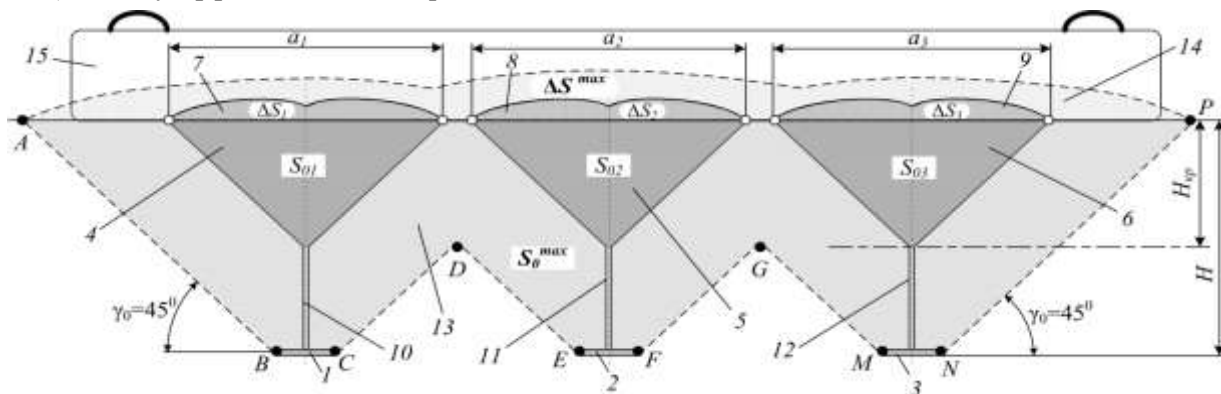


Рис. 4. Схема определения эффекта объемного рыхления грунта трехстойковым рыхлителем:

1, 2, 3 – долота рыхлителя; 4, 5, 6 – подземная часть фактической зоны рыхления стойками рыхлителя; 7, 8, 9 – наземная часть фактической зоны рыхления стойками рыхлителя; 10, 11, 12 – щели в грунте после прохождения стоек рыхлителя; 13 и 14 – подземная и наземная часть расчетной зоны рыхления трехстойковым рыхлителем; 15 – мерная пластина

После передвижения в грунте стоек рыхлителя определяют площадь поперечного сечения  $\Delta S$  наземной части зоны рыхления с помощью мерной пластины 15. При более высоком качестве объемного рыхления, зона рыхления грунта будет сплошной. При более низком качестве объемного рыхления, зона рыхления грунта будет дискретной (рис. 4), а площадь  $\Delta S$  наземной части ее поперечного сечения определяют с помощью мерной пластины 15 по частям и находят в виде суммы:

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3. \quad (12)$$

Определяют  $k_p$  по схеме на рис. 3, а затем по формуле (5) находят площадь  $S_0$ , которую сравнивают с площадью  $S_0^{max}$  подземной части расчетной зоны рыхления. Площадь  $S_0^{max}$  рассчитывают с учетом параметров конкретного рабочего органа и общего для всех рабочих органов

расчетного угла расширения прорези  $\gamma_0=45^\circ$ . Для трехстойкового рыхлителя площадь  $S_0^{max}$  соответствует площади фигуры  $ABCDEFGMNP$ . Эффект объемного рыхления грунта оценивают коэффициентом  $K_0$ , который рассчитывают по формуле (7).

Для мелиоративных глубокорыхлителей значение коэффициента  $K_0$  должно быть близким к единице. Для качественной укладки бестраншейным способом дренажно-противофильтрационных материалов ступенчатыми рабочими органами, представленными на рис. 1, необходимо иметь  $K_0 \geq 0,2$ . Для более сложных технических решений глубокого ступенчатого резания грунта, приведенных в [1, 2, 4], всегда обеспечивается  $K_0 \approx 1,0$ , поскольку в основу этих технических решений заложен общий принцип размещения в пространстве режущих элементов рабочих органов, при котором на каждом режущем элементе искусственно достигается эффект блокированного резания стружек грунта.

### **Заключение**

Установлено, что качество выполнения процесса резания грунта пассивными рабочими органами мелиоративных рыхлителей, бестраншейных укладчиков дренажа и пленочных противофильтрационных завес снижается при уплотнении и повышается при глубоком объемном рыхлении грунта режущими элементами рабочих органов.

Установлено, что эффект объемного рыхления грунта пассивными землеройными рабочими органами мелиоративных машин следует оценивать площадью поперечного сечения зоны рыхления грунта, поскольку она определяет объем разрыхленного грунта на единицу длины пути рабочего передвижения мелиоративной машины.

В настоящее время площадь поперечного сечения зоны рыхления грунта пассивными землеройными органами мелиоративных машин определяют во время испытания мелиоративных машин и исследования эффективности их работы путем откапывания шурфа в грунте.

На основе основных положений теории резания грунтов разработан, исключая необходимость откапывания шурфа в грунте, инновационный метод определения объема рыхления грунта и оценки эффекта объемного рыхления пассивными землеройными рабочими органами.

Разработанный метод может быть использован при испытании новых и оценке эффективности работы существующих пассивных землеройных рабочих органов мелиоративных машин.

### *ЛИТЕРАТУРА*

1. А.с. 1412608 /СССР/ МПК А 01 В 13/16 Способ глубокого рыхления почвы / В. И. Петроченко; заявл. 01.04.86; опубл. 30.07.88, Бюл. № 28.
2. А.с. 1482560 /СССР/ МПК А 01 В 13/16 Способ глубокого рыхления почвогрунтов / В. И. Петроченко; заявл. 30.10.87; опубл. 30.05.89, Бюл. № 20.
3. А.с. 1666623 /СССР/ МПК Е 02 В 3/16 Устройство для укладки вертикальной противофильтрационной завесы / В. И. Петроченко; заявл. 24.07.89; опубл. 30.07.91, Бюл. № 28.
4. А.с. 1727552 /СССР/ МПК Е 02 В 3/16 Рыхлитель почвы / В. И. Петроченко; заявл. 21.11.89; опубл. 24.04.92, Бюл. №15.
5. А.с. 1821513 /СССР/ МПК Е 02 В 3/16 Устройство для бестраншейной укладки пленочной завесы / В. И. Петроченко; заявл. 25.06.91; опубл. 15.06.93, Бюл. № 22.
6. Ветров, Ю. А. Резание грунтов землеройными машинами / Ю. А. Ветров. М.: Машиностроение, 1971. – 520 с.
7. Горячкин, В. П. Собрание сочинений в трех томах / В. П. Горячкин. М.: Колос, 1965. Т. 2. – 455 с.
8. Зеленин, А. Н. Машины для земляных работ. (Основы теории разрушения грунтов, моделирование процессов, прогнозирование параметров): учеб. пособие / А. Н. Зеленин, В. И. Баловнев, И. П. Керов; под ред. А. Н. Зеленина. – М.: Машиностроение, 1975. – 423 с.
9. Петроченко, В. И. Глубокое ступенчатое резание грунтов рабочими органами мелиоративных машин / В. И. Петроченко / Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики академика В.П. Горячкина (Москва, ВИМ, 17–18 сентября 2013 г.). Ч. 2. – М.: ВИМ Россельхозакадемии, 2013 – С. 244–249.
10. Петроченко, В. И. Робочі органи глибокого ступеневого різання ґрунту / В. І. Петроченко // Міжвід. темат. наук. зб. Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 2006. – Вип. 90. – 211–218.
11. Савчук, Д. П. Сравнительная оценка действия бестраншейного и траншейного дренажа / Д. П. Савчук. М.: ЦБНТИ Госконцерн «Водстрой», 1991. – Вып. 4 – С. 16–25.
12. Томин, Е. Д. Бестраншейное строительство закрытого дренажа / Е. Д. Томин. – М.: Колос, 1981. – 240 с.
13. Черненко, В. Я. Глубокое рыхление осушаемых тяжелых почв / В. Я. Черненко, Ш. И. Брусиловский. – М.: Колос, 1983. – 63 с.