

УДК 502/504:631.311:631.4

**З. М. МАММАЕВ, О. Ф. ПЕРШИНА**

Государственное научное учреждение

Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова

### **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕКУЛЬТИВИРОВАНИЯ ВТОРИЧНО УПЛОТНЕННЫХ ПОЧВ НА МЕЛИОРИРУЕМЫХ ЗЕМЛЯХ**

*Представлена информация о мелиоративном состоянии минеральных земель в Нечерноземной зоне Российской Федерации, о динамике процессов их эксплуатации и о методах предотвращения и устранения таких негативных явлений, как переуплотнение и вторичное уплотнение подпочвенных слоев. Приведены характеристики рыхлителей, обоснованные технологические и экономические показатели процессов рыхления.*

*Плотность почв, переуплотнение, вторичное уплотнение, тяговое усилие, машиноёмкость культур, эффективность рыхления.*

*There is given information on the meliorated state of mineral lands in the Non-chernozem (Non-black soil) area of the Russian Federation, on the dynamics of processes of their exploitation and methods of prevention and elimination of such negative phenomena as overcompaction of subsoil layers. There are given characteristics of rippers, substantiated technological and economic indicators of loosening processes.*

*Density of soils, overcompaction, second compaction, drag force, machine capacity of crops, effectiveness of loosening.*

Меры по оструктуриванию тяжелых почв как агро-мелиоративное мероприятие занимают существенное место при осушении и освоении земель. В комплексе таких мер глубокое рыхление имеет первостепенное значение, так как оно способствует улучшению водно-воздушного и температурного режимов тяжелых почв и усилению действия закрытого дренажа, особенно в весенне-осенний период переувлажнения земель.

В регионах России, где земли интенсивно используются в растениеводстве (Нечерноземная зона России), тяжелые почвы занимают до 40 %. Фонд земель с тяжелыми почвами, на которых требуется проведение соответствующих агро-мелиоративных мероприятий (в первую очередь

рыхление), составляет около 1,5 млн га [1].

По проведению агро-мелиоративных мероприятий в Российской Федерации и европейских странах накоплен достаточно богатый опыт в области технологий и технических средств. Однако в последние десятилетия в процессе многолетней эксплуатации осушаемых земель возникла новая проблема переуплотнения и повторного уплотнения почв под воздействием техногенных нагрузок, которые резко ухудшают мелиоративное состояние земель.

По данным Белорусского института мелиорации и луговодства (1989) и Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, за сельскохозяйственный

сезон мелиоративные, сельскохозяйственные, транспортные машины проходят по одному и тому же следу от 8 до 15 раз, подвергая почву массивному воздействию вертикальных нагрузок и вызывая их переуплотнение и вторичное уплотнение на глубину от 20 до 50...60 см, что ведет к разрушению структуры пахотного и подпахотного горизонтов. В этих условиях плотность почвы выступает как фактор плодородия. Мероприятия по борьбе с переуплотнением почв позволяют привести их обработку к минимальному значению по глубине.

И. С. Рабочев, академик ВАСХНИЛ, утверждает, что оптимальная плотность почвы должна находиться в пределах 1,1...1,3 г/см<sup>3</sup>. При плотности почвы, большей или меньшей на 0,1...0,2 г/см<sup>3</sup> по сравнению с названными цифрами, урожай культур снижается. Если уплотнение почвы больше, урожай резко падает. Обусловленное этими факторами снижение урожайности некоторых культур доходит до 50 %.

Для борьбы с генетической плотностью так называемых тяжелых (глинистых, тяжелых, среднесуглинистых), переуплотненных и вторично уплотненных (в том числе легких суглинков) почв разработаны технологии их оструктурирования и комплекс средств механизации для мелиоративного

глубокого и среднеглубокого рыхления.

Технологии базируются на разрушении плотных и переуплотненных почв, особенно подпочвенных слоев, которые препятствуют миграции воздуха, влаги, питательных веществ и теплоты в нижележащие слои и замедляют почвообразовательные процессы. Разрушение достигается параллельными и взаимно перпендикулярными проходами стоечных навесных рыхлителей с подрезающими лемехами. Семейство таких рыхлителей создано во Всероссийском научно-исследовательском институте гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова и в зависимости от тягового класса трактора имеет от 1 до 3 стоек (табл. 1). Рыхлители имеют оптимизированные с точки зрения тягового сопротивления геометрические формы и размеры рабочих органов и укомплектованы дополнительными средствами для кротования и щелевания [2].

Рыхлители прошли ведомственные приемочные испытания и рекомендованы к серийному производству и выпуску опытными партиями. Например, рыхлитель РС-0,8 выпущен общим количеством более 1200 экземпляров и успешно работал в России, Латвии, Литве, Эстонии, Украине, Белоруссии, в Азербайджане и т. д.

Таблица 1

Технические и эксплуатационно-технологические показатели рыхлителей

Показатель	Рыхлитель		
	РС-0,8	РС-0,6	ЩРК-0,6
Базовый трактор	Колесный и гусеничный кл. 5, 6, 10	Колесный и гусеничный кл. 3, 4	Колесный кл. 1, 4
Тип агрегатирования	Навесной	Навесной	Навесной
Число стоек	3	2	1
Расстояние между стойками, м	0,9	1,0	—
Глубина рыхления, м	0,8	0,6	0,6
Ширина рыхления, м	0,8	0,6	0,6
Дополнительное оборудование к рыхлителям	Кротователь	Кротователь	Кротователь-щелерез
Ширина лемеха рыхлителя, см	20,00	20,00	15
Диаметр кротователя, см	8,00	6,00	6,00
Ширина щелевателя, см	—	—	3,00
Качество крошения почвы, % по фракциям:			
более 200 мм	15,80	11,40	12...21,00
100...200 мм	21,90	20,80	16,00
50...100 мм	23,80	25,70	17...25,00
менее 50 мм	38,50	42,10	35...55,00
Коэффициент полноты рыхления	0,67	0,63	0,62...0,68
Коэффициент разрыхления почвы	1,27	1,21	1,13...1,20
Производительность техническая, га/ч	0,80	0,65	0,47
Масса навесного оборудования, кг	1080,00	750,00	98,00

Рыхлители РС-0,6 и ЩРК-0,6 выпущены опытными партиями и хорошо зарекомендовали себя при реструктурировании вторично уплотненных почв как на осушаемых, так и на орошаемых землях.

Основной показатель мелиоративной техники – это производительность. Производительность рыхлителей базируется на исследованиях тягово-транспортных средств (тракторов), на анализе сил сопротивления рыхлению вторично уплотненных почв.

Тяговое усилие пассивных грунторезающих орудий определяется по формуле А. Н. Зеленина [3]:

$$F = 5000Ch^{1,35} \cdot (1 + 10S) \cdot \left(1 - \frac{90^\circ - \alpha}{180^\circ}\right) \beta_0, \quad (1)$$

где  $F$  – тяговое сопротивление почв резанию (рыхлению), Н;  $C$  – число ударов динамического номера (ударника) ДорНИИ – показатель сопротивляемости грунтов разрушению;  $h$  – глубина резания, м;  $S$  – толщина режущего профиля, м;  $\alpha$  – угол резания, град;  $\beta_0$  – коэффициент, зависящий от угла  $\beta$  заострения режущего профиля (при  $\beta = 180^\circ; 120^\circ; 90^\circ; 60^\circ$   $\beta_0 = 1,0; 0,95; 0,91; 0,83$  соответственно).

Формула А. Н. Зеленина применяется в основном для однородных грунтов в почвенном разрезе и используется для оценки сил сопротивления резанию в строительных отраслях. В сельском хозяйстве мы имеем дело, как минимум, с двумя резко отличными по физико-механическим характеристикам слоями почвогрунтов: верхним рыхлым пахотным горизонтом и нижним плотным и вторично уплотненным горизонтом в пределах 40...50 см от подошвы пахотного слоя. Двухслойность обрабатываемых горизонтов обусловлена технологией производства мелиоративных и агротехнических работ и возникающими при этом техногенными нагрузками. Регулярной ежегодной обработкой почвенный слой постоянно поддерживается в рыхлом состоянии, а нижний уплотненный слой подвергается рыхлению периодически, через 2–4 года (цель – реструктурирование, так как плотность его достигает 1,5...1,7 г/см<sup>3</sup>).

Поскольку формула (1) справедлива только для однородных грунтов, то применение ее для расчета усилий в двухслойной среде недостаточно корректно и может привести к просчетам как в конструкторских, так и в технологических расчетах.

В качестве расширения предела применения формулы (1) в сельском хозяйстве

с распространением ее действия на двухслойные грунты предлагается следующий метод приведения двухслойного грунта к грунту однослойному. На рис. 1 представлена принципиальная схема сложения почвогрунта, где рыхлению подложит суммарный слой на глубину  $h = h_1 + h_2$ , где  $h_1$  – верхний пахотный слой, который имеет показатель плотности  $C_1$  (по ДорНИИ), и  $h_2$  – нижний уплотненный горизонт с показателем прочности  $C_2$ . Задача состоит в том, чтобы в расчетной схеме верхний пахотный слой  $h_1$  заменить равноценным ему расчетным слоем  $h_p$ , имеющим характеристики слоя  $h_2$  (по общему сопротивлению резанию должен быть идентичен слою  $h_1$ ). Для выполнения такой замены составим следующее уравнение:

$$C_1 h_1^{1,35} = C_2 h_p^{1,35}, \quad (2)$$

откуда

$$h_p = (C_1/C_2)^{0,741} h_1, \quad (3)$$

где  $h_p$  – расчетная глубина слоя, соответствующая по трудности разработки слою  $h_2$ , м;  $h_1$  – заменяемый слой, м.

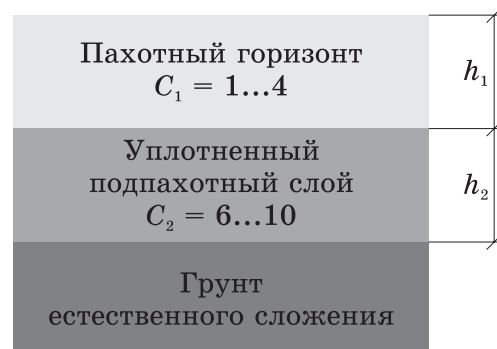


Рис. 1. Поперечный разрез с уплотненным подпахотным слоем

Окончательный расчет тягового усилия, необходимого для производства рыхления почвы в двухслойной среде, может определяться с учетом (3) по следующей формуле:

$$F = 5000C_2 H_p^{1,35} \cdot (1 + 10nS) \cdot \left(1 - \frac{90^\circ - \alpha}{180^\circ}\right) \beta_0, \quad (4)$$

где  $H_p = (C_1/C_2)^{0,741} h_1 + h_2$ ;  $H_p$  – полная расчетная глубина рыхления, м;  $n$  – число стоек.

Для дальнейшего раскрытия, детализации и конкретизации формулы (3) необходимо внести в нее элементы конструкции, присущие рабочим органам рыхлителей, и раскрыть содержание уже включенных в формулу геометрических характеристик.

С этой целью рассмотрим рис. 2.

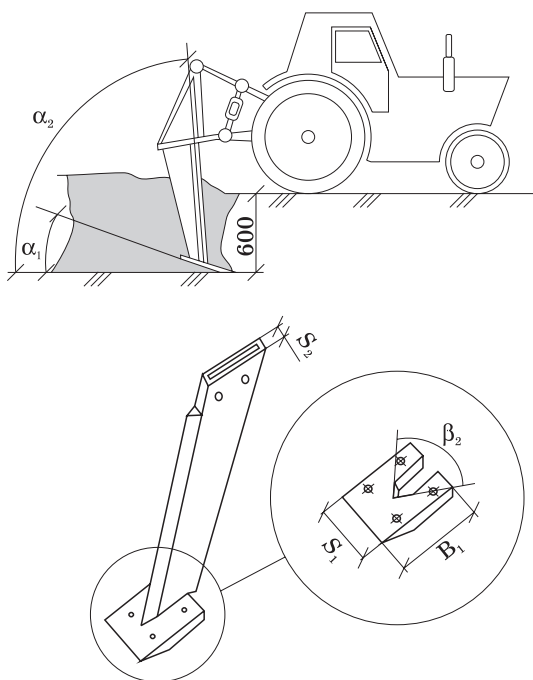


Рис. 2. Принципиальная схема одношovelного рыхлителя

Расчетная формула тягового усилия для рыхлителя, состоящего из лемеха шириной  $S_1$  м, длиной  $B_1$  м, с углом заострения  $\beta_1 = 180^\circ$  и углом резания  $\alpha_1 = 30^\circ$ , ножа-стойки толщиной  $S_2$  м с углом заострения  $\beta_2 = 90^\circ$  и углом установки (резания)  $\alpha_2 = 60^\circ$ , после подстановки перечисленных значений параметров в формулы (4) и (5) примет следующий вид:

$$F = 8,35 \cdot 10 C_2 [h_p^{1,35} - (h_p - 0,5B_1)^{1,35}] + 4,55 \cdot 10^3 C_2 (H_p - 0,5B_1)^{1,35}. \quad (6)$$

Из данного выражения можно более достоверно определить величину тягового сопротивления и другие конструктивные и технологические параметры.

Сроки повторного рыхления почв объективно связаны с тем, как организовано на них сельскохозяйственное производство. Установлено, что чем более интенсивные применяемые технологии и машиноёмкие выращиваемые культуры, тем скорее и глубже уплотнение распространяется в подпочвенные горизонты. Уплотнение почвы происходит под гусеницей или колесом сельскохозяйственной техники не только в процессе однократного движения по полю, оно не прекращается и при последующих проходах по тому же следу.

Вводим обозначения параметров:  $t$  – текущее время, годы;  $\Delta D_{(t=1)}$  – дополнительный доход, получаемый в первый

год после выполнения глубокого рыхления, р./га в год. Текущий прирост дохода  $\Delta D_{(t)}$  можно выразить следующей зависимостью:

$$D_{(t)} = \Delta D_{(t=1)} / t^\alpha, \quad (7)$$

где  $\alpha$  – обобщающий коэффициент, характеризующий интенсивность применяемой технологии, машиноёмкость возделываемой культуры и почвенно-мелиоративные условия участка.

Для приближенных расчетов в условиях уплотненных почв показатель степени  $\alpha$  принимается равным значениям, приведенным в табл. 2.

Таблица 2  
Коэффициенты интенсивности применяемых технологий и машиноёмкость возделываемых культур

Условия возделывания культур	Значение коэффициента $\alpha$
Интенсивность технологий низкая, машиноёмкость культур минимальная (характерно для содержания лугов и культурных пастбищ)	0,5
Интенсивность технологий высокая, машиноёмкость возделывания культур средняя (зерновые и зерно-бобовые культуры в крупных хозяйствах)	1,0
Интенсивность технологий средняя, машиноёмкость возделывания культур высокая (овощи, картофель в фермерских и крестьянских хозяйствах)	1,5
Интенсивность технологий высокая, машиноёмкость возделываемых культур высокая (овощи, картофель на полях крупных сельскохозяйственных производителей)	2,0

Для определения динамики получения дохода от рыхления плотных и вторично уплотненных почв предлагается следующее безразмерное аналитическое выражение:

$$\Delta D_{cp}^+ = \sum_{T=1}^T (1/t^\alpha) \cdot \frac{1}{T} - C_p / \Delta D_{(t=1)} \cdot \frac{1}{T}, \quad (8)$$

где в качестве критерия оптимальности выбрана величина относительного среднегодового дохода  $\Delta D_{cp}^+$ , получаемого за ряд лет  $T$ .

Относительный среднегодовой доход определяется безразмерной величиной:

$$\Delta D_{cp}^+ = \Delta D_{cp} / \Delta D_{(t=1)}. \quad (9)$$

Расчеты, выполненные при выращивании различных монокультур, и условия хозяйствования при  $\Delta D_{(t=1)} = C_p$  представлены на рис. 3.



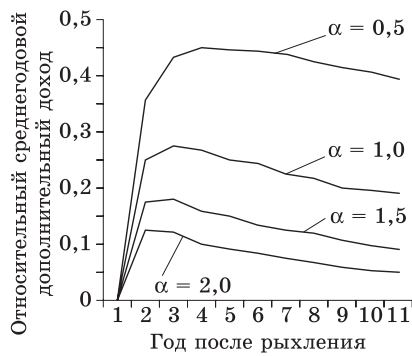


Рис. 3. Динамика изменения среднегодового дополнительного дохода в зависимости от интенсивности применяемых технологий и машиноёмкости возделываемых культур

Основной вывод, полученный в результате проведенных расчетов, состоит в следующем: существуют оптимальные решения для назначения сроков рыхления плотных и вторично уплотненных почв (см. рис. 3). Эти сроки при округлении их до одного года для условий, представленных в табл. 2, составляют: при коэффициенте  $\alpha = 0,5$  – 4 года; при  $\alpha = 1,0$  – 2–3 года; при  $\alpha = 1,5$  – 2 года; при  $\alpha = 2,0$  – 1 год.

Соблюдение предлагаемой периодичности рыхления позволяет получать дополнительный доход 13...45 %, превышающий обычный текущий доход без проведения рыхления.

Практика рыхления тяжелых, в том числе и вторично уплотненных почв указывает на довольно высокую эффектив-

ность этого мероприятия. Многолетними исследованиями однозначно подтверждено положительное воздействие рыхления на физико-механические и водно-физические свойства почв в зоне рыхления, что в конечном итоге, без прочих дополнительных мероприятий, обеспечивает прирост урожайности от 10 до 40 %. Причем прирост урожайности наблюдается как в зоне осушения, так и в зоне орошения на всех типах уплотненных почв [4].

Эффективность рыхления определяется величиной среднегодового дохода:

$$\Delta D_{(cp)} = \Delta D_{(t-1)} \sum_{T-1}^T (1/t^\alpha) / T - C_p / T,$$

где  $\Delta D_{(cp)} = \Delta D_{(cp)} / T$  – среднегодовой дополнительный доход за ряд лет  $T$  после проведения рыхления.

Экспериментальные исследования показали, что на практике в большинстве случаев интенсивность процессов уплотнения подпочвенных слоев обратно пропорциональна времени, прошедшему после проведения рыхления, из чего следует, что оценить эффективность с достаточной точностью можно по следующей формуле:

$$\Delta D_{(cp)} = \Delta D_{(t-1)} \frac{\sum_{T-1}^T t-1}{T} - \frac{C_p}{T},$$

где  $C_p$  – полные затраты на рыхление почв, р./га.

Окончательно эффективность рыхления можно установить, приняв за оценочный срок период одной полной ротации культур (табл. 3).

Таблица 3

Расчетные данные эффективности рыхления почв в полевом севообороте культур (в ценах 2000 года)

Год	Год после рыхления	Затраты на рыхление, р./га	Культуры	Дополнительный доход, р./га	Примечание
1	Первый	791	Одно- и многолетние травы	450	Расчетный дополнительный доход за первый год выращивания трав
2	Второй	–	Многолетние травы 1-го года	318	$\Delta D_{(t=2)} = 0,71 \Delta D_{(t=1)}$ Дополнительный доход за второй год выращивания трав
3	Третий	–	Многолетние травы 2-го года	260	$\Delta D_{(t=3)} = 0,58 \Delta D_{(t=1)}$ Дополнительный доход за третий год выращивания трав
4	Четвертый	–	Озимые	130	$\Delta D_{(t=4)} = 0,33 \Delta D_{(t=1)}$ Три года выращивания трав приравнены к двум годам предыдущего возделывания зерновых культур
5	Первый	791	Картофель	5000	Расчетный дополнительный доход за первый год
6	Второй	–	Яровые зерновые	200	$\Delta D_{(t=2)} = 0,50 \Delta D_{(t=1)}$ Дополнительный доход от овощей после первого года выращивания картофеля
Итого		1582		6358	

## Выводы

Приведенный расчет и практические наблюдения показывают, что оструктурирование плотных и вторично уплотненных почв путем рыхления является весьма важным и вместе с тем дешевым с экономической и технологической точек зрения агромелиоративным мероприятием.

Рыхление эффективно не только на мелиорируемых, но и на богарных землях, так как последние также интенсивно подвергаются техногенному воздействию.

1. Маммаев В. М., Першина О. Ф., Пунинский В. С. Первоочередные задачи в области технологии и механизации культуртехнических работ на современном этапе: Методы и технологии комплексной мелиорации и экосистемного водопользования: труды ВНИИГиМ. – М.: ВНИИГиМ, 2006. – С. 484–506.

2. Кизяев Б. М., Маммаев З. М. Культуртехнические мелиорации: технологии и машины. – М.: Ассоциация ЭкоСт, 2003. – 399 с.

3. Зеленин А. Н. Основы разрушения грунтов механическими способами. – М.: Машиностроение, 1968. – 375 с.

4. Хамза А. М. Технология рыхления вторично уплотненных почв мобильным агрегатом: дис. ... канд. техн. наук. – М.: ВНИИГиМ, 2001. – 121 с.

Материал поступил в редакцию 25.06.12.

*Маммаев Загиди Маммаевич, доктор технических наук, профессор, зав. лабораторией*

*Тел. 8 (499) 976-02-68*

*Першина Ольга Федоровна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник*

*Тел. 8 (499) 153-41-53, 8-916-479-56-78*

УДК 502/504:631.311.5

## Н. Н. ЕГОРОВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Коломенский институт переподготовки и повышения квалификации руководящих кадров и специалистов»

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХКОНСОЛЬНЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

*Приведен обзор и сравнительный анализ технико-экономических показателей дождевальных машин, осуществляющих полив из открытых оросителей. Дана оценка эффективности работы двухконсольных дождевальных агрегатов.*

*Двухконсольные дождевальные агрегаты, шланговые дождеватели, дальнеструйные агрегаты, открытые оросители, показатели качества дождя.*

*The survey and comparative analysis of technical and economic indices of the double-cantilever sprinklers producing watering from open irrigation systems are given in the article. There is given an efficiency assessment of double-cantilever sprinklers.*

*Double-cantilever sprinklers, hose irrigators, irrigation guns, open irrigators, indicators of sprinkling water.*

Для полива сельскохозяйственных культур, в первую очередь овощных, используют шланговые дождеватели, двухконсольные и дальнеструйные агрегаты. Применение переносных коротко- и среднеструйных установок (типа КИ-5, КИ-50, УДС-25, КДУ-55) на поливе овощей затруднено из-за трудоемкости их эксплуатации и значительной мате-

риалоемкости оборудования.

Во многих странах в орошаемом овощеводстве распространение получают полосовые шланговые дождеватели, обладающие рядом достоинств (рис. 1, 2). Это высокая степень автоматизации процесса полива, простота работы и настройки, хорошая адаптация к параметрам и конфигурации орошаемой