

**РАЗДЕЛ 1.
ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА
МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ТЯГОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

А.С. Павлюк, Д.В. Сотников

В данной статье рассматриваются методы снижения тягового сопротивления почвообрабатывающих агрегатов. Приведены результаты полевых и лабораторных испытаний. Ключевые слова: снижение тягового сопротивления

Одной из составляющих влияющих на суммарное сопротивление движению машинотракторного агрегата будет являться горизонтальная составляющая сопротивления почвы, возникающего при работе трехгранного клина. Эта величина определяется по формуле [1]:

$$RX = RGX + RFX + R3X + RDX, \quad (1)$$

где RGX – составляющая, обусловленная силой тяжести пласта почвы G ;

RFX – составляющая, обусловленная действием силы инерции F ;

$R3X$ – сопротивление почвы сжатию затылком затупившегося лезвия трехгранного клина;

RDX – сопротивление почвы деформации.

На сегодняшний день существует несколько способов снижения сопротивления почвы таких как: вибрационный, газозвушной смазкой, газодинамическим воздействием, с подачей жидкости, электромагнитный рыхлитель, электроосмос. Рассмотрим выше упомянутые методы более подробно.

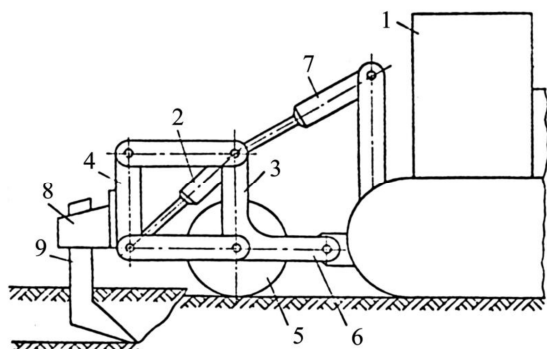


Рисунок 1 - Рыхлитель с магнитострикционным излучателем в виде опорного катка

Вибрационный способ основан на использовании колебаний низкой и высокой частоты, т.е. создание в пласте волнообразных импульсных нагрузок. В местах трещин или других нарушений сплошности монолита поч-

вы волны вызывают локальные повышения напряжений [1]. Как показали исследования, по данным [2] интенсивность локальных напряжений на 20...30% больше, чем при статическом нагружении. Волны напряжений можно возбудить, прикладывая колебательную или ударную нагрузки [1].

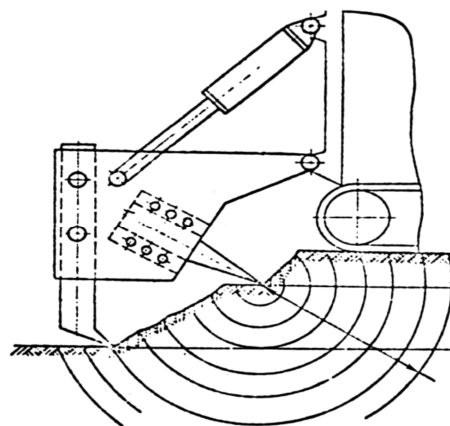


Рисунок 2 - Рыхлитель с дополнительным зубом с магнитострикционным вибратором

Существует множество примеров использования колебательного (вибрационного) воздействия на почвогрунты. Практическим примером использования гипотезы «слабого звена» может служить устройство, изображенное на рисунке 1. В другой конструкции по [3] основной зубовой рыхлитель снабжен магнитострикционным вибратором в виде дополнительного зуба, расположенного впереди и выше основного (рисунок 2) [1].

В устройстве для рыхления мерзлых и прочных грунтов, по [4], впереди основного зубовой рыхлителя установлена плита с мелкими зубьями, на которой установлен дебалансный вибратор. Согласно гипотезе «слабого звена», положительный энергоэффект, получается только при использовании почвообрабатывающих рабочих органов на упругой подвеске. Автоколебательный процесс такой стойки расшатывает межагрегат-

ные связи в почве и снижает ее прочность. На основе опытов, проведенных в ВИСХОМ, получено, что наибольшее снижение тягового сопротивления культиваторной лапы на упругой подвеске достигается при колебаниях стойки в широком диапазоне частот как в продольном, так и в поперечном направлениях. Энергоэффект составляет 25...30% по сравнению с жестким креплением рабочего органа. [1]

Предложенный метод снижения тягового сопротивления имеет смысл использовать только при жестко закрепленном почвообрабатывающем орудии. Так же не ясно как сказывается вибрация на долговечность и износ агрегатов, если исходить из того, что орудие закрепляется жестко к раме.

Снижение сил трения при перемещении почвогрунтовой массы по рабочим поверхностям землеройных и почвообрабатывающих машин можно добиться с использованием газовой смазки. Воздух подается под давлением 0,1...0,15 МПа для создания газовой прослойки между обрабатываемой средой и металлической поверхностью рабочих органов. Применение газовой смазки наиболее целесообразно на плотных суглинистых и глинистых почвогрунтах, находящихся во влажном и переувлажненном состоянии. Степень снижения сил трения определяется давлением и расходом воздуха, типом почвогрунта и его влажностью. Для песчаных и супесчаных почвогрунтов коэффициент трения может снижаться на 65...70%, для суглинков и глин – на 75...95% [5].

В РИСХМ [6] проводились опыты по применению газовой смазки с целью снижения сопротивления корпусов плуга. На экспериментальной установке использовался непрерывный наддув воздуха через перфорированную поверхность отвала корпуса плуга. Диаметр отверстий был равен 0,6 мм, давление воздуха 1,5...5 атмосфер. Снижение трения наблюдалось при работе на черноземе плотностью 1,25 г/см³, влажностью 25% при толщине пласта более 7...8 см.

Исходя из выше изложенного метода можно выявить следующий недостаток, что использование газовой смазки целесообразно только на плотных суглинистых и глинистых почвах находящихся во влажном и переувлажненном состоянии. Использование установки в иных условиях, скажем при сухом грунте – не эффективно, поскольку возникает риск выдувания почвы, что ухудшает физические свойства почвы, например при посеве семян, а так же вызвать их последующее выдувание.

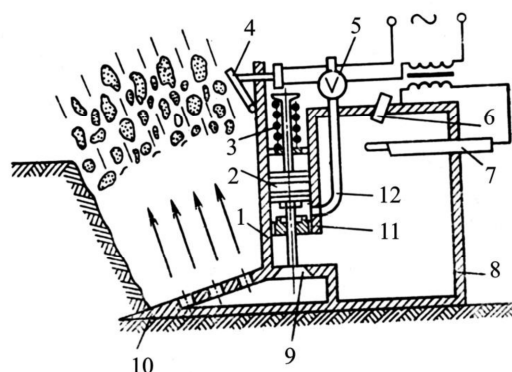


Рисунок 3 - Схема работы землеройной машины с газодинамическим интенсификатором

При газодинамическом воздействии разрушение почвогрунтов производится энергией расширяющихся газозвушных потоков. Принцип действия газодинамического интенсификатора рабочего процесса рыхления почвогрунта показан на рисунке 3. На бульдозерном отвале 1 установлены камера сгорания 8 и нож 10 с выхлопными отверстиями. Через патрубок 6 в камеру 8 подается топливо-воздушная смесь, которая воспламеняется свечой 7 при срабатывании датчика 4 [1].

Взрывообразное истечение продуктов сгорания обеспечивает клапан 9, который открывается при достижении максимального давления в камере 8. Поток газа через решетку ножа 10 воздействует на почвогрунт, разрушая и перемещая его. Регулирующий клапан 2, диффузор 11 и пружина 3 обеспечивают закрытие клапана 3 при зарядке камеры и быстрое открытие при сгорании смеси. Время открытия клапана 9 регулируется краном 5 в отводном канале 12, выпускающем отработанные газы в атмосферу [1].

Перспективным для глубокого рыхления почвогрунтов является применение интенсификаторов газодинамического действия (рисунок 4). Рыхлитель 1 присоединен к трактору 3 с помощью навески 2. Зуб рыхлителя 1 в верхней части снабжен камерой сгорания 4 с центральным каналом 10, который заканчивается в наконечнике зуба. Камера сгорания и канал имеют форму, обеспечивающую создание детонационной ударной волны, распространяющейся вдоль по каналу после воспламенения горючей смеси. Детонационная волна, выходящая через отверстие 11, создает взрыв в грунте. Кислород и газообразное топливо (водород, ацетон) поступают от специальных источников 5. Газовоздушная

смесь воспламеняется свечой зажигания 9. В цепь зажигания входят аккумуляторная батарея, катушка и кулачковый выключатель [1].

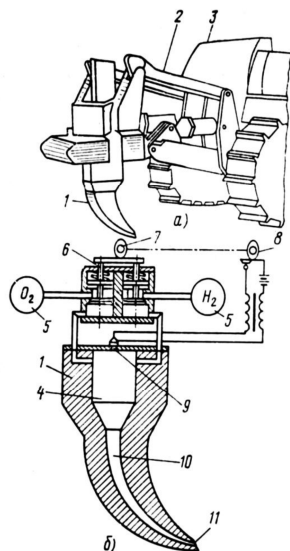


Рисунок 4 - Схема рыхлителя с газодинамическим интенсификатором

Японские ученые К. Araya и К. Kawanishi провели исследования подачи воздуха и воды в рабочий орган с целью снижения тягового сопротивления рыхлителя [7]. Схема установки и рабочего органа изображена на рисунке 5.

Согласно результатам испытаний авторы [7] пришли к следующим выводам:

1. При подаче воздуха через сопло в долоте рабочего органа в суглинистую почву влажностью 16% вокруг сопла образуется V-образная воронка. Однако значительного снижения энергозатрат не наблюдалось, т.к. мощность, потребляемая на закачку воздуха, превосходит снижение энергии на рыхление почвы [7].

2. При рыхлении той же почвы влажностью 30% образовывались большие горизонтальные трещины, идущие от носка долота. Увеличение давления воздуха приводило к резкому росту числа трещин. В этом случае снижение тягового сопротивления достигало 40...50% при снижении общей потребляемой мощности [7].

3. При образовании в почве горизонтальных трещин и малой ее воздухопроницаемости подачу воздуха целесообразно производить импульсами с частотой, соответствующей частоте скола почвы. В этом случае эффективность рыхления почвы возрастает, а энергозатраты снижаются [7].

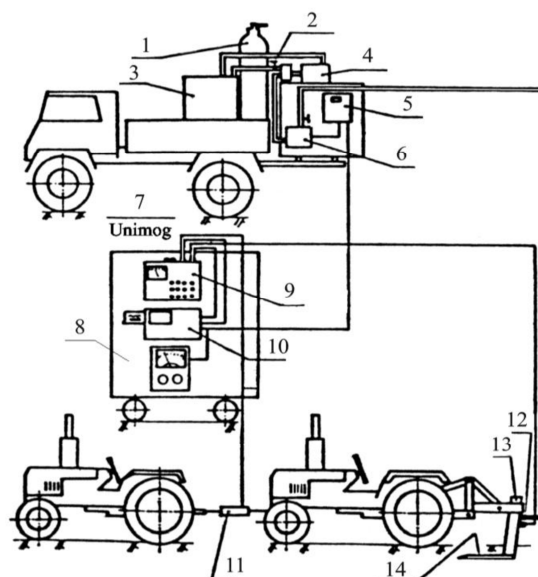


Рисунок 5 - Схема экспериментальной установки (а) и рабочего органа (б): 1 – баллон со сжатым воздухом; 2 – кран; 3 – бак с водой; 4 – насос; 5, 6 – электромагнитные датчики; 7 – мобильная лаборатория; 8 измерительное оборудование; 9 – усилитель; 10 – осциллограф; 11 – динамометр; 12 – датчик давления; 13 – рыхлитель

Обобщив выше изложенные способы газодинамического действия можно выявить следующие недостатки такие как: цикличность работы, большое динамическое усилие отдачи, сложность изготовления, а так же отсутствует возможность использования стандартных рабочих органов. Необходимо использовать мощную компрессорную установку для закачки сжатого воздуха в баллон, что несомненно отражается на отборе мощности двигателя тягача. Это недостаток можно исключить последний в случае получения высокого КПД установки. Динамическое усилие отдачи можно исключить, располагая выхлопные отверстия в боковых стенках зуба, а цикличность работы можно компенсировать установкой на раме орудия нескольких рыхлительных зубьев [1].

Л. Martinovič [8] провел исследование влияния механического и пневматического рыхления на физические свойства почвы и урожайность сельскохозяйственных культур. Автор отметил, что пневматическое рыхление может применяться под садовые культуры и виноградники на крутых склонах и высокогорных долинах, т.е. на недоступных для трактора местах. Пневматическое рыхление обеспечивало значительное повышение пористости и коэффициента фильтрации обработанной почвы при глубине рыхления

0,6...0,7 м. Однако урожайность сельскохозяйственных культур при механическом рыхлении была выше, благодаря лучшему крошению почвы, чем при пневматическом рыхлении. Схема устройства для пневматического

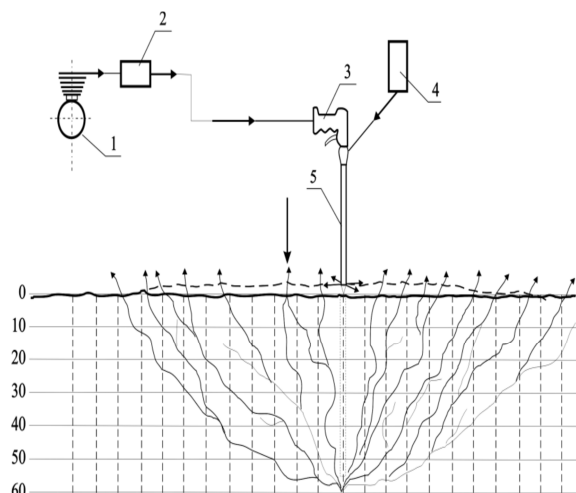


Рисунок 6 - Схема устройства для пневматического рыхления

го рыхления приведена на рисунок 6. Автор данного исследования считает, что эффективность пневматического рыхления можно повысить за счет повышения давления воздуха, а также совмещения рыхления с внесением жидких минеральных удобрений и порошковых структурообразователей, которые будут стабилизировать трещины и пустоты, образовавшиеся при рыхлении [1].

Если произвести анализ способа подачи воздуха и жидких удобрений, то можно выявить следующие недостатки для подачи воздуха необходима мощная компрессорная установка.

В ЧИМЭСХ [9] были проведены опыты по внесению жидких минеральных удобрений путем подачи жидкости на рабочую поверхность корпусов плугов, лап культиваторов и плоскорезов. Подача жидкости на лемешно-отвальную поверхность в пределах 250...500 л/га снижала тяговое сопротивление 4-корпусного плуга при пахоте суглинистых почв на 19...25%. При подаче аммиачной воды на лапу культиватора, ее тяговое сопротивление снижалось на 34%. При подаче раствора карбамида на две лапы культиватора-плоскореза-глубокорыхлителя КПГ-250 тяговое сопротивление лапы снижалось на средних суглинках на 25%, на легких глинах – на 34%. Тяговое сопротивление орудия в целом на среднем суглинке снижалось на 17%. Результаты этих исследований позволяют считать эффективным этот способ снижения

энергоёмкости обработки почвы, т.к. кроме повышения производительности почвообрабатывающих агрегатов и снижения расхода топлива, также повышается эффективность вносимых удобрений [1].

На основе открытого Л.А. Юткиным электрогидравлического эффекта [10] были предложены ряд устройств для рыхления почвы с одновременным внесением минеральных удобрений. Однако практической проверки эти устройства не проходили.

Специалисты фирмы "Deutsche Witzemachinen Gesellschaft" предложили принципиально новую конструкцию рыхлителя [11]. В конструкции рыхлителя отсутствуют стойки (рисунок 6).

Связь долота с рамой машины осуществляется посредством мощного электромагнита, установленного на навеске трактора. Для направленного воздействия магнитного поля порядка 15-105 Гаусс электромагнит закрыт полусферой из специальных материалов. Взаимодействие долота и электромагнита подобно устройствам для поездов на магнитной подушке. При движении трактора долото перемещается под почвой и производит ее рыхление, не нарушая поверхностный слой поля. Электромагнит в состоянии удерживать долото на глубине до 0,5 м (рисунок 7). Снижение тягового сопротивления такого рыхлителя достигается благодаря отсутствию стоек и меньшей зоны рыхления. Недостатком электромагнитного рыхлителя является опасность потери долота при остановке генератора, а также то, что обрабатываемое поле должно быть очищено от металлических предметов, в противном случае они нарушат процесс рыхления почвы [1].

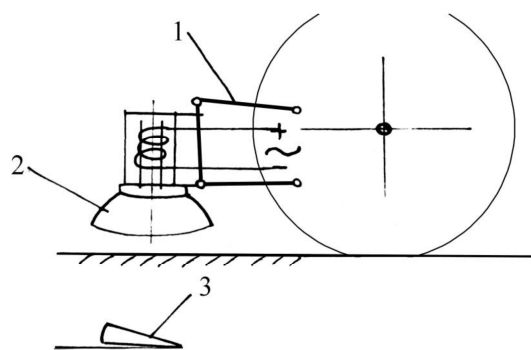


Рисунок 7 - Рыхлитель фирмы "DWG":
1 – навеска трактора; 2 – сфера электромагнита; 3 – долото рыхлителя

При изучении резания металлов было отмечено, что адсорбция молекул поверхностно-активных веществ из смазывающих

растворов уменьшает твердость обрабатываемого материала, облегчая и ускоряя пластическую деформацию [12]. Для объяснения этого явления Б.В. Дерягин предложил гипотезу о расклинивающем действии поверхностно-активных веществ. Схема расклинивающего действия показана на рисунке 8.

Раскрытие микротрещин происходит вследствие стремления к утолщению пленок жидкости, проникших в микротрещины твердого вещества. Величина расклинивающего давления весьма высока и составляет по данным Б.В. Дерягина 100 МПа [1].

Дальнейшее развитие теория адсорбционного эффекта получала в трудах П.А. Ребиндера [13], согласно которому коагуляционные структуры (в том числе почвогрунты) обладают тиксотропными свойствами, т.е. способны к обратному восстановлению после механического разрушения [1].

Как известно, реальные почвы в естественном состоянии обладают пространственной решеткой из твердых частиц и почвенных агрегатов, а также множеством статистически распределенных микро- и макротрещин. В процессе деформации на основе этих дефектов, как концентраторов, в деформируемом пласте почвы развиваются поверхности разрушения, которые после разгрузки могут вновь смыкаться под влиянием молекулярных сил (электрической, химической и другой природы) [1].

Адсорбционное воздействие жидкой поверхностно-активной среды понижает поверхностную энергию частиц и агрегатов, способствует образованию новых поверхностей разрушения. Кроме того, адсорбционная жидкость, проникая в микро- и макротрещины, стабилизирует эти дефекты, ликвидируя их обратное смыкание в период разгрузки, что значительно понижает прочность твердых тел [1].

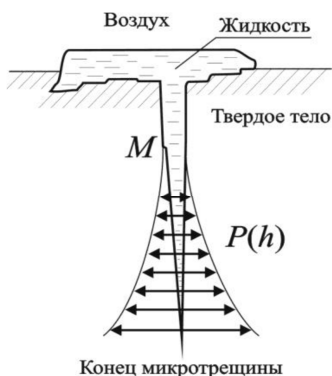


Рисунок 8 - Распределение расклинивающего давления жидкости по глубине трещины (по Б.В. Дерягину)

Для металлов активная среда создается введением в жидкие углеводороды любого поверхностно-активного вещества. Наибольший эффект достигается при добавке 0,2% олеиновой кислоты или цетилового спирта [1].

Выше изложенный метод не имеет практического подтверждения по выявлению адсорбционного эффекта для почв. Поэтому необходимо провести исследования природы связности почв, как с естественной, так и предварительно разрушенной структурой, а также механизма структурообразования почв и природы прочностных свойств, в связи с водосодержанием. Возможно, что водные растворы минеральных удобрений могут быть поверхностно-активной средой [1].

Создание пленки водного раствора ионов микронной толщины

Суть способа заключается в следующем, при пропускании тока величиной от 0,2 до 2,6 А при напряжении от 5 до 40 В, на поверхности орудия создается пленка водного раствора ионов микронной толщины. Образовавшаяся пленка снижает трение между плугом и почвой, что в результате позволяет снизить расход топлива, согласно данным Аризонского университета, на 10-32%. Наибольшая эффективность создается при влажности почвы 12-17% по [14].



Рисунок 8 – Стендовый метод измерения тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия в прямом почвенном канале

Изложенные в статье способы снижения тягового сопротивления имеют большие перспективы практического применения в сельском хозяйстве. Описанные недостатки можно компенсировать только при условии высокого КПД используемых для их осуществления устройств. Многие способы нуждаются в повторной проверке результатов поскольку

имеют завышенные показатели эффективности от их внедрения на практике.

В АлтГТУ на кафедре автомобили и автомобильное хозяйство сконструирован и изготовлен стенд для определения тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия.

Стенд представляет собой, движущийся в горизонтальной плоскости, почвенный канал с жестко закрепленным на раме стенда неподвижный лемех. Возможности стенда позволяют проводить сравнительный анализ выше изложенных способов снижения тягового сопротивления орудия (рисунок 8). На данный момент проводятся испытания по выявлению наиболее выгодного способа снижения тягового сопротивления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Панов И.М., Ветохин В.И. Физические основы механики почв / И.М. Панов, В.И.Ветохин. - К.: Феникс, 2008. – 266 с.: илл.

2 Мацепуро М.Е. и др. Исследование деформации почв и грунтов при вдавливании штампов // Тр. ВИМ, т. 69, 1965.

3 Пат. 1046436 Российская Федерация. МПК6 E02F5/30. Рыхлитель / Батулов А. И., Карпов В. В., Сапожников А. И., Сапожникова В. В., Федотов Ю. Н.; заявл: 18.06.1982; опубл.: 07.10.1983, Бюл. №37. – 4 с.

4 Пат. 977618 Российская Федерация. МПК3 E02F5/30. Устройство для рыхления мерзлых и прочих грунтов / Баловнев В. И., Храма Л. А., Шатов С. В., Потураев С. В., Алексеев А. В., Яновский В.И., Захаров В.И., Фролов А.А., Сушко А.А.; заявл: 04.02.1981; опубл.: 30.11.1982, Бюл. №44. – 3 с.

5 Баловнев В.И. Дорожно-строительные машины с рабочими органами интенсифицирующего действия. – М.: Машиностроение, 1981.

6 Фомин В.И., Чебан А.И. Газостатическая смазка рабочих органов почвообрабатывающих машин // Сб. «Конструирование с.-х. машин». – Ростов-на-Дону, 1969.

7 Araya K., Kawanishi K. Draft reduction of subsoiler by injection air to break down soil // Journal of the Society of Agricultural Machinery Japan, v. 43, N 1, 1981.

8 Martinovič L. Effect of mechanical and pneumatic subsoil loosening on the physical properties and drop fields of different types of soil // 9th International Conference of soil tillage research Organization, Yugoslavia, 1982.

9 Виноградов В.И., Семенов Г.А. Исследование динамической прочности почвы // МЭСХ, № 6, 1968.

10 Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. – Л.: Машиностроение, 1986.

11 Ridky K. Vliv ratacni a pluzni technologie orby na puolni microform // Zemedelska technika, v. 10 (XXXVIII), 1964.

12 Кузнецов В.Д. Физика твердого тела. – Томск: Изд. «Красное знамя», 1944.

13 Ребиндер П.А. Физико-химическая механика. – М.: Знание, 1958.

14 Jonathan B. The best way to speed the plough? Plug it in // New scientist. - New York, 1994.

Павлюк А.С. - *заведующий кафедрой АиАХ, д.т.н., профессор, АлтГТУ им. И.И. Ползунова,*

тел.: 8 (3852) 29-07-91,

E-mail: kafedra.aiah@gmail.com

Сотников Д.В. – *аспирант, ассистент кафедры АиАХ, АлтГТУ им. И.И. Ползунова,*

тел.: 8 (3852) 29-08-90,

E-mail: dsotnikov@inbox.ru