

**Текст:** В. Г. Кушнир, д-р техн. наук проф., КГУ им. А. Байтурсынова; А. Н. Орда, д-р техн. наук проф.; И. Н. Шило, д-р техн. наук проф.; Н. Н. Романюк, канд. техн. наук доц., УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»; С. О. Нукешев, д-р техн. наук доц., АО «Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина»

## ПО СЛЕДАМ ТЕХНИКИ

МНОГИМ СЕЛЬХОЗПРОИЗВОДИТЕЛЯМ ПРИХОДИЛОСЬ СТАЛКИВАТЬСЯ С ПРОБЛЕМОЙ ПОВЫШЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОЧВЫ, ВЫЗВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЕМ ДВИЖИТЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ И ДРУГИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН, И ПОСЛЕДУЮЩИМ УВЕЛИЧЕНИЕМ ТВЕРДОСТИ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРОВА. ПРИ ЭТОМ ВЕЛИЧИНА УПЛОТНЯЕМОГО СЛОЯ НАПРЯМУЮ ЗАВИСИТ ОТ РАЗМЕРОВ ХОДОВОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНИКИ И НАГРУЗКИ НА ПОЧВУ



Обычно мобильные аграрные машины утрамбовывают почву на глубину, превышающую пахотный слой, в результате чего при многократном воздействии уплотнение накапливается не только в этом горизонте, но и в подпахотном пласте. В результате происходит сдавливание внутри грунта пор, через которые проникаются воздух и вода, что приводит к негативным для сельхозпроизводителя последствиям.

### ИСПЫТАНИЕ НА ТВЕРДОСТЬ

По причине вредного воздействия ходовых систем машинно-тракторных агрегатов на пахотные участки зачастую снижается урожайность сельскохозяйственных культур в следах тракторов: зерновых — на 10–15 процентов, а корне- и клубнеплодов — на 20–30 процентов. При этом суммарная площадь отпечатков движителей МТА обычно

почти в два раза превышает размеры обрабатываемой поверхности. Повышение плотности почвы, вызванное воздействием движителей сельскохозяйственных машин, приводит к увеличению ее твердости в 2–3 раза. Кроме того, удельное сопротивление при обработке пахотного слоя после прохода тракторов возрастает на 15–65 процентов, а транспортных средств и комбайнов — на 60–90 процентов. При этом в результате многократного осуществления вспашки уплотнение накапливается как в пахотном, так и в подпахотном горизонте. Сильное спрессовывание грунта и образующиеся

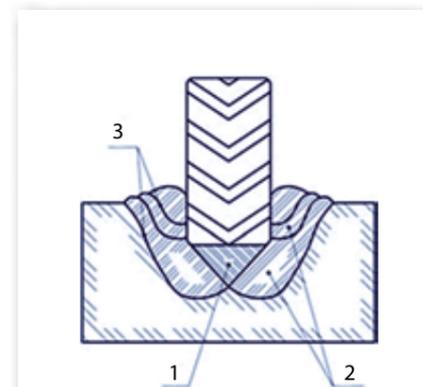
ПО ПРИЧИНЕ ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ХОДОВЫХ СИСТЕМ МАШИНО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ НА ПАХОТНЫЕ УЧАСТКИ ЗАЧАСТУЮ СНИЖАЕТСЯ УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В СЛЕДАХ ТРАКТОРОВ: ЗЕРНОВЫХ — НА 10–15 ПРОЦЕНТОВ, А КОРНЕ- И КЛУБНЕПЛОДОВ — НА 20–30 ПРОЦЕНТОВ

после прохода аграрных машин колеи могут приводить к плохой заделке семян, по причине чего значительно снижается биологический урожай сельскохозяйственных культур. С целью изучения зависимости плотности разных слоев почвы от оказываемого на нее давления на основании теории распространения и поглощения энергии, а также для определения влияния числа осей ходовой системы на изменение плотности земельного покрова специалистами нескольких учебных заведений были проведены совместные исследования.

### ПОГЛОЩЕНИЕ ЭНЕРГИИ

Характер и закономерности уплотнения почвы зависят от размеров и режимов нагружения деформатора, а также от исходного состояния земельного массива. При наличии взрыхленного слоя в расчетах, как правило, допускают, что уплотняется лишь этот пласт. Анализ механико-математических моделей почв показывает, что для расчета утрамбовки больше всего подходит энергетический метод, учитывающий влияние закона поглощения энергии на изменение свойств земельного покрова. Кроме того, исследователь В. В. Кацыгин предложил принимать в расчет зависимость распределения энергии впереди деформатора.

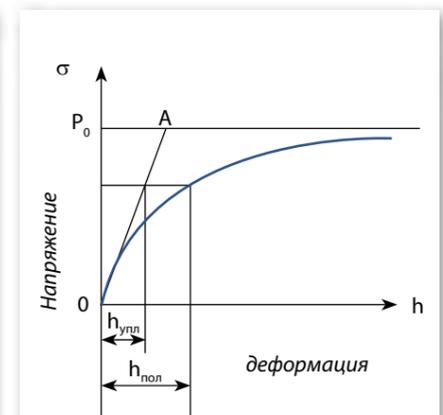
При распространении энергии в пахотном горизонте происходит ее поглощение разными слоями почвы. В зависимости от интенсивности этого процесса меняется напряженное состояние грунта, то есть в нем возникает градиент напряжения. Сформировавшиеся напряжения являются обобщенными потенциалами, и их изменение вызывает трансформацию сопряженного с ним обобщенного заряда. Экспериментально было установлено, что при возникновении в почве градиента напряжения из всех физико-механических свойств наибольшей модификации подвергается плотность, поэтому ее можно принять в качестве обобщенного заряда. Таким образом, увеличение степени сжатия грунта при воздействии колеса, то есть движителя или деформатора, на пахотный и подпахотный горизонты является функцией напряжения почвы.



**Рис. 1.** Схема образования ядра уплотнения в почве под движителем мобильной сельскохозяйственной техники: 1 — ядро уплотнения почвы; 2 — зоны сдвига; 3 — площадки скольжения

### ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Для установления закономерности распределения напряжений по глубине необходимо учитывать, что при деформировании почвы наряду с ее уплотнением имеет место сдвиг. Зависимость между напряжением, обозначаемым  $\sigma$ , и деформацией, то есть  $h$ , подчиняется функции гиперболического тангенса, при этом интенсивность возрастания первого значения отстает от увеличения второго. Зависимость деформации сжатия, или уплотнения, неограниченного полупространства почвы, имеющей одинаковые физико-механические свойства по глубине, от напряжения пропорциональна. Максимальное искажение почвы каким-либо движителем определяется отношением несущей способности к коэффициенту объемного смятия. Затраченная, то есть поглощенная, на уплотнение почвы удельная энергия равна удельной работе, совершаемой деформатором при перемещении. Таким образом, приращение плотности грунта на определенном участке пропорционально градиенту напряжения, который, в свою очередь, соответствует действующему напряжению. То есть частное решение представляет собой закон распределения плотности по глубине деформированного полупространства. Коэффициенты распределения напряжений и уплотнения почвы в ходе опытов были рассчитаны на основании результатов экспериментальных данных. Плотность верхнего земельного слоя при напряжении определялась исходя из того, что при воздействии на почву деформатором уплотняется только ее эффективный слой, высота которого за-



**Рис. 2.** Зависимость между напряжением и деформацией почвы



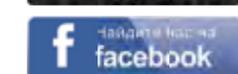
На правах рекламы



## Big Body Самосвальный Бункер

Для всех кто много перевозит

- **Прочный** : стены и дно из одного листа для стабильности
- **Надежный** : первые самосвалы 1984-го года работают и сегодня
- **Стоящий** : хорошая и безопасная инвестиция



Телефон: +49(0)25 41 / 80 178 - 0

E-Mail: info@krampe.de  
[www.krampe.de](http://www.krampe.de)



висит от величины контактного напряжения и физико-механических свойств участка. Аналогичным способом устанавливалась высота эффективного слоя. Напряжение выбиралось из условия развития в зоне его действия только упругих деформаций, то есть при отсутствии уплотнения грунта. Его значение обусловлено свойствами почвы и колеблется в пределах 5–20 кПа. В ходе исследований плотность на нижней границе эффективного слоя после деформации равнялась соответствующему показателю земельного пласта, не подвергшегося воздействию. При отсутствии пахотных обработок величина максимальной плотности соответствовала сжатию почвы.

#### ГЛУБИНА ВОЗДЕЙСТВИЯ

Проведенные специалистами исследования показали, что при воздействии на дерново-подзолистую легкосуглинистую почву влажностью 19,2 процента давлением 150 кПа плотность увеличивалась с 970 до 1260 кг/куб м. В этом случае зависимость между спрессованием земельного покрова совместно с деформатором и контактным напряжением в случае деформации бесконечного полупространства почвы была

линейна. Также в ходе опытов было установлено, каким образом соотносятся коэффициенты распределения напряжений и объемного смятия почвы. С этой целью максимальную плотность участка при напряжении определяли из условия, что на сжатие эффективного слоя шел объем почвы с высотой, равной величине деформации уплотнения.

Таким образом, распределение напряжений и плотности по глубине не зависит от величины давления. Однако известно, что если давле-

ние достигает предела несущей способности почвы, степень сжатия в образовавшемся ядре уплотнения одинакова по глубине. Распределение плотности почвы по высоте уплотненного ядра в этом случае можно изобразить в виде прямой линии, параллельной оси ординат, что соответствует характеру протекания пластических деформаций. Поэтому при контактных напряжениях, близких к пределу несущей способности земельного покрова, плотность может отклоняться от пропорциональной. При сжатии сравни-

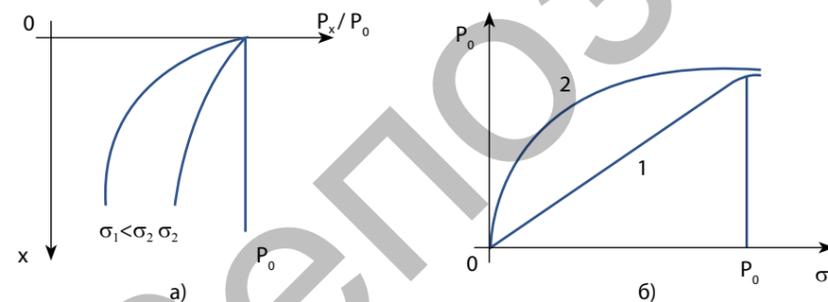
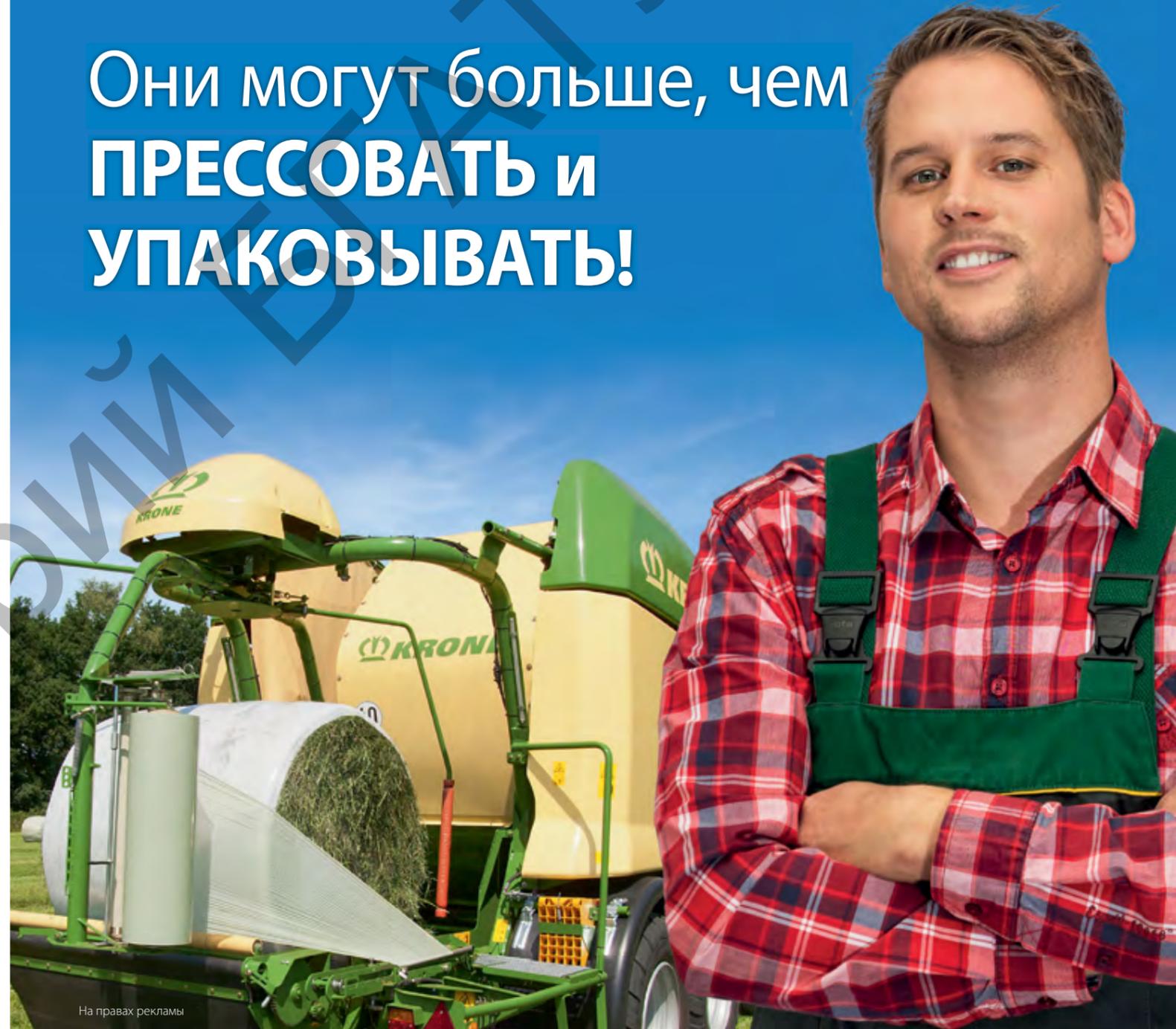


Рис. 3. Зависимость плотности почвы от напряжения: а — по глубине; б — верхнего слоя; 1 — с возможностью бокового расширения; 2 — без данной возможности

# Они могут больше, чем ПРЕССОВАТЬ и УПАКОВЫВАТЬ!



На правах рекламы

www.krone-rus.ru

## Рулонные пресс-подборщики KRONE

- 26 моделей в 4 различных модификациях
- 3 системы прессования: константная, полувариационная и вариационная камеры прессования
- Предлагаются в виде пресс-подборщиков и комбинации с обмотчиком
- Обмотка и упаковка пленкой для всех прессов Comprima

Maschinenfabrik Bernard KRONE GmbH & Co. KG

ООО «КРОНЕ Русь», Москва  
KRONE – Германия, Шпелле

Тел./Факс: +7 495 660 66 88  
Тел.: +49 5977 935 766

E-Mail: info@b-krone.com  
E-Mail: export.ldm@krone.de

**KRONE**  
THE POWER OF GREEN

**В 2–3 РАЗА** УВЕЛИЧИВАЕТСЯ ТВЕРДОСТЬ ГРУНТА ПРИ ПОВЫШЕНИИ ЕГО ПЛОТНОСТИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДВИЖИТЕЛЕЙ СЕЛЬХОЗТЕХНИКИ

**НА 60–90 ПРОЦЕНТОВ** ВОЗРАСТАЕТ УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПАХОТНОГО СЛОЯ ПОСЛЕ ПРОХОДА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ И КОМБАЙНОВ

**ДО 1260 КГ/КУБ М** ПОВЫШАЛАСЬ ПЛОТНОСТЬ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ ВЛАЖНОСТЬЮ 19,2 ПРОЦЕНТА ПРИ ДАВЛЕНИИ 150 КПА



тельно тонкого слоя грунта без возможности бокового расширения зависимость плотности почвы от удельного давления имеет вид экспоненты. Нарастание уплотнения земельного покрова в этом случае происходит интенсивнее, чем при деформировании полупространства с ограниченной возможностью бокового расширения, так как во втором случае затрачивается дополнительная энергия на уплотнение нижележащих слоев. Однако в связи с тем, что плотность почвы имеет верхний предел, обусловленный ее типом, структурой и влажностью, при дальнейшем увеличении давления интенсивность повышения сжатия уменьшается. Следовательно, уплотняющее воздействие можно оценивать величиной плотности пахотного горизонта в контакте с деформатором, уплотнением верхнего слоя, высотой утрамбовываемого слоя и распределением плотности по глубине.

**ТИПЫ ПОЧВ**

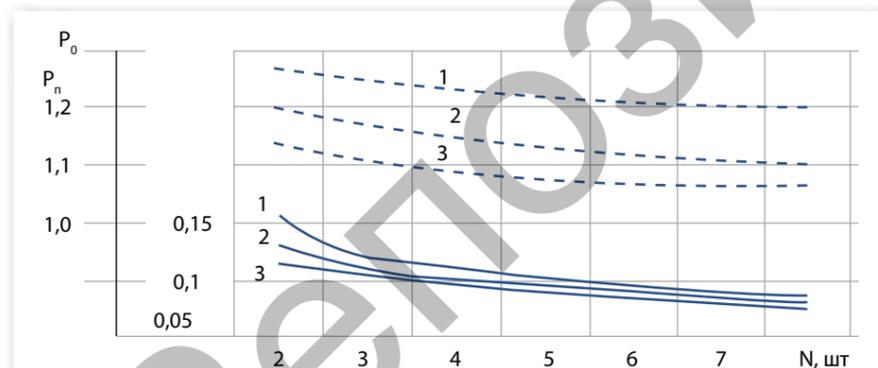
Специалистами в рамках исследований также было проанализировано соотношение деформации уплотнения и сдвига для разных типов почв. При влиянии нагрузкой на рыхлые грунты под подошвой штампа наблюдался четкий контур уплотненного ядра, а линии сдвига внутри массива обнаруживались лишь при достижении давлением величины, близкой к несущей способности почвы. При нагружении уплотненных песчаных участков на поверхности появлялись линии выпора уже при небольших деформациях, после

чего формировалось уплотненное ядро. Относительная величина сдвига в общей осадке для данного случая оказывалась выше, чем для рыхлых почв. При повторном нагружении, то есть при проходе по одному следу от МТА с одинаковой нагрузкой, грунт дополнительно уплотнялся после передвижения каждого колеса машины. Величину уплотнения верхнего слоя связной почвы при повторных нагружениях можно было определить с использованием накопления повторных осадок для упрочняющихся почв. Поскольку на связных грунтах с одинаковыми по глубине физико-механическими свойствами уплотнение распространяется на значительную глубину, уровень воздействия ходовых систем следовало оценивать не только по уплотнению верхнего слоя, но и

по его высоте. Сжатие этого горизонта слабо уплотняющегося грунта при повторном нагружении специалисты определили, исходя из того, что условный коэффициент объемного смятия возрастал от одной обработки к другой. Высоту уплотняемого слоя можно было считать не изменяющейся, поскольку контактное напряжение оставалось прежним при повторных воздействиях.

**КОЛИЧЕСТВЕННОЕ СООТНОШЕНИЕ**

Закljučающим этапом работы специалистов было исследование влияния количества осей ходовой системы сельхозтехники на слеодообразование и уплотнение почвы. Увеличение числа осей при одинаковой общей нагрузке вело к снижению степени сжатия верхнего горизонта и высоты



**Рис. 4.** Зависимость глубины следа (—) и уплотнения (---) слабо упрочняющейся почвы от числа осей: 1 –  $\kappa_v = 2$ , 2 –  $\kappa_v = 4$ , 3 –  $\kappa_v = 6$

уплотняемого слоя, при этом уменьшение уплотнения почвы ускорялось при большем количестве осей. Однако во всех случаях при использовании хотя бы четырех осей интенсивность убывания сжатия заметно сокращалась. Для слабо упрочняющихся почв эффект уменьшения глубины следа и прессования грунта при увеличении числа осей снижался по сравнению со слеодообразованием на сильно упрочняющихся почвах. Значения коэффициентов интенсивности накопления повторных деформаций, несущей способности и объемного смятия принимались на основании исследований. Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что степень уплотняющего воздействия ходовых систем на грунт можно оценивать с помощью величины плотности верхнего горизонта, характера распределения сжатия почвы по глубине и высоты уплотняемого слоя. При этом большее количество осей у сельскохозяйственных машин приводило к уменьшению уровня прессования верхнего слоя грунта. Однако при выборе техники и количества осей на ней следует учитывать тип почвы по степени ее упрочнения.



УВЕЛИЧЕНИЕ ЧИСЛА ОСЕЙ НА ТЕХНИКЕ ПРИ ОДИНАКОВОЙ ОБЩЕЙ НАГРУЗКЕ ПРИВОДИТ К СНИЖЕНИЮ СТЕПЕНИ СЖАТИЯ ВЕРХНЕГО ГОРИЗОНТА И ВЫСОТЫ УПЛОТНЯЕМОГО СЛОЯ, ПРИ ЭТОМ УМЕНЬШЕНИЕ УПЛОТНЕНИЯ ПОЧВЫ УСКОРЯЕТСЯ ПРИ БОЛЬШЕМ КОЛИЧЕСТВЕ ОСЕЙ. ОДНАКО ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ХОТЯ БЫ ЧЕТЫРЕХ ОСЕЙ ИНТЕНСИВНОСТЬ УБЫВАНИЯ УПЛОТНЕНИЯ ЗАМЕТНО СОКРАЩАЕТСЯ

**БЕЗ ЛИШНИХ ЗАБОТ.**



**Комплекты LuK RepSet - все, что нужно для ремонта сцепления, в одной коробке.**

Schaeffler Automotive Aftermarket предлагает интеллектуальное ремонтное решение для систем сцепления на тракторах - LuK RepSet. Каждый комплект LuK RepSet - это комплексное решение, включающее в себя все компоненты, необходимые для профессионального ремонта сцепления - выжимной подшипник, опорный подшипник маховика и, если требуется, демпфер холостого хода.

Больше информации: [www.schaeffler-aftermarket.ru](http://www.schaeffler-aftermarket.ru), [www.rexpert.ru](http://www.rexpert.ru)

