

Научная статья

УДК 631.51

EDN IGBPEL

DOI: 10.22450/1999-6837-2024-18-1-99-104

К вопросу деформационно-энергетической оценки состояния почвы при обработке

Сергей Александрович Шишлов¹, Александр Николаевич Шишлов²,
Дмитрий Сергеевич Шишлов³

^{1,2,3} Приморский государственный аграрно-технологический университет
Приморский край, Уссурийск, Россия

¹ sergey_a_shishlov@mail.ru

Аннотация. Проведение агротехнических операций по механической обработке почвы, а также любое воздействие на нее рабочих органов сельскохозяйственных машин и орудий, колесных и гусеничных движителей тракторов, комбайнов, прицепов и других технических средств, принимающих участие в сельскохозяйственном производстве, сопровождается действующей на почву деформирующей нагрузкой. Любой вид деформации почвы осуществляется с помощью некоторого количества затраченной энергии, поэтому процесс изменения свойств почвы при воздействии на нее деформаторов связан с приданием ей определенного энергетического уровня. При этом в качестве энергетических затрат, связанных с переходом почвы из одного состояния в другое, следует принимать не рассеянную энергию рабочего органа, воздействующего на почву, а энергию, поглощенную почвой, так как именно эта часть энергии обуславливает переход почвы из одного состояния в другое. В этой связи оценку напряженно-деформированного и энергетического состояния почвы предлагается производить на основании механической модели ее смятия. В статье приведены некоторые результаты теоретических исследований, направленных на разработку такой модели. Механическая модель смятия почвы характеризует ее напряженно-деформированное состояние на всех этапах деформации под энергетическим воздействием рабочих органов и ходовых систем сельскохозяйственной техники от момента начала деформации до разрушения. Для этого данная модель последовательно и параллельно включает в себя упругие и вязкие элементы, в которых происходит перераспределение напряжений при изменении скорости приложения деформирующей нагрузки, что соответствует реальному изменению напряженно-деформированного состояния почвы в конкретных условиях.

Ключевые слова: почва, деформация, рабочий орган, обработка почвы, деформирующая нагрузка

Для цитирования: Шишлов С. А., Шишлов А. Н., Шишлов Д. С. К вопросу деформационно-энергетической оценки состояния почвы при обработке // Дальневосточный аграрный вестник. 2024. Том 18. № 1. С. 99–104. doi: 10.22450/1999-6837-2024-18-1-99-104.

Original article

On the issue of deformation and energy assessment of soil condition during tillage

Sergey A. Shishlov¹, Aleksandr N. Shishlov², Dmitry S. Shishlov³

^{1,2,3} Primorsky State Agrarian and Technological University
Primorsky krai, Ussuriysk, Russian Federation

¹ sergey_a_shishlov@mail.ru

Abstract. Soil is greatly affected with working parts of agricultural machines and implements during agrotechnical operations of mechanical tillage. Technical means taking part in ag-

ricultural production such as wheeled and tracked propulsors of tractors, combines, trailers and other cause an acting deforming load on soil. Any type of soil deformation is carried out using a certain amount of expended energy, therefore the process of changing the properties of the soil when exposed to deformers is associated with giving it a certain energy level. In this case, as the energy costs associated with the transition of soil from one state to another, one should take not the dissipated energy of the working body acting on the soil, but the energy absorbed by the soil, since it is this part of the energy that determines the transition of the soil from one state to another. In this regard, it is proposed to assess the stress-strain and energy state of the soil on the basis of a mechanical model of its compression. The article presents some results of theoretical studies aimed at developing such a model. The mechanical model of soil compression characterizes its stress-strain state at all stages of deformation under the energetic influence of working bodies and running systems of agricultural machinery from the moment of the onset of deformation until destruction. For this purpose, the mechanical model of soil compression sequentially and in parallel includes elastic and viscous elements in which stress redistribution occurs when the rate of application of the deforming load changes, which corresponds to a real change in the stress-strain state of the soil under specific conditions.

Keywords: soil, deformation, working body, tillage, deforming load

For citation: Shishlov S. A., Shishlov A. N., Shishlov D. S. On the issue of deformation and energy assessment of soil condition during tillage. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik*. 2024;18;1:99–104. (in Russ.). doi: 10.22450/1999-6837-2024-18-1-99-104.

Введение. Продуктивность сельскохозяйственных культур непосредственно связана с условиями их роста и развития. Получение высокого урожая при снижении затрат на производство продукции является одним из основных показателей развития растениеводческой отрасли агропромышленного комплекса.

К основным факторам, влияющим на успешное развитие отрасли, относятся природно-климатические, технологические, агрономические и конструкторские. *Природно-климатические факторы* определяются типом почвы, выпадением осадков, температурой окружающей среды, солнечной энергией. *Технологические факторы* заключаются в совершенствовании технологий возделывания сельскохозяйственных культур с учетом природно-производственных условий.

Агрономические факторы обусловлены повышением способности почвы противостоять воздействию на нее нагрузкам благодаря соблюдению качественных показателей обработки и внесению удобрений. *Конструкторские факторы* предполагают создание новых и совершенствование имеющихся средств механизации сельскохозяйственного производства с целью устранения или снижения их негативного воздействия на почву и проведения технологических операций с наименьшими энергозатратами.

Все приведенные факторы являются обладателями энергии определенного вида, в частности энергии, затраченной на деформацию почвы при обработке, которая, при грамотном ее использовании, дает возможность эффективного проведения технологического процесса возделывания сельскохозяйственных культур с минимальными энергетическими затратами.

Целью исследований является разработка механической модели смятия почвы, характеризующей ее напряженно-деформированное состояние под энергетическим воздействием рабочих органов и ходовых систем сельскохозяйственной техники при выполнении различных агротехнических операций.

Материалы и методы исследований. В качестве методологической основы проведенных исследований использовались методы и приемы диалектического познания рассматриваемой проблемы, методологические и теоретические положения классической механики, математического анализа, механики сплошной среды.

Результаты исследований и их обсуждение. Основой любого способа механической обработки почвы является изменение ее свойств путем деформации различными видами почвообрабатывающих орудий с целью создания благоприятных условий для роста и развития культурных растений.

Почва – трехфазная среда, состоящая из твердой, жидкой и газообразной фаз в зависимости от соотношения которых изменяются ее физико-механические свойства. Состояние почвы как целостной структуры обеспечивается силами межмолекулярного притяжения ее элементарных частиц, образующих сплошную среду. Эти силы, обладая определенной энергией, создают энергетические поля, которые под действием деформаторов разрушаются, изменяя структуру почвы [1].

Структурная схема процесса деформации почвы от воздействия на нее различных деформаторов с возникающими при этом нормальным (σ), касательным (τ) и полным (p) напряжениями приведена на рисунке 1.

При проведении технологических операций по механической обработке почвы количество факторов, влияющих на этот процесс, постоянно меняется во времени, в связи с чем изменяется и величина усилия, прикладываемого к рабочему органу. Поскольку величину и направление силовых факторов постоянно контролировать весьма сложно, считаем целесообразным оценивать затраты на деформацию

почвы при обработке величиной затрачиваемой энергии. Чем менее энергозатратным будет этот процесс, тем экономичнее его применение.

Ввиду того, что силовые импульсы от воздействия рабочих органов на почву являются переменными, в ней возникают волны деформаций и напряжений. При этом импульсы поглощаемой энергии передаются от верхних слоев почвы к нижним. Вследствие наличия сил трения и необратимых деформаций, импульсы ослабевают по мере передачи их от слоя к слою. Степень ослабления определяется как свойствами почвы, так и характером, величиной силовых импульсов. Таким образом, по объему почвы распространяются затухающие волны.

Это обуславливает появление в почве нелинейных эффектов и позволяет предполагать, что поглощаемая энергия описывается сопротивлениями, которые показывают взаимосвязь между величиной энергии, рассеянной в почве, и вязким сопротивлением.

Оценка напряженно-деформированного и энергетического состояния почвы может быть произведена на основании ме-

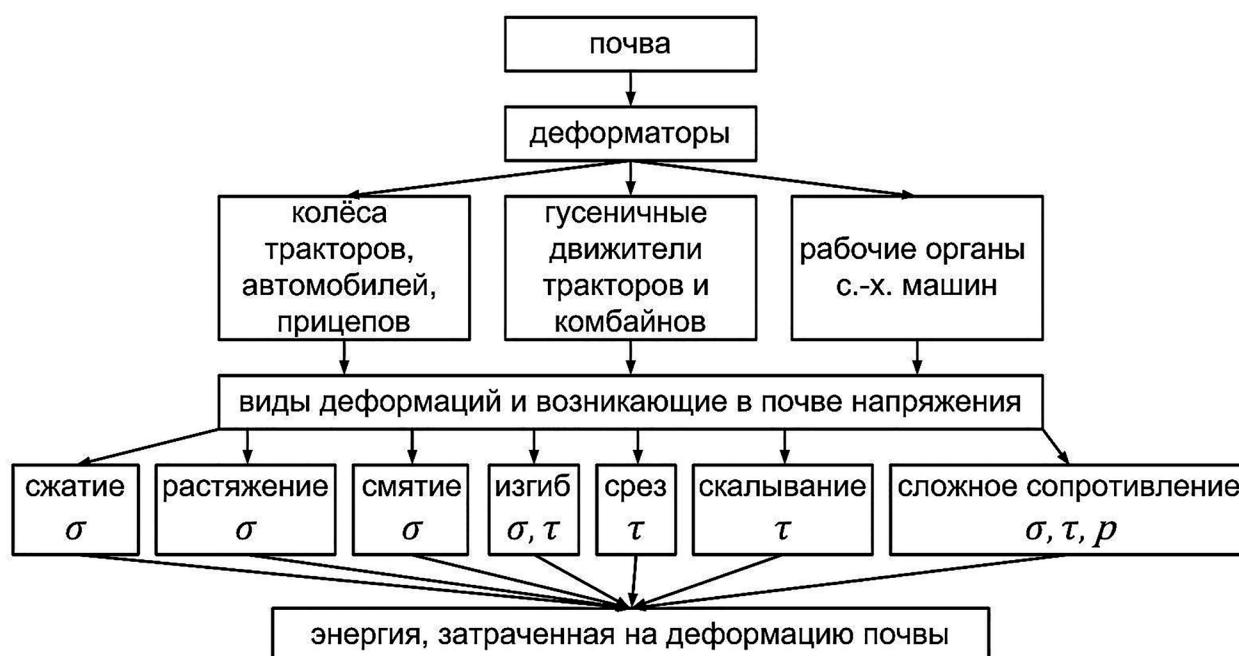


Рисунок 1 – Структурная схема процесса деформации почвы от воздействия рабочих органов и ходовых систем сельскохозяйственной техники
Figure 1 – Structural scheme of soil deformation process from the influence of working bodies and running systems of agricultural machinery

ханической модели ее смятия. Механическая модель должна быть универсальной и отражать происходящие в почве в процессе обработки изменения от воздействия на нее нагрузки. Предлагаемая механическая модель смятия почвы от воздействия рабочих органов и ходовых систем сельскохозяйственной техники представлена на рисунке 2.

В данной механической модели смятия почвы упругие элементы E_1 , E_2 , E_3 подчиняются закону Гука, а величины возникающих напряжений определяются из уравнения (1) [2, 3]:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \quad (1)$$

где ε – величина относительной деформации почвы от нагрузки F ;

E – модуль упругости почвы.

Элементы μ_1 и μ_2 отображают вязкие свойства почвы, а величина напряжения в них определяется из уравнения (2):

$$\sigma = \mu \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (2)$$

где μ – коэффициент вязкости (изображается моделью, состоящей из поршня, пе-

ремещающегося в цилиндре с вязкой жидкостью).

Жестко-пластическое тело σ_T при напряжениях ниже предела текучести не деформируется. Течение развивается лишь при напряжениях, удовлетворяющих условию текучести, при котором $\sigma = \sigma_T$.

Смешанное (последовательно и параллельно) включение в модель упругих и вязких элементов вызывает перераспределение в них напряжений при изменении скорости приложения деформирующей энергии от силы F . Это соответствует реальному изменению напряженно-деформированного состояния почвы в конкретных условиях.

Исходя из того, что почва является мелкодисперсной средой, состоящей из множества твердых частиц, разделенных жидкой и газообразной фазой, в начальный момент воздействия рабочего органа на почву во взаимодействие с его рабочей поверхностью вступают твердые частицы, расположенные ближе к поверхности контакта. Поскольку силы взаимного притяжения частиц почвы друг к другу незначительны по сравнению с усилием воздействующего на них деформатора, дальнейшее уплотнение почвы происходит за счет сближения твердых частиц

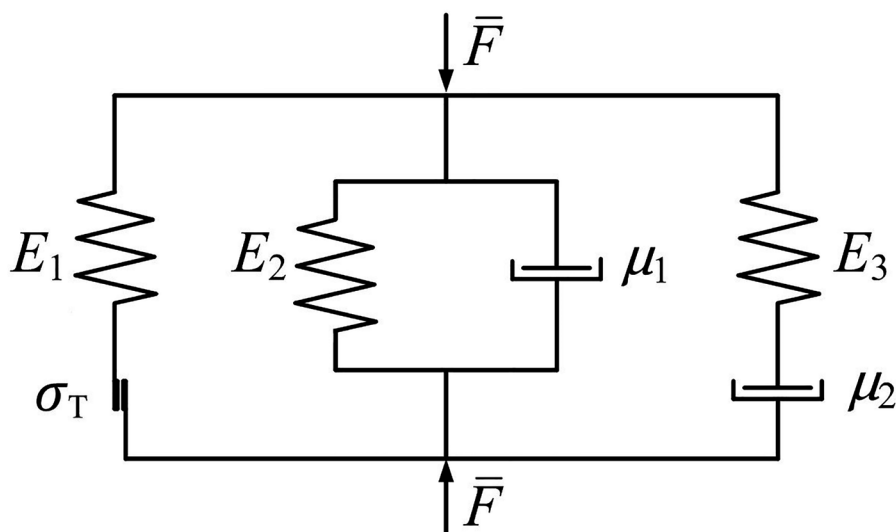


Рисунок 2 – Механическая модель смятия почвы от воздействия рабочих органов и ходовых систем сельскохозяйственной техники

Figure 2 – Mechanical model of soil compression from the impact of working bodies and running systems of agricultural machinery

друг с другом путем заполнения пор, заполненных воздухом и водой [4, 5]. При этом меняются параметры E_1 , E_2 , E_3 механической модели, характеризующие деформацию почвы в упругой области.

Обладая определенной величиной потенциальной энергии, в начальный момент воздействия почва аккумулирует в себе запас этой энергии. При дальнейшем уплотнении почвы и увеличении скорости движения деформатора потенциальная энергия переходит в кинетическую энергию твердых частиц почвы, которая приводит к разрыхлению обрабатываемого пласта. Когда напряжения в почве достигают предела текучести, она переходит из режима упруговязкого деформирования в упруговязкопластическое деформирование [6], что отражается на всех элементах модели.

Таким образом, предложенная механическая модель характеризует все этапы деформации почвы под энергетическим воздействием рабочих органов и ходовых систем сельскохозяйственной

техники, от момента начала деформации до разрушения.

Заключение. 1. Почва, являясь сложной средой, обеспечивает свое структурное состояние силами взаимного притяжения твердых частиц, обладающих определенным запасом потенциальной энергии.

2. Воздействие на почву деформаторов в виде рабочих органов и ходовых систем сельскохозяйственной техники связано с различными видами деформаций и вызывает напряжения и деформации, различные по величине и направлению при переходе потенциальной энергии в кинетическую, обеспечивающую в почве структурные изменения.

3. Предложенная механическая модель смятия почвы является универсальной и позволяет оценить напряженно-деформированное состояние почвы в зависимости от изменения ее свойств под энергетическим воздействием деформаторов.

Список источников

1. Горячкин В. П. Собрание сочинений: в 3 т. Т. 1. М. : Колос, 1968. 720 с.
2. Алдошин Н. В., Васильев А. С., Голубев В. В. Исследования прочностных характеристик почвы // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева, 2020. № 3 (47). С. 68–73. EDN UQTTHX.
3. Алдошин Н. В., Васильев А. С., Голубев В. В. Исследование пределов прочности почвы на сжатие и растяжение // Агроинженерия. 2020. № 3 (97). С. 27–33. doi: 10.26897/2687-1149-2020-3-27-33.
4. Кузнецов Е. Е., Щитов С. В. Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур : монография. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2017. 200 с. EDN XONHXY.
5. Щитов С. В., Кузнецов Е. Е., Кривуца З. Ф., Панова Е. В., Поликутина Е. С., Митрохина О. П., Качко С. Ю. Снижение техногенного воздействия на почву колесных комбайнов // Дальневосточный аграрный вестник. 2019. № 1 (49). С. 87–94. doi: 10.24411/1999-6837-2019-11013.
6. Шишлов С. А., Шишлов А. Н., Тихончук П. В., Щитов С. В., Жирнов А. Б. Фрикционно-адгезионные свойства почв Приморского края, влияющие на работу машин // Научное обозрение. 2016. № 17. С. 102–106. EDN WXRACF.

References

1. Goryachkin V. P. *Collected Works*. Vol. 1, Moscow, Kolos, 1968, 720 p. (in Russ.).
2. Aldoshin N. V., Vasiliev A. S., Golubev V. V. Studies of strength characteristics of soil. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P. A. Kostycheva*, 2020;3(47):68–73. doi: 10.36508/RSATU.2020.22.33.012. EDN UQTTHX (in Russ.).

3. Aldoshin N. V., Vasiliev A. S., Golubev V. V. Investigation of soil compressive and tensile strength limits. *Agroinzheneriya*, 2020;3(97):27–33. doi: 10.26897/2687-1149-2020-3-27-33 (in Russ.).

4. Kuznetsov E. E., Shchitov S. V. *Improving the efficiency of mobile energy means in the technology of cultivation of agricultural crops: monograph*, Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2017, 200 p. EDN XONHXY (in Russ.).

5. Shchitov S. V., Kuznetsov E. E., Krivutsa Z. F., Panova E. V., Polikutina E. S., Mitrokhina O. P., Kachko S. Yu. Reducing the technogenic impact on the soil of wheeled harvesters. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik*, 2019;1(49):87–94. doi: 10.24411/1999-6837-2019-11013 (in Russ.).

6. Shishlov S. A., Shishlov A. N., Tikhonchuk P. V., Shchitov S. V., Zhirnov A. B. Friction-adhesion properties of soils of Primorsky krai, affecting the performance of machines. *Nauchnoe obozrenie*, 2016;17:102–106. EDN WXRACF (in Russ.).

© Шишлов С. А., Шишлов А. Н., Шишлов Д. С., 2024

Статья поступила в редакцию 20.02.2024; одобрена после рецензирования 04.03.2024; принята к публикации 06.03.2024.

The article was submitted 20.02.2024; approved after reviewing 04.03.2024; accepted for publication 06.03.2024.

Информация об авторах

Шишлов Сергей Александрович, доктор технических наук, профессор, Приморский государственный аграрно-технологический университет, sergey_a_shishlov@mail.ru;

Шишлов Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент, Приморский государственный аграрно-технологический университет, sergey_a_shishlov@mail.ru;

Шишлов Дмитрий Сергеевич, студент бакалавриата, Приморский государственный аграрно-технологический университет, sergey_a_shishlov@mail.ru

Information about the authors

Sergey A. Shishlov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Primorsky State Agrarian and Technological University, sergey_a_shishlov@mail.ru;

Aleksandr N. Shishlov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Primorsky State Agrarian and Technological University, sergey_a_shishlov@mail.ru;

Dmitry S. Shishlov, Undergraduate Student, Primorsky State Agrarian and Technological University, sergey_a_shishlov@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.