

Оценка механического воздействия почвообрабатывающих машин и орудий по изменению энергетического состояния почвенной влаги

Wpłynęło 16.12.2015 r.
Zrecenzowano 20.01.2016 r.
Zaakceptowano 18.02.2016 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

Виктор Василевич АЛЕКСЕЕВ¹⁾ ABCDF,
Иван Иванович МАКСИМОВ¹⁾ ABCDE,
Jan Radosław KAMIŃSKI²⁾ BDEF, **Zbigniew KOGUT**³⁾ BDEF

¹⁾ Чувашская государственная сельскохозяйственная академия,
г. Чебоксары, Россия

²⁾ Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Inżynierii Produkcji,
Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych, Warszawa

³⁾ Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Mazowiecki Ośrodek
Badawczy w Kludzienku

Do cytowania For citation: Alekseev V. V., Maksimov I. I., Kamiński J.R., Kogut Z. 2016. Оценка механического воздействия почвообрабатывающих машин и орудий по изменению энергетического состояния почвенной влаги [Estimation of mechanical impact of soil tilling machines and implements by variation in energy state of soil moisture]. Problemy Inżynierii Rolniczej. Z. 4 (94) s. 29–39.

Резюме

Разработан метод оценки механического воздействия обрабатывающих почву машин по изменению энергетического состояния почвенной влаги. Найдены интегральные показатели уплотнения и разрыхления, определяемые как отношения изменения удельной объемной свободной энергии почвенной влаги до обработки и после обработки к ее начальному значению. При механическом воздействии на почву совершается работа, которая затрачивается на изменение энергии связей между подвижными почвенными отдельностями. Эта работа характеризует почвообрабатывающее орудие при энергетическом рассмотрении процесса. Разработанный комплекс программ по-звolyяет строить карты полей в изолиниях значений свободной энергии, с целью рационального использования природных ресурсов. В работе приведены уравнения для расчета основной гидрофизической характеристики почвы и расчета интегрального параметра оценки орудий. Результаты проведенных сравнительных испытаний доказали, что: на всех полях агрегат Т-25Н + экспериментальный плуг наиболее эффективны, из экспериментальных борон наиболее эффективна фронтальная игольчатая борона на всех полях, из серийных агрегатов наиболее эффективен агрегат ДТ-75Н + БЗТС-1,0, агрегат МТЗ-82 + КЗК-10 уплотняет почву, а агрегат ДТ-75Н + РВК-3,6 прикатывает почву без уплотнения.

Ключевые слова: агрокультурная машина, агрокультурный агрегат, состояние почвы

Введение

Известные способы оценки механического воздействия на почву по измерениям твердости [КАНАЕВ 2001], определению поверхности образовавшихся комков [МАТУАШИН и др. 1999], методы определения уплотнения почвы по учету изменения объемной массы имеют недостатки, так как эти зависимости носят стохастический характер.

Методы исследований

Разработан объективный энергетический метод оценки механического воздействия на почву, основанный на использовании законов термодинамики отражающих энергетическое состояние почвенной влаги [SIROTKIN, SIROTKIN 2001]. Метод позволяет определить качество механической обработки почвы.

Основной характеристикой энергетического состояния почвенной влаги является термодинамический потенциал [BARANOWSKI 1976; BOLT, FRISSEL 1960; SKIERUSNA и др. 2012], определяемый как работа необходимая для удаления из почвы единицы массы воды.

Зависимость между влажностью и потенциалом влаги называют основной гидрофизической характеристикой почвы (ОГХ). Эта зависимость весьма информативна и используется для многих целей: регистрации и контроля изменений физических и гидрофизических свойств почвы под влиянием естественных и антропогенных (техногенных) факторов; расчета коэффициентов влагопроводности, скорости инфильтрации, и других гидрофизических параметров и зависимостей между ними [KOLLÁROVÁ и др. 2007; Rutkowski и др. 2007].

Практическое использование ОГХ сдерживается сложностью прямого измерения потенциала влаги, большой длительностью определения частных гидрофизических параметров и высокими профессиональными требованиями к оператору.

Разработана тоже идеализированная динамическая модель почвы [SIROTKIN, SIROTKIN 2001], на основе которой предложен аэродинамический метод измерения: удельной поверхности и коэффициента влагопроводности. По этим данным исходя из законов классической термодинамики найдены аналитические выражения для ОГХ и зависимости между коэффициентом влагопроводности и влажностью.

Использование разработанной модели [SIROTKIN, SIROTKIN 2001] позволяет решать прикладные геоэкологические задачи: оценка почвообрабатывающих орудий по изменению ОГХ с целью их выбора; определение момента «спелости» почв; расчет приготовления «смесевых» почв с заданными параметрами; классификация почв по количеству влаги доступной для растений; оценка влияния растений на почву и др.

ОГХ индивидуальна для каждой конкретной почвы и представляется обычно в виде графиков, охватывающих широкий интервал значений влажности и потенциала влаги. Для решения большинства задач, обычно достаточно изме-

ритель потенциал только для пахотного горизонта. Для учета влияния плужной подошвы, необходимы дополнительные измерения коэффициента влагопроводности.

Аналитически зависимость между потенциалом влаги и влажностью, по которой могут быть рассчитаны численные значения потенциала влаги, определяется выражением:

$$\psi = \psi'' + \psi' = \frac{\Omega_0 \sigma_{lg} (1 - P_0)}{\rho_w P_0^{2.5}} \cdot \frac{(P_0 - W_{vi})^{2.5}}{1 - (P_0 - W_{vi})} + \frac{A \Omega_0^3}{\rho_w W_{vi}^3} \quad (1)$$

где:

ψ = полный потенциал;

ψ' = адсорбционный потенциал;

ψ'' = капиллярный потенциал;

Ω_0 = объемная удельная поверхность;

P_0 = пористость сухого образца [-];

σ_{lg} = коэффициент поверхностного натяжения воды на границе раздела жидкость – газ;

ρ_w = плотность воды;

A = постоянная Б. В. Дерягина, меняющаяся в пределах $5 \cdot 10^{-21} - 5 \cdot 10^{-19}$ Дж;

W_{vi} = объемная влажность почвы.

Потенциал влаги обычно выражается через эквивалентное давление

$$p = p'' + p' = \frac{\Omega_0 \sigma_{lg} (1 - P_0)}{P_0^{2.5}} \cdot \frac{(P_0 - W_{vi})^{2.5}}{1 - (P_0 - W_{vi})} + \frac{A \Omega_0^3}{W_{vi}^3} \quad (2)$$

Интегрируя это выражение по объемной влажности (от некоторого значения влажности $W = a$ до полного заполнения пор водой $W = P_0$) получим выражение:

$$\int_a^P p dw = \frac{1}{2} \frac{\sigma_{lg} A \Omega_0^3}{P^2 a^2} (P^2 - a^2) + \frac{2 \sigma_{lg} \Omega_0 (P - 1)}{P^{2.5}} \left(\frac{(P - a)^{2.5}}{5} + \frac{(P - a)^{1.5}}{3} + (P - a)^{0.5} - \operatorname{arcth}(P - a)^{0.5} \right) \quad (3)$$

Выбор значения нижнего предела интегрирования – влажности $W = a$ неслучаен, так как характеризует определенное энергетическое состояние влаги в почве. Нахождение этого значения возможно с помощью уравнения, которое А. Д. Воронин получил на основе энергетической концепции состояния влаги в почве [VORONIN 1990]. Одно из уравнений Воронина отражает переход влаги в такое энергетическое состояние, что она становится недоступной растениям. Другими словами a – то значение объемной влажности, которое отражает влажность «устойчивого завядания». Это уравнение Воронина имеет вид:

$$lg p = 2,18 + 15w_p \quad (4)$$

где:

w_p = массовая влажность [-].

Переходя к объемной влажности, получаем:

$$lg p = 2,18 + 15 \frac{\rho_s w_v}{\rho_v - \rho_s w_v} \quad (5)$$

где:

ρ_s = плотность твердой фазы [-];

ρ_v = объемная масса [-].

Решая совместно уравнение Воронина (5) и уравнение основной гидрофизической характеристики (2), получим искомое значение объемной влажности a . Подстановка конкретных значений гидрофизических параметров измеренных в полевом эксперименте дает численное значение a , для данного энергетического состояния почвы.

Величина интеграла (3) может быть использована для оценки как разрыхляющего так и уплотняющего воздействия сельскохозяйственных орудий на почву [ALEKSEEV и др. 2001]. По своей физической сущности величина интеграла показывает удельную объемную энергию Гиббса находящейся в почве влаги. По изменению этой величины возможно оценить качество обработки почвы сельскохозяйственными орудиями.

Почва представляет собой дисперсную систему, с сильно развитой поверхностью. Подвижные отдельные почвенные частицы удерживаются между собой благодаря почвенной влаге. Поэтому физико-механические свойства почвы такие как твердость, пластичность и т.д. зависят для каждой конкретной почвы от количества содержащейся в ней влаги. При разрыхлении или уплотнении почвы мы, с точки зрения термодинамики, совершаем над ней работу, которая идет на изменение энергии связей между подвижными почвенными отдельностями. Измерив разность энергии связей, после обработки и до обработки почвы, мы получаем значение работы совершенной над системой. Эта работа характеризует почвообрабатывающее орудие при энергетическом рассмотрении процесса.

Если до прохождения орудия по участку поля величина интеграла составляла E_0 , а после его прохождения – E , то разность $\Delta E = E - E_0$ покажет нам на какую величину изменилась удельная энергия почвенной влаги (в пределах влажности от полного заполнения пор водой до состояния «устойчивого завядания»). А отношение $\Delta E/E_0$ можно использовать как показатель уплотняющего или разрыхляющего воздействия.

На практике после измерения гидрофизических параметров на поле производится обработка данных в лаборатории, а затем результаты вводятся в компьютер и обрабатываются. Весь процесс обработки данных от взятия образца до построения ОГХ и расчета интеграла занимает около четырех часов. Все не-

обходимые приборы и методика работы имеются в лаборатории «Гидрофизики и эрозии почв» при Чувашской государственной сельскохозяйственной академии (ЧГСХА).

Таким образом, мы получили возможность количественно оценить механическое воздействие почвообрабатывающих орудий.

Результаты и обсуждение

Некоторые результаты обработки данных проведенных нами экспериментов весной 2001 года приведены в таблицах 1–3.

Таблица 1. Вспашка под однолетние травы после однолетних трав
Table 1. Ploughing under the annual grasses after annual grasses

Трактор + орудие Tractor + cultivation tool	Средняя удельная поверхность [м ² ·см ⁻³] Average unit surface area [m ² ·cm ⁻³]	Объемная масса [кг·м ⁻³] Mass bulk [kg·m ⁻³]		Пористость Porosity [-]		Удельная энергия [кДж·м ⁻³] Specific energy [kJ·m ⁻³]		ΔE/E ₀
		до before	после after	до before	после after	до before	после after	
T-25H + экспериментальный плуг T-25N + the experimental plow	117	1,24	1,14	0,581	0,620	287	315	0,090
ДТ-75Н + ПЛН-4-35 DT-75H + PŁN-4-35			1,21				0,590	
T-25H + экспериментальный плуг T-25N + the experimental plow	127	1,30	1,16	0,562	0,619	271	316	0,170
ДТ-75Н + ПЛН-4-35 DT-75H + PŁN-4-35			1,19				0,607	
T-25H + экспериментальный плуг T-25N + the experimental plow	142	1,34	1,15	0,573	0,641	338	397	0,170
ДТ-75Н + ПЛН-4-35 DT-75H + PŁN-4-35			1,17				0,621	

Объяснения: на первом поле: объемная влажность на поле 0,23 плотность твердой фазы 2,41 кг·м⁻³. На втором поле: объемная влажность на поле 0,22 плотность твердой фазы 2,47 кг·м⁻³. На третьем поле: объемная влажность на поле 0,22 плотность твердой фазы 2,52 кг·м⁻³.

Explanations: the first field: moisture by volume 0.23, the density of the solid phase 2.41 kg·m⁻³. The second field: moisture by volume 0.22, the density of the solid phase 2.47 kg·m⁻³. On a third field: moisture by volume 0.22, the density of the solid phase 2.52 kg·m⁻³.

Источник: разработка авторов. Source: own study.

Из данных следует, что на всех полях агрегат Т-25Н + экспериментальный плуг наиболее эффективен. Преимущество этого агрегата более выражено для почв с меньшей удельной поверхностью.

Таблица 2. Боронование под пшеницу и ячмень
Table 2. Harrowing under the wheat and barley

Трактор + орудие Tractor + cultivation tool	Средняя удельная поверхность [м ² ·см ⁻³] Average unit surface area [m ² ·cm ⁻³]	Объемная масса [кг·м ⁻³] Mass bulk [kg·m ⁻³]		Пористость Porosity [-]		Удельная энергия [кДж·м ⁻³] Specific energy [kJ·m ⁻³]		ΔE/E ₀
		до before	после after	до before	после after	до before	после after	
Т25 + экспериментальная фронтальная игольчатая борона T25 + experimental frontal needle harrow	105	1,46	1,33	0,55	0,60	219	254	0,160
Т25 + экспериментальная фронтальная игольчатая борона T25 + experimental frontal needle harrow			1,23		0,63		276	0,260
ДТ-75Н+БИГ-3 DT-75Н+BIG-3			1,38		0,58		243	0,110
ДТ-75Н+БЗТС-1,0 DT-75Н+BZTS-1.0			1,39		0,58		241	0,100
Т25 + экспериментальная фронтальная игольчатая борона T25 + experimental frontal needle harrow	131	1,49	1,28	0,58	0,63	310	350	0,130
Т25 + экспериментальная фронтальная игольчатая борона T25 + experimental frontal needle harrow			1,26		0,70		392	0,260
ДТ-75Н + БИГ-3 DT-75Н + BIG-3			1,35		0,58		311	0,003
ДТ-75Н + БЗТС-1,0 DT-75Н + BZTS-1.0			1,36		0,58		315	0,016

Объяснения: на первом поле: объемная влажность на поле 0,29 плотность твердой фазы 2,63 кг·м⁻³. На втором поле: объемная влажность на поле 0,31 плотность твердой фазы 2,51 кг·м⁻³.

Explanations: the first field: moisture by volume 0.29, the density of the solid phase 2.63 kg·m⁻³. The second field: moisture by volume 0.31, the density of the solid phase 2.51 kg·m⁻³.

Источник: разработка авторов. Source: own study.

Из таблицы 2 следует, что из экспериментальных борон наиболее эффективна фронтальная игольчатая борона на всех полях.

Из серийных агрегатов более эффективен агрегат ДТ-75Н + БЗТС-1,0.

Таблица 3. Прикатывание после сева гороха (МТЗ-82 + КЗК-10)

Table 3. Rolling after sowing peas (MTZ-82 + KZK-10)

Трактор + орудие Tractor + cultivation tool	Средняя удельная поверхность [м ² ·см ⁻³] Average unit surface area [m ² ·cm ⁻³]	Объемная масса [кг·м ⁻³] Mass bulk [kg·m ⁻³]		Пористость Porosity [-]		Удельная энергия [кДж·м ⁻³] Specific energy [kJ·m ⁻³]		ΔE/E ₀
		до before	после after	до before	после after	до before	после after	
МТЗ-82 + КЗК-10 MTZ-82 + KZK-10	106	1,226	1,397	0,55	0,48	215	165	-0,23
ДТ-75Н + РВК-3,6 DT-75H + RWK-3.6	112	1,420	1,400	0,49	0,49	144	150	0,04

Объяснения: культивация с выравниванием и прикатыванием (ДТ-75Н + РВК-3,6). На первом поле: объемная влажность на поле 0,11 плотность твердой фазы 2,46 кг·м⁻³. На втором поле: объемная влажность на поле 0,16 плотность твердой фазы 2,45 кг·м⁻³.
 Explanations: cultivating the dragging and rolling (DT-75N + RWK-3.6). The first field: moisture by volume 0.11, the density of the solid phase 2.46 kg·m⁻³. The second field: moisture by volume 0.16, the density of the solid phase 2.45 kg·m⁻³.

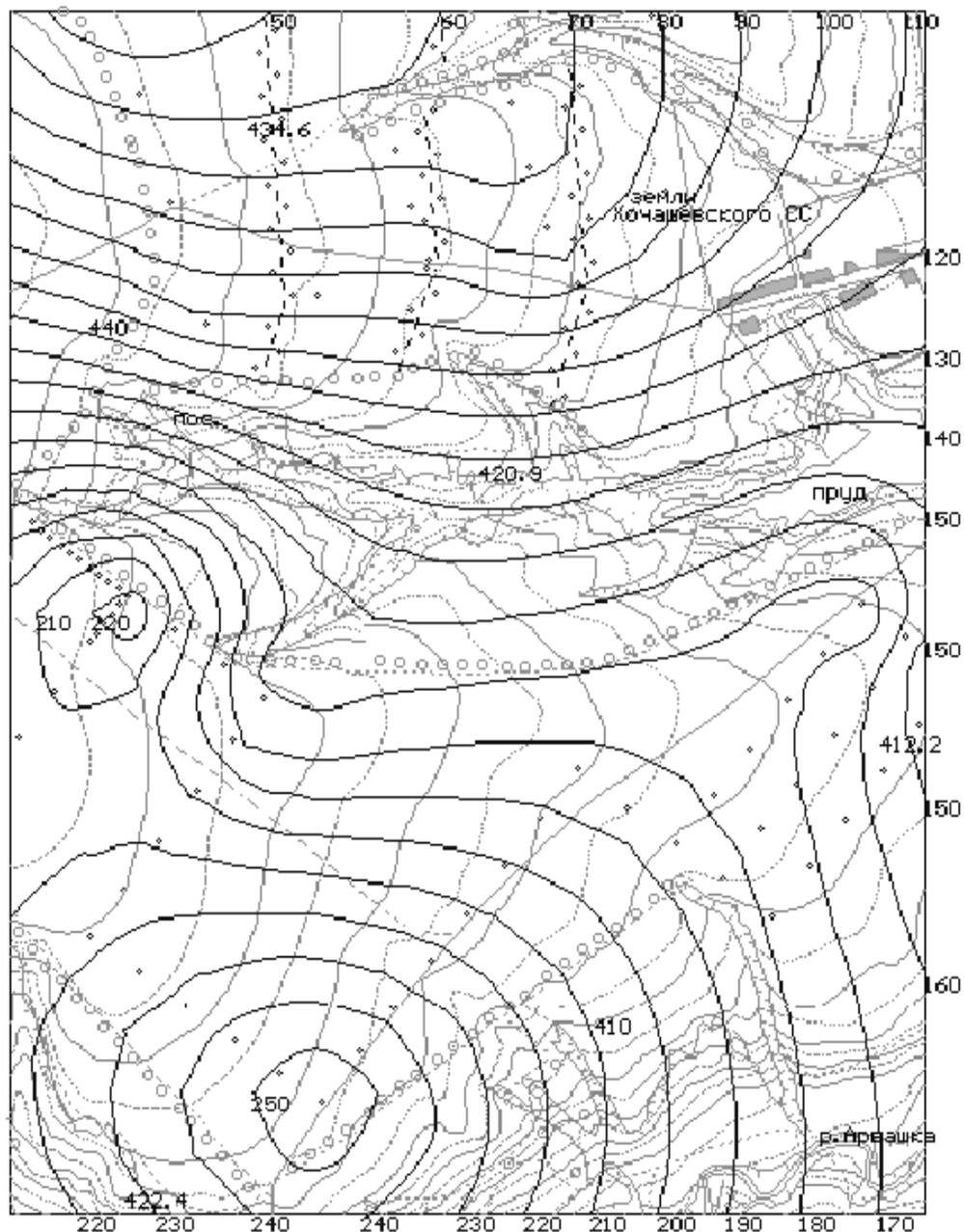
Источник: разработка авторов. Source: own study.

Из данных таблицы 3 следует, что агрегат МТЗ-82 + КЗК-10 уплотняет почву, а агрегат ДТ-75Н + РВК-3,6 прикатывает почву без уплотнения.

Полученные результаты могут быть представлены в виде карт энергетических показателей. Возможность составления карты в изолиниях введенного параметра поможет предприятиям возделывающим почву не только сэкономить средства при ее обработке, но и снизить вследствие уменьшения проходов техники техногенное воздействие, что в сложившейся экологической и экономической обстановке является весьма актуальным. На рисунке 1 представлен фрагмент такой карты для E₀ для слоя 0–20 см.

Выводы

Разработанная нами теория позволяет определить не является ли рыхление чрезмерным (при котором происходит разрушение структуры почвы, эрозия, провальная фильтрация). Деградация почвы вследствие эрозии и уплотнения представляет собой большую экологическую проблему, вызванную традиционной обработкой почвы. В Европе от этого страдают 157 млн га [TEBRUGGE 2001]. Разработанная теория может быть применена к энергетической оценке прямого посева и минимальной (нулевой) обработки почвы, которую в последнее время начинают проводить в ряде стран (Дания, Франция, Германия, Великобритания, Италия, Швеция и Швейцария). Задачи хозяйствования с использованием прямого посева решаемые специалистами программы «АГЕНДА-2000»



Источник: разработка авторов. Source: own study.

Рис. 1. Фрагмент карты в изолиниях удельной энергии E_0 до прохождения орудия для слоя почвы 0–20 см

Fig. 1. The map view in the isolines a unit energy E_0 before using the tool for soil layer 0–20 cm

и Европейской сельскохозяйственной федерации (ЕСАР), с помощью разработанной нами теории и методик, могут быть решены в значительно более короткие сроки.

Результаты проведенных сравнительных испытаний доказали, что: на всех полях агрегат Т-25Н + экспериментальный плуг наиболее эффективен, из экспериментальных борон наиболее эффективна фронтальная игольчатая борона на всех полях, из серийных агрегатов наиболее эффективен агрегат ДТ-75Н + БЗТС-1,0, агрегат МТЗ-82 + КЗК-10 уплотняет почву, а агрегат ДТ-75Н + РВК-3,6 прикатывает почву без уплотнения.

Список литературы

ALEKSEEV V. V., SIROTKIN V. V., SIROTKIN V. M., MAKSIMOV I. I. 2001. Оценка воздействия сельскохозяйственной техники на почву по изменению свободной энергии Гиббса почвенной влаги. В: Актуальные проблемы сельскохозяйственного производства. Материалы межрегиональной научно – практической конференции, посвященной 70-летию ЧГСХА [Impact assessment agricultural machinery on soil from the point of view of the Gibbs free energy of soil water. In: The current problems of agricultural production]. Чебоксары. ЧГСХА с. 379–384.

BARANOWSKI R. 1976. Tensjometr kapilarny i jego zastosowanie w badaniach potencjału wody glebowej [Capillary tensiometer and its application in investigations of the soil water potential]. Roczniki Gleboznawcze. T. 27. Nr 4 с. 19–28.

BOLT G.H., FRISSEL M.J. 1960. Thermodynamic of soil moisture. North Central Journal of Agricultural Sciences. Vol. 8. No. 1 с. 361–374.

КАНАЕВ А. И. 2001. Управление системой «рабочие органы – почва» при обработке зяби с целью накопления почвенной влаги в условиях Заволжья [Control system «working bodies-soil» during the winter plowing in order to collect soil water in conditions Transvolga]. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Самарыйская государственная сельскохозяйственная академия. Самара. Парус. ISBN 5-88575-062-9 сс. 274.

KOLLÁROVÁ K., KRAJČO J., PLAČO M., RUTKOWSKI K. 2007. Ocena zmienności przestrzennej wilgotności gleby na podstawie map konduktywności elektrycznej [Evaluation of soil spatial moisture pattern based on electric conductivity maps]. Inżynieria Rolnicza. Nr 6(94) с. 73–79.

МАТЫШИН Ю. И., GRINCHUK I. M., NAUMOV L. G., МАТЫШИН Н. И. 1999. Теория и расчет ротационных почвообрабатывающих машин [Theory and calculations of rotating tillage machines]. Казань. Казанский государственный аграрный университет. Татарское книжное издательство сс. 186.

RUTKOWSKI K., KOLLÁROVÁ K., KRAJČO J., PLAČO M. 2007. Ocena zmienności przestrzennej wilgotności gleby na podstawie map konduktywności elektrycznej. Część II [Assessment of soil moisture content spatial variability on the basis of electric conductivity maps]. Inżynieria Rolnicza. Nr 8(96) с. 225–232.

SIROTKIN V. V., SIROTKIN V. M. 2001. Прикладная гидрофизика почв [Practical hydrophysics of soils]. Чебоксары. Издательство Чувашская государственная сельскохозяйственная академия. ISBN 5-7677-0512-7 сс. 252.

SKIERUCHA W., SŁAWIŃSKI C., WILCZEK A., ŻYROMSKI A., BINIAK-PIERÓG M. 2012. Telemetryczny system pomiaru wilgotności gleby, działający w technice TDR [Telemetric system for the measurement of soil moisture based on the TDR technique]. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 12. Z. 2(38) s. 257–267.

TEBRUGGE F. 2001. Прямой посев: снижение затрат, охрана окружающей среды [Direct sowing: lower investments, protection of the environment]. Техника и оборудование для села. No. 9 с. 42–43.

VORONIN A. D. 1990. Энергетическая концепция физического состояния почв [Energy concept of the physical of the soil condition]. Почвоведение. No. 5 с. 7–19.

Victor V. Alekseev, Ivan I. Maksimov, Jan R. Kamiński, Zbigniew Kogut

ESTIMATION OF MECHANICAL IMPACT OF SOIL TILLING MACHINES AND IMPLEMENTS BY VARIATION IN ENERGY STATE OF SOIL MOISTURE

Summary

A method was developed to estimate mechanical impact of soil tilling machines by variations in energy state of soil moisture. The method makes use of thermodynamics laws. Integral parameters of compaction and aeration are obtained, which are defined as the ratio of variation of specific volumetric free energy of soil moisture before and after tilling to its initial value. Physical and mechanical properties of soil, such as hardness, plasticity, etc., depend, for each particular soil, on the amount of moisture in it. When compacting or aerating the soil, we, in terms of thermodynamics, extend work on changing the bond energy between mobile soil aggregates. The difference in bond energy before and after soil tilling shows the quantity of work delivered. This work characterizes a soil tilling implement when considering the process from power standpoint. The designed set of programs allows to map the fields in isoline values of free energy with the aim of natural resource conservation. The paper presents equations to calculate basic hydro-physical characteristics of soil and an integral parameter for estimation of implements by its variation. The results of the comparative studies have shown that in all areas the most effective is the unit T-25N + the experimental plow is the most effective, experimental harrows was a frontal needle harrow in all fields, among serial aggregates the most effective was the aggregate DT-75N + BZTS-1.0, unit MTZ-82 + 1.0 KZK-kneaded soil and aggregate DT-75N + HCC-3.6 rolled without compacting.

Key words: cultivation aggregator, soil condition, tilling machine

Victor V. Alekseev, Ivan I. Maksimov, Jan R. Kamiński, Zbigniew Kogut

OCENA MECHANICZNEGO ODDZIAŁYWANIA NARZĘDZI I MASZYN UPRAWOWYCH NA ZMIANY STANU ENERGETYCZNEGO WODY GLEBOWEJ

Streszczenie

Opracowano metodę oceny mechanicznego oddziaływania narzędzi uprawowych na zmiany stanu energetycznego wody glebowej. Metodę oparto na zasadach termodynamiki. Opracowano całościowe wskaźniki zagęszczenia i spulchnienia, określające stosunki zmian jednostkowej, objętościowej, swobodnej energii Gibbsa wody glebowej do uprawy i po uprawie do jej wartości początkowej. Fizyczno-mechaniczne właściwości gleby, takie jak: zwięzłość, plastyczność itp., zależą od rodzaju gleby i jej wilgotności. Podczas spulchnienia lub zagęszczania gleby, w aspekcie termodynamicznym, wykonuje się pracę, którą zużywa się na zmianę energii wiązania między ruchomymi elementami

glebowymi. Różnica energii wiązania po uprawie i przed uprawą przedstawia wartość pracy wykonanej na układzie. Praca ta charakteryzuje narzędzie uprawowe w analizie energetycznej procesu. Opracowany kompleksowy program umożliwia sporządzanie mapy modeli z izoliniami swobodnej energii w celu racjonalnego wykorzystania zasobów naturalnych. W pracy zamieszczono równania opisujące podstawową hydrofizyczną charakterystykę gleby i służące do obliczania sumarycznego parametru oceny narzędzia i jego zmian. Rezultaty przeprowadzonych badań porównawczych wykazały, że na wszystkich polach najbardziej efektywny jest agregat T-25N + eksperymentalny pług, z eksperymentalnych bron najbardziej efektywna na wszystkich polach była frontalna brona igłowa, z seryjnych agregatów najbardziej efektywny był agregat DT-75N + BZTS-1,0, agregat MTZ-82 + KZK-1,0 ugniatł glebę, a agregat DT-75N + RWK-3,6 wałował bez ugniatania.

Słowa kluczowe: agregat uprawowy, maszyna uprawowa, stan gleby

Adres do korespondencji

dr hab. inż. Zbigniew Kogut, prof. nadzw. ITP
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach
Mazowiecki Ośrodek Badawczy w Kłodzisku
05-825 Grodzisk Mazowiecki
tel. 22 755-60-41 wew. 111; e-mail: z.kogut@itp.edu.pl

