

Д. И. Комлач, В. В. Голдыбан, М. И. Курилович

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: labpotato@mail.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ АДГЕЗИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МИНЕРАЛЬНЫХ ПОЧВ

Аннотация. В статье предложены методика и оборудование для исследования адгезионных сил на границе соприкосновения рабочих поверхностей сельскохозяйственных машин с почвой. Принципиальной особенностью установки является возможность определения давления поровой воды в уплотненной почве.

Ключевые слова: почва, адгезия, матричный потенциал, давление поровой воды тензиометр, земледельческая механика, экспериментальный прибор.

D. I. Komlach, V. V. Goldyban, M. I. Kurylovich

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: labpotato@mail.ru*

RESEACH OF BIONIC PRINCIPLES IN SOLVING PROBLEMS OF TILLAGE MECHANICS

Abstract. The article proposes a methodology and equipment for the study of adhesive forces at the contact boundary of the working surfaces of agricultural machines with the soil. The principal feature of the installation is the ability to determine the pressure of pore water in the soil of the soil when it is loaded.

Keywords: soil, adhesion, matrix potential, pore water pressure tensiometer, experimental device, tillage mechanics.

Введение

При возделывании пропашных культур между грунтом и рабочими поверхностями почвообрабатывающих и посадочных машин возникают силы адгезионного взаимодействия. Возникающая почвенная адгезия увеличивает рабочее сопротивление и потребление энергии, способствует налипанию почвы на основные рабочие органы, снижая качество заделки посадочного материала и скорость его прорастания.

По современным представлениям почвенная адгезия обуславливается наличием пленок связанной воды, способных одновременно взаимодействовать с минеральными и органоминеральными частицами почвы и поверхностями соприкасающихся с ними рабочих органов. До достижения предела адгезии связанная вода удерживается со значительной силой вокруг почвенных частиц и поэтому не способна вступать во взаимодействие с другими телами. При влажности, превышающей пределы адгезии, почвенные частицы окружены такими оболочками связанной воды, у которых периферийная часть оказывается способной реагировать на воздействие посторонних тел.

Основная часть

Для перемещения жидкостей в качестве ключевого процесса для развития адгезионных напряжений должен присутствовать гидравлический градиент. Этот градиент в значительной степени определяется матричным потенциалом воды.

Адгезионные напряжения и матричный потенциал почвы следует рассматривать как основные адгезионные характеристики минеральных почв при контактном взаимодействии с рабочими поверхностями сельскохозяйственных орудий. Для их определения нами разработан прибор, внешний вид которой представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид прибора для определения адгезионных характеристик почвы: 1 – рама; 2 – чаша; 3 – шток с уплотняющим диском; 4 – тензодатчик; 5 – тензиометры; 6 – электродвигатель привода чаши; 7 – многоканальный регистратор данных; 8 – индикатор перемещений часового типа; 9 – блок питания; 10 – эксикатор; 11 – молоток Проктера; 12 – почвенный бур

Адгезионные напряжения характеризуются отношением усилия отрыва металлической поверхности к площади ее контакта с почвой и имеют размерность Н/м^2 , что численно равно 1 Па.

Матричный потенциал воды определяется через давление поровой воды, которое измеряется также в Паскалях. Давление поровой воды величина отрицательная, поскольку необходима работа положительного знака по его преодолению.

Прибор для определения адгезионных характеристик представляет собой раму, на которой закреплены основные его элементы: чаша с исследуемой почвой, прижимной диск с направляющей, механическое приводное устройство для перемещения чаши в вертикальном направлении, тензодатчик CAS 50L, блок питания и тензиометрический комплекс.

Основные элементы чаши для испытаний на адгезию выполнены из пластика с помощью аддитивных технологий. Чаша состоит из цилиндрической обоймы диаметром 9,0 см и высотой 4,9 см, закрепленной между верхним и нижним фиксирующими кольцами.

Нижнее фиксирующее кольцо закреплено в опорной плите. Вертикальное перемещение опорной плиты осуществляется винтовым механизмом посредством электродвигателя и тихоходного редуктора.

Для измерения порового давления воды в чаше выполнены три отверстия, в которых закреплены три направляющие втулки. Через сквозные отверстия диаметром 6 мм во втулках в чашу помещают для определения матричного потенциала на различной глубине минитензиометры (см. рис. 1, 2):

- тензиометр 1 – верхнее отверстие, 1,6 см под поверхностью образца;
- тензиометр 2 – среднее отверстие, 2,4 см под поверхностью образца;
- тензиометр 3 – нижнее отверстие, 3,2 см под поверхностью образца.

Диаметр измерительной трубки тензиометра составляет 5 мм, длина – 20 см. Точность измерения достигает $\pm 0,5 \text{ кН/м}^2$.

Один конец тензиометра (см. рис. 2) состоит из керамической пористой мембраны, которая соединена через наполненный водой трубку с датчиком давления (манометром). Эта мембрана является водопроницаемой, но не воздухопроницаемой.



Рис. 2. Минитензиометр Т 5 METER Group (Германия)

В гигроскопичной среде, например, в ненасыщенной глине, между окружающей средой и водой внутри тензиометра существует разница в давлении в мембране. Это вызывает напряжение всасывания в воде внутри тензиометра, которое измеряется как отрицательное давление воды.

Тензиометры подключаются к многоканальному регистратору данных DL6 компании Delta-T Devices Ltd (Кембридж, Англия). Съем данных и их визуализации осуществляются с помощью компьютера и приложения DeltaLINK.

На рис. 3 приведен пример изменения порового давления воды в нагруженном образце почвы влажностью 17 %. Как видно из графика, при внешней нагрузке 5,5 кПа в почве происходит увеличение давление поровой воды для верхнего и нижнего тензиометров на 79 кПа: с 6,4 до 85,4 кПа и с 10,9 кПа до 89,5 кПа соответственно.

После снятия нагрузки матричный потенциал воды увеличивается до своего первоначального состояния, когда нагрузка отсутствовала (становится меньше абсолютное значение отрицательного давления воды).

Изменение матричного потенциала воды на величину 79 кПа характеризует энергетическое состояние воды в почве в момент ее сжатия, а также суммарное действие на воду адсорбционных, капиллярных, осмотических и гравитационных силовых полей.

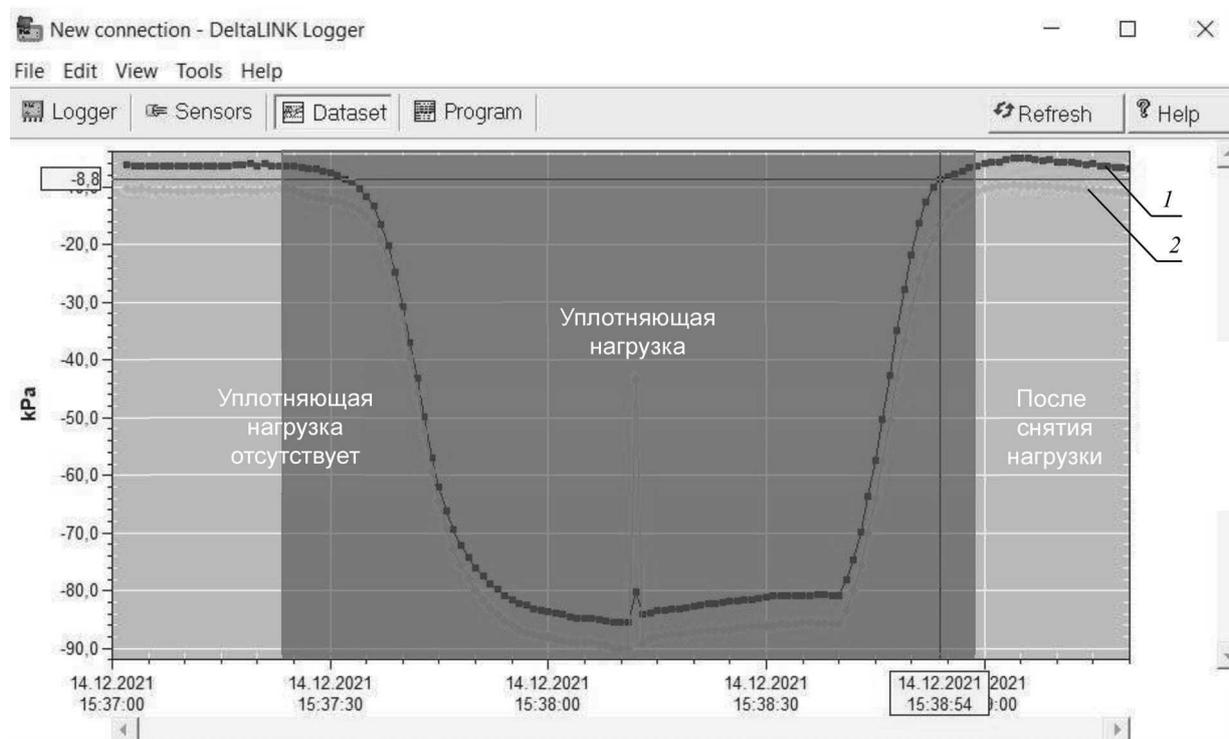


Рис. 3. Изменения матричного потенциала воды.
Показания тензиометра: 1 – верхнего ($h = 1,6$ см); 2 – нижнего ($h = 3,2$ см)

Методика проведения исследований на предлагаемом приборе следующая. Почва перед испытанием должна быть смочена водой, перемешана и выдержана в эксикаторе в течение суток. Для изменения влажности почвы в предварительно высушенную почву добавляется дистиллированная вода.

Влажность почвы в каждом опыте определяется весовым методом согласно ГОСТ 28268-89 «Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопичной влажности и влажности устойчивого завядания растений» с точностью до двух знаков после запятой.

Образец почвы помещается в чашу и уплотняется с помощью молотка Проктера (см. рис. 1: *11*) посредством веса груза массой 500 г, поднятого на высоту 40 см и совершающего свободное падение с повторностью 10 раз.

После уплотнения лишняя часть грунта срезается за под лицо с чашей и удаляется, а оставшаяся в чаше часть грунта разравнивается стальным шпателем.

Для имитации поверхности материала, контактирующей с образцами почвы, используется металлический прижимной диск диаметром 8,4 см.

Далее чаша устанавливается в нижнюю обойму. К диску прикладывается прижимная нагрузка 5–25 кг (для диска диаметром 8,4 см нагрузка составляет 9–45 кПа), что соответствует удельному давлению тяжелосуглинистых почв на рабочие поверхности почвообрабатывающих орудий.

Скорость приложения сжимающей и растягивающего усилия составляет 4 мм/мин и может меняться в ту или иную сторону с помощью блока питания (см. рис. 1). Каждый опыт должен проводиться с трехкратной повторностью.

Ниже приведем результаты исследований (см. таблицу) адгезионных характеристик по предлагаемой методике для суглинистых почв Молодечненского района Минской области (д. Дуброво).

Удельные значения напряжения адгезии, кПа

Влажность почвы, %	Уплотняющая нагрузка, кПа				
	9	18	27	36	45
14,39	2,3	2,4	2,5	2,7	3
16,70	2,9	3	3,1	3,8	4,1
19,87	3,0	3,2	2,9	4,3	4,8
20,62	3,1	3,4	0	0	0
21,22	2,9	0	0	0	0
22,31	0	0	0	0	0

Как видно из таблицы, с увеличением влажности исследуемого грунта от 14 до 20 % для всего диапазона прижимающих нагрузок напряжение адгезии почвы с металлической поверхностью изменяется от 2,3 до 4,8 кПа, т. е. сцепляемость грунта с металлической поверхностью увеличивается. При влажности почвы ниже 14 % и свыше 22 % адгезии почвы к металлическим поверхностям не наблюдается.

Заключение

Предложенные в статье методика и оборудование позволяют определить основные адгезионные характеристики минеральных почв при взаимодействии с металлическими поверхностями и объяснить отдельные явления, происходящие в почве при ее деформировании в процессе обработки.