

**ЭКОЛОГИЯ ПАХОТНОГО СЛОЯ ПОЧВЫ ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ СОЛОМЫ В
ПЕРИОД УБОРКИ УРОЖАЯ КОЛОСОВЫХ КУЛЬТУР**

**ECOLOGY OF ARABLE SOIL LAYER DURING THE GRINDING OF STRAW IN THE
PERIOD OF HARVESTING GRAINS OF CULTURES**

Ю.В. Панков, к. хим. н., доцент, **Л.А. Новопашин**, к. техн. н., доцент,

П.Н. Шорохов, ст. преподаватель, **П.В. Кузнецов**, ст. преподаватель,

А.А. Садов, аспирант кафедры ТТМ

Уральского государственного аграрного университета

(620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42)

Рецензент: С.Е. Щеклеин, профессор, доктор техн. наук УрФУ

Аннотация

Пахотный слой почвы для воспроизводства продукции растениеводства по агротехническим требованиям создается выбранной технологией [1, 2]. Агроном решает вопросы по механизации агроприемов и операций на всех стадиях получения и сохранения почвенного слоя. Пользуясь принципом минимальной обработки почвенного слоя, выстраивается возможность и целесообразность совмещения технологических операций машинными агрегатами. Минимальная обработка почвы – это совокупность приемов, обеспечивающих минимальную деформации почвы с сохранением порозности под действием ходовых систем и рабочих органов сельскохозяйственных машин [3, 4]. Эта обработка почвы характеризуется сокращением количества и глубины обработки, заменой нескольких технологических операций на одну. Интенсивность приемов технологий должна обеспечивать максимальное проявление полезных свойств или сохранения физико-химических свойств почв в полевых условиях. Индустриализация технологий предполагает совокупность механизированных работ, когда обеспечивается максимальный урожай сельскохозяйственных культур высокого качества в конкретных почвенно-климатических условиях. В работе рассматривается моделирование почвенного слоя с применением подхода физико-химической механики. Выделяются три типа состояния системы дисперсионных минеральных частиц и дисперсионной среды. Первый тип определяется твердой фазой – газ (воздух), почва становится твердой и жесткой. Второй тип определяется твердой фазой и жидкостью (вода), почва становится жидкой и влажной. Третий тип определяется твердой фазой – жидкость – газ – органическая композиция, почва становится «живой». В зависимости от соотношения твердой фазы и дисперсионной среды, которая за-

полняет свободные объемы (порозности - пустотности) почвенного слоя получают свойства «живого» пахотного слоя. Главными факторами качества почвенного слоя это способность оказывать сопротивление воздействующим на нее силам. Присутствие в почве достаточного количества влаги и высокомолекулярного органического материала формирует экологические и биологические и реологические свойства почвенного слоя [5, 6].

Ключевые слова: экология, машина, агрегат, почва, механика, комбайн, колос, солома, измельчение, порозность, реология, модель почвы, релаксация.

Abstract

Arable layer of soil for reproduction of crop production according to agrotechnical requirements is created by the chosen technology [1, 2]. The agronomist solves questions on the mechanization of agro-practices and operations at all stages of obtaining and preserving the soil layer. Using the principle of minimal processing of the soil layer, the possibility and expediency of combining technological operations with machine units is built. Minimal soil cultivation is a set of techniques that ensure minimal deformation of the soil while maintaining porosity under the action of running systems and working bodies of agricultural machines [3, 4]. This soil treatment is characterized by a reduction in the number and depth of processing, replacing several technological operations by one. The intensity of techniques should ensure the maximum manifestation of useful properties or preservation of physical and chemical properties of soils in the field. Industrialization of technologies involves a set of mechanized works, when the maximum yield of high quality crops in a specific soil and climatic conditions is ensured. The paper considers the modeling of the soil layer using the approach of physical and chemical mechanics. Three types of state of a system of dispersive mineral particles and a dispersion medium are distinguished. The first type is determined by the solid phase - gas (air), the soil becomes hard and rigid. The second type is determined by the solid phase and liquid (water), the soil becomes liquid and moist. The third type is determined by the solid phase - liquid - gas - organic composition, the soil becomes "alive". Depending on the ratio of the solid phase and the dispersion medium, which fills free volumes (porosity - voidness) of the soil layer, the properties of the "living" plow layer are obtained. The main factors of the quality of the soil layer is the ability to exert resistance to the forces acting on it. The presence in the soil of a sufficient amount of moisture and high-molecular organic material forms the ecological and biological and rheological properties of the soil layer [5, 6].

Keywords: ecology, machine, aggregate, soil, mechanics, com-buy, spike, straw, grinding, porosity, rheology, model soils, relaxation.

Концепция экологической безопасности представляет собой систему взглядов, целей и задач, принципов и приоритетов, а так же действий направленных на создание безопасных и благоприятных условий среды обитания нынешнего и будущих поколений населения [1]. Экологическая безопасность входит в систему государственной безопасности, паритетным элементом которой является так же продовольственная безопасность. Система экологической безопасности должна иметь многоуровневый характер: свойства почвенного пахотного слоя и свойства источника воздействия на окружающую среду с применением технологий учитывающих принцип минимального воздействия на почвенный слой земли, что соответствует реализации рационального использования ресурсов сельского хозяйства с целью обеспечения продовольственной и экологической безопасности.

Важнейшим свойством почвенного слоя является твердость - это способность почвы сопротивляться внешним воздействиям технологических машин и орудий машинно-тракторного парка [2]. Экологические показатели агрегатов на почву характеризуют воздействие машин на окружающую среду. Например, удельное давление на почву. Силы воздействия на почву при проведении сельскохозяйственных работ, характеризуются секундной продолжительностью и малой площадью воздействия, а также небольшой, в пределах 10 бар, величиной давления. Однако свойства почвенного слоя могут быть самыми разнообразными при их рассмотрении в диапазоне от мокрой мягкой глины до твердой, как камень, сухой почвы. В сельском хозяйстве повсеместно практикуется вспашка, боронование и другие приемы обработки почвы, создающие рыхлый насыпной пахотный слой, под воздействием внешних сил. Такой слой, непродолжительное время, имеет зернисто-комковатую структуру готовой почвы и объемной порозностью (рис.1).

Создание экологически «живой» почвы воспроизводятся технологическими принципами и способами рациональной обработки почвы и подпочвы, которые решаются земледельческой механикой. Цель индустриальной технологии устранить вредное уплотнение почв сельскохозяйственной техникой, а также разработать экономичные и энергосберегающие технологии возделывания сельскохозяйственных культур на основе изучения механических процессов, происходящих в почве при ее обработке и движении соответствующей техники.

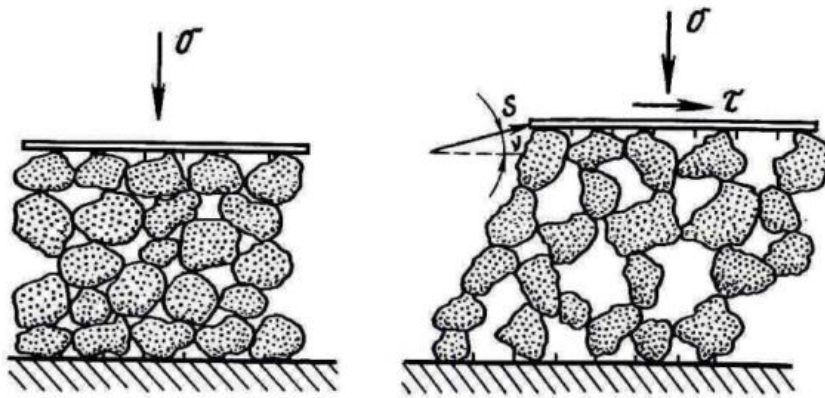


Рис. 1. Порозность рыхлой (неуплотненной) почвы в двух различных состояниях при внешнем воздействии нормального давления.

Порозность – это отношение свободного объема дисперсионной среды к полному объему системы. Полный объем – это сумма объема твердой фазы и свободного объема дисперсионной среды [7, 8].

Чем больше порозность, тем больше свободного объема заполненного дисперсионной средой воздуха и жидкости живого почвенного слоя.

Увеличение массы сельскохозяйственной техники произошло в значительной мере под влиянием возрастания ее мощности. Анализ технологий возделывания сельскохозяйственных культур показывает, что число проходов агрегатов больше десяти. Наибольшее число проходов различных машин наблюдается при возделывании пропашных культур достигающих до 20 в условиях орошения. Отношение площади поля к суммарной площади следов машин при этом достигает 1:1,5 ... 1: 2,5.

Твердость и вязкость почвы меняется со временем под влиянием климатических условий, обработки почвы машинами и роста растений. Твердость конкретной почвы и ее изменения с течением времени определяются параметрами физико-химической механики состояния почвенной системы. При наличии влаги реальная почва в полевых условиях ведет себя как реологическая система [3], твердая фаза – жидкость – газ, (рис 2). Рео – это поток (эффективная подвижность системы) обладающий тиксотропными свойствами.

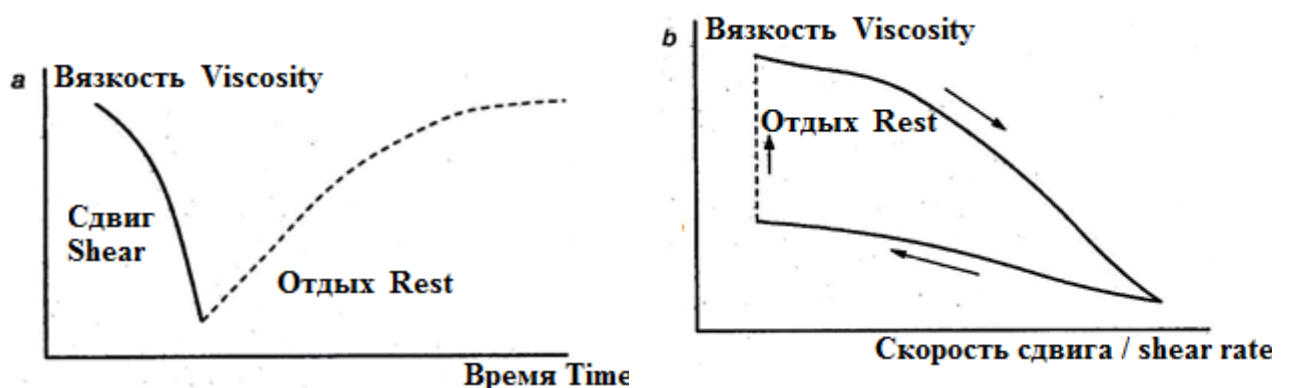


Рис. 2. Характерные тиксотропные эффекты: а) уменьшение вязкости во времени при постоянной деформации и рост вязкости при отдыхе материала; б) уменьшение вязкости при возрастании скорости сдвига и запаздывающее восстановление первоначальных значений вязкости при снижении скорости сдвига.

Система пахотного слоя почвы рассматриваются и классифицируются тремя состояниями. Состояния почвы в различных условиях рассматриваются телами реологического типа: твердое тело - газ, почва становится твердой и жесткой (1 тип); твердое тело - жидкость, почва становится жидкой или влажной (2 тип); твердое – жидкость – газ, почва становится живой и рыхлой.

Особое внимание уделяется определению физико-химических и физико-механических свойств почв исходя из агротехнических требований проведения технологических приемов обработки пахотного слоя и подслоя [9, 10].

Первичное уплотнение почвы после вспашки (максимальной порозности) происходит в результате прохода сельскохозяйственной техники и почвообрабатывающих орудий. Благодаря первичному уплотнению увеличивается количество почвенных частиц в единице объема, газ выдавливается. Порозность уменьшается. Степень уплотнения рыхлой почвы зависит от содержания влаги. Более сухая почва уплотняется в меньшей степени из-за твердости поверхности верхних и нижних слоев. При наличии влаги вода заполняет объемы пустоты между твердой фазой почвы и снижает связи минеральных частиц. Влажная почва уплотняется в меньшей степени из-за возможности течь в стороны от действия колес и несжимаемости воды. При влажном состоянии распределение почвенных частиц становится более равномерным.

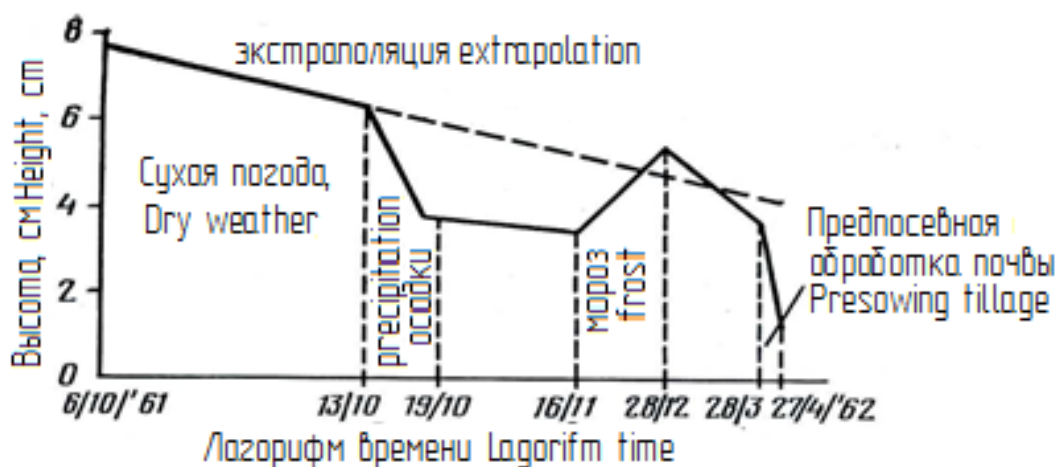


Рис. 3 Уплотнение средней высоты поверхностного слоя глинистой почвы в зависимости от логарифма времени после вспашки

Если объемное содержание влаги увеличивается, кратковременное воздействие внешних сил на почву не создает больших перемещений воды. Но нарушаются и возникают связи минеральной композиции почвы. Происходит перераспределение влаги пахотного слоя. Перестройка связей более вероятна при повышенной влажности почвы и распределение связей становится более равномерным. Наилучшим состоянием «живого» пахотного слоя становятся релаксирующие свойства почвы. Объемы пустот порозности заполняются органическим высокомолекулярным материалом. Органические материалы сохраняют воду механическую, физическую и молекулярно-химическую. Почва восстанавливает свое состояние разрыхления [11, 12].

Объемная масса почвы пахотного слоя изменяется в течение года (рис.3). Обычно при вспашке происходит значительное взрыхление почвы, затем сразу же начинается оседание, уплотнение. Очевидно, результатом этого является довольно постоянная низкая порозность почвы в течение вегетационного периода. В течение вегетационного периода очень существенное влияние на твердость почвы оказывают изменения содержания влаги из-за смены погодных условий и действия корней растений (всасывания влаги из почвы и ее механического связывания и уплотнения) – тиксотропия сосущей силы.

Для создания «живой» среды разрыхленного почвенного слоя технологическими приемами создается система почвы сложной структуры: твердая фаза (минеральная субстанция) – жидкость (вода) – газ (воздух) и органическая композиция. Удержание воздуха в свободном объеме дисперсных частиц и минеральных агрегатов почвы осуществляется присутствием органического высокомолекулярного материала насыщенного воздухом исключенного объема. При наличии воздуха почва приобретает релаксационные свойства, т.е. после прохождения с/х техники восстанавливает свой объем.

При проведении полевых работ подпахотный слой испытывает нагрузки. В современном высокомеханизированном земледелии уплотнение подпахотного слоя увеличивается, порозность уменьшается. Для снижения отрицательного воздействия ходовых систем машинно-тракторных агрегатов на почву и подпочву необходимо внедрять новые технологии, соответствующие широкозахватные агрегаты и совершенствовать ходовую часть машины. На рыхлых влажных почвах для повышения проходимости колесных тракторов и уменьшения давления на грунт применяют полугусеничный ход. Применение гусеничной ленты с резиновыми соединительными элементами увеличивает опорную поверхность трактора на 43%, что снижает давление на грунт в 1,4 раза. Глубина колеи после прохода трактора, оснащенного гусеничной лентой, составляет 1 см, тогда как обычные шины оставляют колею глубиной до 22 см.

Уборка урожая зерновых культур сопровождается наличием технологических отходов соломы и полова. В режиме формирования валка, солома и полова бережно укладывается на стерне для последующего подбора и тюкования (рис. 4).

Комбайн «Дон-1500» вместо копнителя может комплектоваться универсальным измельчителем, который предназначен для измельчения всей незерновой части урожая. Уборки соломы и полова при помощи измельчителя ПУН-5 осуществляются в различных вариантах: а- сбор измельченной соломы и полова в сменные тележки; б- полова в тележку, солома в валок; в- полова в тележку, солома разбрасывается по полю; г- измельченная или неизмельченная солома с половой укладывается в валок; д- разброс соломы с половой по полю.

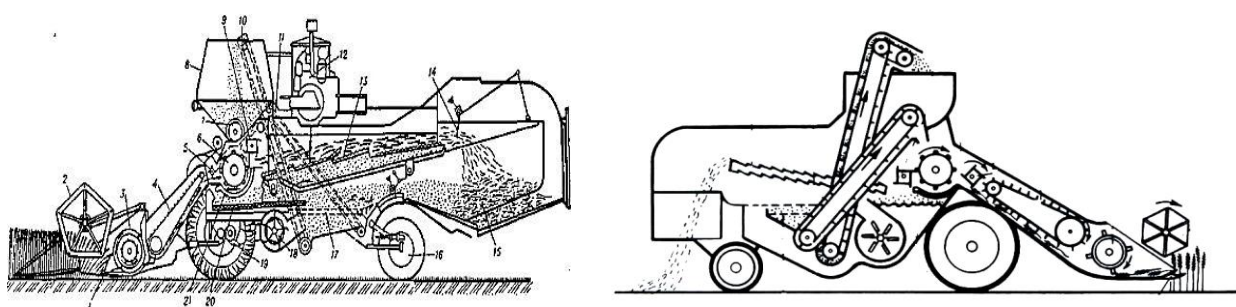


Рис. 4. Уборка зерновых комбайном с копнителем и свободным сходом соломы на поверхность поля.

В комбайнах с барабанно-дековыми МСУ солома, сходящая с клавиш соломотряса, для укладки в валок подается по скатным поверхностям «против хода движения» или по «ходу движения» массы. При использовании технологии укладки валка «по ходу движения», солоmistая масса не перекрывает зону выхода воздуха из очистки, не скапливается в случае остановки комбайна. В большинстве случаев современные зерноуборочные комбайны оснащаются регулируемыми скатными поверхностями, обеспечивающими свободный сход неизмельченной соломы. Кроме того, для формирования геометрии и объема валка используются грабельные направляющие активного или пассивного типа [4,5].

При технологии формирования валка соломы и полова на поверхности поля возникает необходимость его уборки. С применением специальной технологической операции подбора валков в тюки происходит с дополнительным уплотнением слоев почвы и подпочвы от колес тяжелых машин. Если солому и полову оставлять на поверхности почвы и ждать естественного разрушения произойдет экологическое засорение поверхности поля. Вспашка почвенного слоя с участием соломы приводит к созданию крупных агрегатов земли с эффектом армирования почвы соломой и снижением порозности.

Возникает технологическая проблема почвы и соломы – длинные стебли соломы не соизмеримые с размерами частиц земли должны занять свободный объем в пахотном слое почвы.

Исходя из агротехнических требований, выбранной технологии, руководствуются принципом минимального воздействия на почву. Минимальная обработка почвы – это совокупность приемов, обеспечивающих минимальную деформацию почвы под воздействием ходовых систем и рабочих органов сельскохозяйственных машин и тракторов. С целью минимизации обработки почвы часто совмещают и создают новые технологические операции. К таким технологическим совмещениям уборки зерновым комбайном можно отнести измельчение соломы без применения машин системы машин для последующего процесса уборки соломы и очистки поверхности поля.

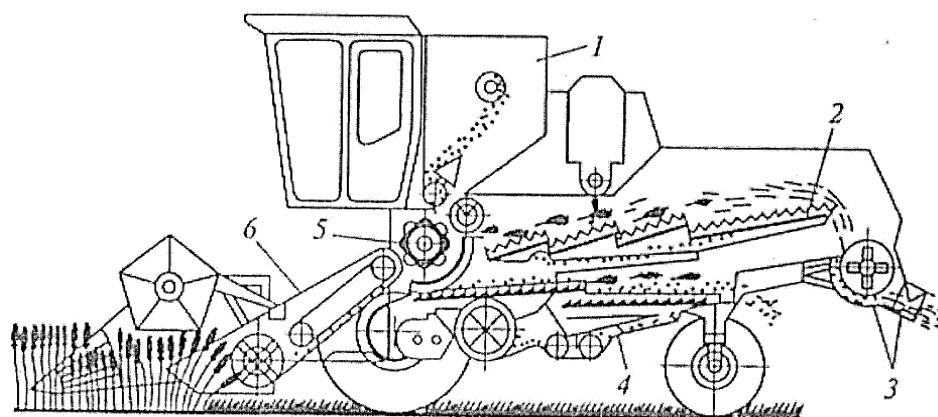


Рис. 5. Схема работы самоходного зерноуборочного комбайна с операцией измельчения и разбрасывания соломы: 1- зерновой бункер; 2 – соломотряс; 3 – соломовыводящее устройство; 4 – механизм очистки; 5 – молотильный аппарат; 6 – жатка.

Сходящая с соломотряса солома по щитку направляется к измельчающему барабану, что определяет монотонность процесса (рис. 5). Частичное измельчение соломы происходит при контакте ее с рабочими органами, не доходя до противорежущего бруса. Окончательно солома измельчается при поочередном взаимодействии рабочих органов с противорежущими элементами до размеров 25,4 мм ... 67,5 мм. Измельчитель – разбрасыватель комбайна позволяет укладывать солому и полосу в валок шириной 90...110 см или разбрасывать солому и полосу на ширину до 4.0 м. Измельченная масса выносятся наружу и рассеивается на поле. Размеры частиц соломы соизмеримы с размерами минеральных частиц почвы. Вспашка почвенного слоя с измельченной соломой на поверхности земли создает структуру с порозностью. Свободный объем системы заполнен дисперсными частицами высокомолекулярного органического материала с исключенным объемом для воздуха и распределенной влагой определяющие набухание почвы. Почвы с

более высоким содержанием органического вещества во влажном состоянии обладают большой сопротивляемостью уплотнению с сохранением разрыхления. По мере возрастания влажности при первичном уплотнении сопротивляемость почвы дальнейшему уплотнению снижается и разрыхление почвенного слоя сохраняется (рис. 6).

Так как взаимосвязи между напряжениями и деформациями в почве обычно довольно сложны (рис.6а), для их описания часто применяются упрощенные аналоговые модели [6] реологического тела (рис.6б). На рис.6б: а) совершенно упругая пружина как модель упругости почвы – тело Гука; б) поршень с отверстиями, перемещающийся в цилиндре как модель вязкости почвы, модель среды – тело Ньютона; в) груз на жесткой поверхности в движении, как модель пластичности – Тело Сен-Венана. Для демонстрации более сложных зависимостей напряжение - деформация элементы упругости, вязкости и пластичности могут комбинироваться, как на рис 6б: г) вязко-пластичные свойства, так называемое тело Бингама. Тело Бингама не подвергается деформации, пока напряжение не достигнет пороговой величины и начнется вязкое движение поршня.

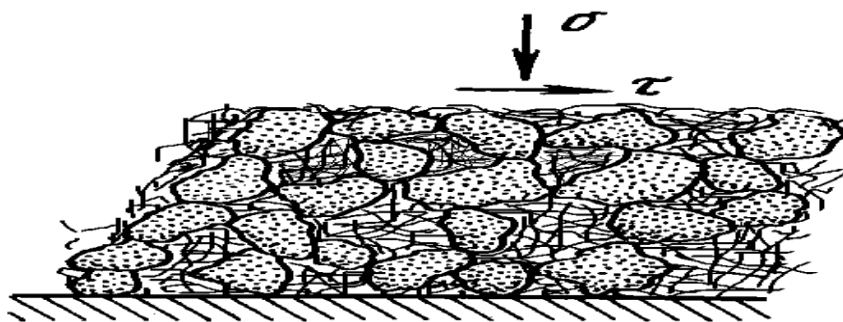


Рис. 6. Схема «живого» почвенного слоя содержащего минеральную и органическую композицию диспергированного материала.

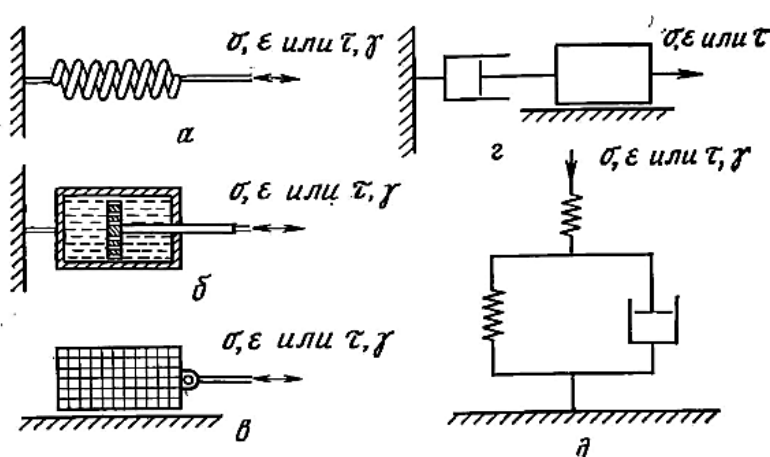


Рис. 7. Схема «живого» почвенного слоя содержащего аналоговые механические модели напряжение – деформация.

На рис 6 б и д показана модель Ситкея – параллельно последовательных соединений механических элементов системы почвенного слоя. В сложной модели «д» использованы модель тела Кельвина-Фойхта и модель вязко-упругой жидкости Максвелла. Сложная вязко - упругая модель почвы используется для объяснения зависимости глубины колеи колеса от скорости движения машины.

В сухом состоянии большей сопротивляемостью уплотнению характеризуются почвы бедные органическим веществом. Уплотнение почвы из-за высыхания (УСАДКА) увеличивается с ростом содержания влаги при первичном уплотнении.

Разрыхление и измельченный органический материал сопровождающий изменение структуры пахотного слоя почвы с накоплением влаги и воздухом обладают большой сопротивляемостью уплотнению с сохранением разрыхления.

Библиографический список

1. Дьяков В.П. О результатах исследований деформирования почвы рабочими органами машин и орудиями технологических комплексов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. №8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-rezultatah-issledovaniy-deformirovaniya-pochvy-rabochimi-organami-mashin-i-orudiyami-tehnologicheskikh-kompleksov> (дата обращения: 13.04.2018). КиберЛенинка: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-rezultatah-issledovaniy-deformirovaniya-pochvy-rabochimi-organami-mashin-i-orudiyami-tehnologicheskikh-kompleksov>
2. Нестяк В.С., Мамбеталин К.Т. Механико-технологические аспекты энергетики обработки почвы // Вестник АГАУ. 2011. №11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mehaniko-tehnologicheskie-aspekty-energetiki-obrabotki-pochvy> (дата обращения: 13.04.2018). КиберЛенинка: <https://cyberleninka.ru/article/n/mehaniko-tehnologicheskie-aspekty-energetiki-obrabotki-pochvy>
3. Левшин А.Г., Ерохин М. Н. Научно-методические основы формирования нормированной шкалы твердости почвы // Вестник ФГОУ ВО МГАУ. 2017. №6 (82). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nauchno-metodicheskie-osnovy-formirovaniya-normirovannoy-shkaly-tverdosti-pochvy> (дата обращения: 13.04.2018). КиберЛенинка: <https://cyberleninka.ru/article/n/nauchno-metodicheskie-osnovy-formirovaniya-normirovannoy-shkaly-tverdosti-pochvy>
4. Ерохин М.Н., Дорохов А.С. Становление и развитие агроинженерной науки и образования в РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева // Вестник ФГОУ ВО МГАУ. 2015. №2 (66). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/stanovlenie-i-razvitie-agroinzhenernoy-nauki-i-obrazovaniya-v-rgaу-mcxa-imeni-k.-a.-timiryazeva>

- obrazovaniya-v-rgau-msha-imeni-k-a-timiryazeva (дата обращения: 13.04.2018). КиберЛенинка: <https://cyberleninka.ru/article/n/stanovlenie-i-razvitie-agroinzhenernoy-nauki-i-obrazovaniya-v-rgau-msha-imeni-k-a-timiryazeva>
5. Бабицкий Л.Ф., Москалевич В.Ю., Соболевский И.В. Развитие бионического направления в земледельческой механике // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. №4 (59). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-bionicheskogo-napravleniya-v-zemledelcheskoy-mehanike> (дата обращения: 13.04.2018). КиберЛенинка: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-bionicheskogo-napravleniya-v-zemledelcheskoy-mehanike>
 6. Жалнин Э.В. О фундаментальности земледельческой механики // Вестник ФГОУ ВО МГАУ. 2017. №6 (82). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-fundamentalnosti-zemledelcheskoy-mehaniki> (дата обращения: 13.04.2018). КиберЛенинка: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-fundamentalnosti-zemledelcheskoy-mehaniki>
 7. Башлакова О.И. Проблемы экологической безопасности России // Вестник МГИМО. 2015. №3 (42). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-ekologicheskoy-bezopasnosti-rossii> (дата обращения: 13.04.2018)..ru/article/n/problemy-ekologicheskoy-bezopasnosti-rossii (дата обращения: 13.04.2018).
 8. Пегова Н.А. Изменение агрегатного состава и водопрочности пахотного слоя под влиянием систем обработки почвы и вида пара // Известия ОГАУ. 2016. №6 (62). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-agregatnogo-sostava-i-vodoprochnosti-pahotnogo-sloya-pod-vliyaniem-sistem-obrabotki-pochvy-i-vida-para> (дата обращения: 13.04.2018). КиберЛенинка: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-agregatnogo-sostava-i-vodoprochnosti-pahotnogo-sloya-pod-vliyaniem-sistem-obrabotki-pochvy-i-vida-para>
 9. Ананьев И.П. Мобильный комплекс для контактного измерения параметров физического состояния пахотного слоя почвы // Земледелие. 2012. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mobilnyy-kompleks-dlya-kontaktnogo-izmereniya-parametrov-fizicheskogo-sostoyaniya-pahotnogo-sloya-pochvy> (дата обращения: 13.04.2018). КиберЛенинка: <https://cyberleninka.ru/article/n/mobilnyy-kompleks-dlya-kontaktnogo-izmereniya-parametrov-fizicheskogo-sostoyaniya-pahotnogo-sloya-pochvy>
 10. Галаган Т.И. Эколого-экономическая оценка пахотного слоя рекультивированных земель // Лесотехнический журнал. 2014. №3 (15). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologo-ekonomicheskaya-otsenka-pahotnogo-sloya-rekultivirovannyh-zemel> (дата обращения: 13.04.2018). КиберЛенинка: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologo-ekonomicheskaya-otsenka-pahotnogo-sloya-rekultivirovannyh-zemel>

11. Ерёмин Д.И. Агрогенное изменение гранулометрического состава при распашке чернозема выщелоченного в лесостепной зоне Зауралья // Вестник КрасГАУ. 2014. №8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/agrogennoe-izmenenie-granulometriceskogo-sostava-pri-raspashke-chnozema-vyschelochennogo-v-lesostepnoy-zone-zauralya> (дата обращения: 13.04.2018). КиберЛенинка: <https://cyberleninka.ru/article/n/agrogennoe-izmenenie-granulometriceskogo-sostava-pri-raspashke-chnozema-vyschelochennogo-v-lesostepnoy-zone-zauralya>
12. Родимцев С.А., Ягельский М.Ю. Оценка качества работы измельчителей зерноуборочных комбайнов // Вестник аграрной науки Дона. 2013. №1 (21). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-kachestva-raboty-izmelchiteley-zernouborochnyh-kombaynov> (дата обращения: 13.04.2018). КиберЛенинка: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-kachestva-raboty-izmelchiteley-zernouborochnyh-kombaynov>