

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ

IMPLEMENTATION OF NATURE-LIKE TECHNOLOGIES IN THE DEVELOPMENT OF NEW WORKING BODIES FOR TILLAGE IN ARID CONDITIONS

Г.Г. ПАРХОМЕНКО, к.т.н.

Северо-Кавказский научно-исследовательский институт
механизации и электрификации сельского хозяйства
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,
г. Зерноград, Россия, parkhomenko.galya@yandex.ru

G.G. PARHOMENKO, PhD in Engineering

North Caucasus Scientific Research Institute of Mechanization
and Electrification of Agriculture, Agrarian Scientific Center
«Donskoy», Zernograd, Russia, parkhomenko.galya@yandex.ru

В соответствии с природоподобными технологиями, в засушливых условиях необходимо накопление влаги внутри пласта почвы. При существенной разнице температуры почвы соседних слоев и уменьшении толщины обрабатываемого пласта локально накапливается влага доступная для корневой системы растений, без диссипации по всему пахотному горизонту. Цель исследований заключается в совершенствовании конструкций рабочих органов для обработки почвы с учетом зонально-природных условий их применения. Существенного различия теплофизических характеристик можно достичь при разной структуре соседних слоев почвы. Толщина обрабатываемого пласта уменьшается за счет дифференцирования слоев при послойной безотвальной обработке почвы и уменьшения глубины рыхления каждым элементом рабочего органа. Отыскание оптимальной формы и параметров рыхлителя, долота и стойки типа paraplow рабочего органа позволит обеспечить необходимую структуру пласта для управления процессом накопления влаги в почве при условии качественного выполнения агротехнических показателей при минимуме затрат. Для уменьшения сопротивления крошению пласта целесообразно представить рыхлитель в форме кривой, обладающей свойством минимума – эллипса. Решением задачи трансформации стойки типа paraplow из ломаной линии в криволинейную является дифференциальное уравнение брахистохроны первого порядка. Параметры долота для осуществления технологического процесса с наименьшими затратами энергии выбираются за счет рационального соотношения площади поперечного сечения обрабатываемого пласта. Необходимо затрачивать оптимальное количество энергии при сжатии пласта почвы на долоте, создавая необходимое и достаточное напряжение (не более 3 кПа) для обеспечения качественного крошения пласта без сгруживания перед рабочим органом. Целесообразно применить принцип золотого сечения, разделив глубину рыхления на гармоническую пропорцию 62 % и 38 %. Глубина хода рыхлителя составит при этом 13–15 см при глубине рыхления 34–39 см.

Ключевые слова: рабочий орган, послойное рыхление, природоподобные технологии, почва.

In accordance with nature-friendly technologies, in arid conditions, the accumulation of moisture in-side the soil layer is necessary. With a significant difference in the soil temperature of neighboring layers and a decrease in the thickness of the treated layer, moisture is available locally for the plant root system, without dissipation over the entire arable horizon. Purpose: improving the design of the working bodies for tillage, taking into account the zonal-natural conditions of their application. A significant difference in thermophysical characteristics can be achieved with a different structure of neighboring soil layers. The thickness of the treated layer decreases due to the differentiation of the layers during layer-by-layer subsurface tillage and a decrease in the depth of cultivation by each element of the working body. Finding the optimal shape and parameters of the cultivator, chisel and rack of paraplow type of the working body will provide the necessary formation structure to control the process of moisture accumulation in the soil, provided that the agrotechnical indicators are of high quality at a minimum cost. To reduce the resistance to crumbling of the reservoir, it is advisable to present the cultivator in the form of a curve with the property of minimum, the ellipse. The solution to the problem of transforming a paraplow-type strut from a broken line into a curved line is the differential brachistochrone equation of the first order. The parameters of the chisel for the implementation of the technological process with the least energy consumption are selected due to the rational ratio of the cross-sectional area of the treated formation. It is necessary to spend the optimal amount of energy when compressing the soil formation on the bit, creating the necessary and sufficient stress (not more than 3 kPa) to ensure high-quality crumbling of the formation without unloading in front of the working body. It is advisable to apply the principle of the golden ratio, dividing the depth of cultivation into a harmonic proportion of 62 % and 38 %. The depth of the cultivator will be 13–15 cm while the depth of cultivation is 34–39 cm.

Keywords: working body, layer-by-layer cultivation, nature-like technologies, soil.

Введение

Современная парадигма природопользования (Sustainable Agriculture) предусматривает удовлетворение жизненных потребностей человека без вреда для будущих поколений.

Нерациональные способы обработки почвы приводят к ее деградации и потере плодородия. Первое условие плодородия – рыхлость почвы. Без рыхления возникает псевдослитизация пахотного слоя, приводящая к дегумификации и гидролизной деградации почвы. Постоянная обработка отвальным плугом и дисками борон приводит к иссушительной деградации почвы в засушливых условиях.

Цель исследований

Совершенствование конструкций рабочих органов для обработки почвы с учетом зонально-природных условий их применения.

Материалы и методы

В настоящее время актуальным является использование в научных исследованиях природоподобных технологий. Методология природоподобных технологий основана на приближении к природоподобным аттракторам на основе ценологического подхода, подобно биоценозам в природе [1].

Например, в засушливых условиях коренные зонально-природные аттрактивные экогеоландшафты адаптированы к минимуму влаги, на ее накопление и рациональное использование. То же самое необходимо осуществлять в агроэколандшафтах. В засушливых условиях необходимо накопление влаги внутри пласта почвы, подобно тому, как это осуществляется в природе.

Проявлением структурной гармонии и порядка в природе является так называемое золотое сечение, использование принципа которого в широком смысле позволит осуществлять природоподобное управление в техносфере. Так, при разработке конструкции рабочих органов необходимо не только основываться на физике процесса взаимодействия с обрабатываемой средой, но и использовать существующие в природе аналогии формы и оптимальные пропорции (сечения).

Например, при обосновании параметров рабочего органа необходимо использовать угол естественного сдвига пласта почвы, а форму выбирать на основании конфигурации есте-

ственных линий скольжения почвы и траекторий ее наименьшего сопротивления деформациям и крошению.

В основе природоподобных технологий при обработке почвы заложены принципы минимума, оптимума и максимума [2].

При структурной гармонизации системы, при реализации природоподобных технологий, важно различать, что должно быть преобразовано (вариации), а что должно оставаться неизменным (инварианты) [3].

В соответствии с этим технологический процесс обработки почвы необходимо осуществлять унифицированной конструкцией, разработанной по методу базового агрегата со сменными подсистемами (элементами рабочих органов), комбинацию которых реализуют конструктивно на единой несущей системе по определенному принципу размещения [4].

Результаты и обсуждение

В засушливых условиях необходима дифференциации пласта без оборота на слои с различной структурой, т.е. послойная безотвальная обработка почвы. При этом, во-первых, нарушается преференциальное движение влаги, приводящее к испарению. Во-вторых, по аналогии с процессом конденсации росы на поверхности почвы, при разнице теплофизических характеристик слоев возникает термодиффузионный поток в виде пара внутри пласта, движущийся в направлении температурного градиента.

Температура внутри пласта почвы изменяется вследствие протекания следующих процессов:

- теплообмен с воздухом (теплопроводность и конвекция);
- воздействие лучистой энергии солнца (радиация);
- тепловой поток в почве (теплопроводность);
- физико-химические процессы (испарение, конденсация, десукция).

Изменение температуры почвы во времени (тепловой поток) внутри пласта определяется интенсивностью тепловой энергии и теплопроводностью.

На диссипацию тепловой энергии почвы и снижение температуры внутри пласта оказывают непосредственное влияние влажность и плотность.

При высокой влажности почвы происходят необратимые потери тепловой энергии, расходуемой на испарение влаги с поверхности. Величина температурного градиента, возникающего внутри пласта при этом только за счет сорбционных и капиллярных сил, непосредственно зависит от влажности почвы.

Сорбционные силы возникают за счет поверхностной энергии твердой фазы почвы, поэтому от структуры пласта и его плотности сложения зависит величина и направление возникающего при этом температурного градиента. Температуропроводность обратно пропорциональна плотности почвы. С увеличением плотности почвы температуропроводность уменьшается и, как следствие, снижается величина температурного градиента внутри пласта. Капиллярные силы возникают только при наличии влаги в почве.

В засушливых условиях влага сосредоточена в наиболее тонких капиллярах, а ее перемещение осуществляется преимущественно в парообразной форме. При значительном увеличении плотности почвы, обусловленном переуплотнением пласта, в засушливых условиях нарушается водное питание корневой системы растения, поскольку размер пор уменьшается, и корневые волоски не способны проникнуть в наиболее тонкие капилляры с влагой.

По данным А.А. Роде, увеличение плотности почвы до $1,59 \text{ г/см}^3$ приводит к уменьшению водопроницаемости до 10 раз. Поэтому при переуплотнении пласта доступ влаги к растению за счет гидротропизма его корневой системы, обусловленного водопроницаемостью почвы и проводимостью протоплазмы клеток корня, весьма затруднителен. А в засушливых условиях при достижении предела влажности разрыва капилляров гидротропизм корневой системы растения прекращается вследствие уменьшения водопроницаемости и увеличения сорбционных сил, на величину которых оказывает непосредственное влияние плотность почвы.

Количественно неустановившийся термодиффузионный поток можно представить следующей зависимостью:

$$Q(t) = \frac{\partial t^{\circ}\text{C}}{\partial t} = \alpha \cdot \frac{\partial^2 t^{\circ}\text{C}}{\partial z^2}, \quad (1)$$

где $t^{\circ}\text{C}$ – температура почвы, $^{\circ}\text{C}$; t – время, с; α – температуропроводность почвы, Дж/ $^{\circ}\text{C}$.

Представим выражение (1) в разностном виде:

$$\frac{t^{\circ}\text{C}_i^{j+1} - t^{\circ}\text{C}_i^j}{\Delta t} = \frac{\alpha \cdot (t^{\circ}\text{C}_{i-1}^j - 2 \cdot t^{\circ}\text{C}_i^j + t^{\circ}\text{C}_{i+1}^j)}{(\Delta z)^2}, \quad (2)$$

где i – приращение слоя; j – приращение времени; Δz – расстояние между слоями, м; Δt – промежуток времени, с.

Автором [5] определено, что в первом приближении:

$$\alpha \cdot \frac{\Delta t}{(\Delta z)^2} = 0,5. \quad (3)$$

Подставим выражение (3) в уравнение (2):

$$t^{\circ}\text{C}_i^{j+1} = 0,5 \cdot (t^{\circ}\text{C}_{i-1}^j + t^{\circ}\text{C}_{i+1}^j). \quad (4)$$

Полученное выражение (4) позволяет рассчитать температуру почвы на любой глубине залегания слоя в различное календарное время в условиях неустановившегося термодиффузионного потока по имеющимся данным предыдущих измерений.

Эти данные могут использоваться при дифференцированном подходе к рыхлению и посеву в зависимости от теплофизических характеристик почвы. В этом случае принимается решение о проведении технологической операции по результатам исследований, полученным по температуре почвы в определенном слое на необходимой глубине [6].

Для достоверности полученных данных, рассчитанных по формуле (4), необходимо определить начальные и граничные условия непосредственным измерением в поле или аппроксимацией ранее полученных данных.

Установлено, что измерение температуры для определения начальных и граничных условий необходимо проводить непосредственно в поле, поскольку в лабораторных условиях нарушается естественная структура образца. Поскольку структура почвы содержит поры, трещины и неоднородности, обладающие значительно меньшей теплопроводностью, чем твердая фаза, то всякое нарушение образца при извлечении его из пласта существенно влияет на результаты измерений, поскольку в лабораторных условиях не обеспечивается сохранение исходного направления термодиффузионного потока, характерного для естественной среды.

В выражении (3) расстояние между слоями Δz характеризует толщину всего взрыхленного

слоя, от поверхности поля до глубины, где начинается необработанный пласт. В подобных случаях образующийся термодиффузионный поток в зависимости от направления температурного градиента может приводить к стеканию влаги на не вполне доступную для семени и корневой системы глубину внутри пласта или приводить к ее испарению.

Установлено, что при рыхлении отвальным плугом ПН-5-35 образуются преференциальные потоки влаги, приводящие к ее испарению или стеканию вглубь пласта, поскольку температурный градиент, в отличие от послойной безотвальной обработки почвы, не меняет направление. При послойной безотвальной обработке почвы температура снижается, а с 10 см повышается с ростом глубины, температурный градиент меняет: в слоях 0–5 см и 5–10 см – отрицательный, в слое 10–15 см – положительный.

Получение структурных агрегатов требуемого размера путем рыхления с уплотнением слоя почвы внутри пласта приводит к расширению диаметра почвенных капилляров, по которым перемещается влага из глубины к испаряющей поверхности. Термодиффузионный поток не преодолевает поверхность раздела между широкой и узкой частями капилляров, происходит так называемое явление их пресечения, в результате чего образующийся пар не достигает поверхности поля, а медленно диффундирует внутри пласта и конденсируется в слое, который будет влагонакопительным [4].

Исследования показали, что при послойной обработке почвы внутри пласта формируется

влагонакопительный слой за счет комбинации обоих типов теплообмена (инсоляции и излучения), поскольку термоградиенты имеют противоположное направление, меняя знак на глубине 10–15 см, где пересекаются потоки. Влага на данной глубине является доступной для корневой системы сельскохозяйственных культур.

На процесс образования влагонакопительного слоя в засушливых условиях помимо теплофизических характеристик почвы непосредственное влияние оказывают параметры рабочего органа, осуществляющего рыхление обрабатываемого пласта.

При послойной безотвальной обработке почвы целесообразно представить Δz как расстояние между слоями, исходя из глубины хода каждого элемента рабочего органа.

В общем случае конструкция рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы формируется из чизельного (paraplow) путем оснащения рыхлителем, монтируемым в верхней части стойки (рис. 1).

С учетом глубины хода каждого элемента рабочего органа формулу (1) можно привести к виду:

$$Q(t) = \alpha \cdot \frac{t^{\circ}C_{i-1}^j - 2 \cdot t^{\circ}C_i^j + t^{\circ}C_{i+1}^j}{(a - a_d - a_p)}, \quad (5)$$

где a – глубина обработки, м; a_d – глубина хода долота, м; a_p – глубина хода рыхлителя, м.

Из анализа зависимости (5) следует, что при существенной разнице температуры почвы соседних слоев и уменьшении толщины

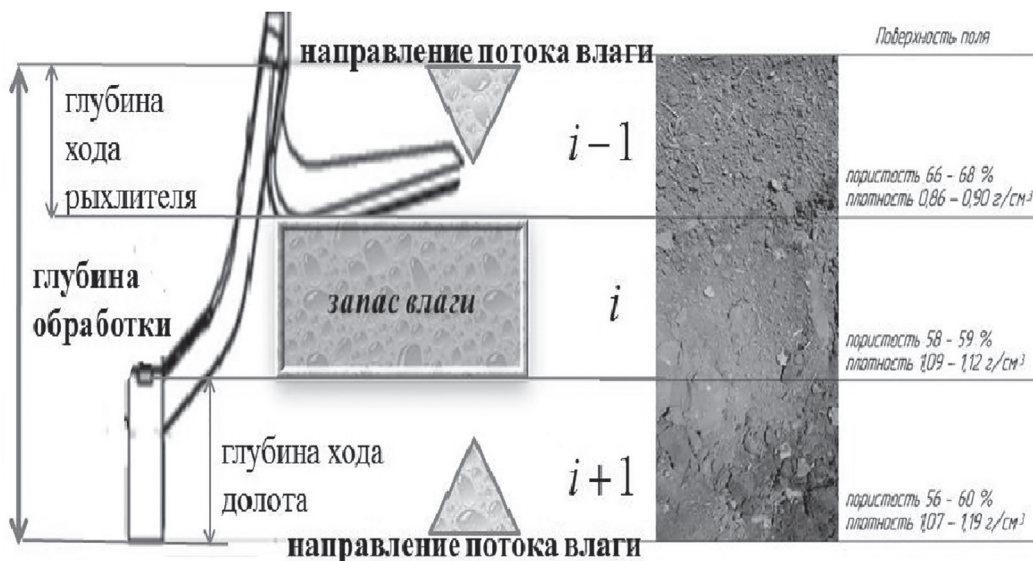


Рис. 1. Формирование запаса влаги внутри пласта почвы в засушливых условиях

обрабатываемого пласта увеличивается объем термодиффузионного потока. При этом накапливается влага путем сосредоточения в доступном для корневой системы растений слое, без диссипации по всему пахотному горизонту. Существенного различия теплофизических характеристик можно достичь при разной структуре и плотности соседних слоев почвы. Толщина обрабатываемого пласта уменьшается за счет дифференцирования слоев при послонной безотвальной обработке почвы и уменьшения глубины рыхления (относительно общей) каждым элементом рабочего органа. Таким образом, параметры рабочего органа могут оказывать непосредственное влияние на количество накапливаемой влаги. Отыскание оптимальной формы и параметров рыхлителя, долота и стойки типа *raaparlow* рабочего органа позволит обеспечить необходимую структуру пласта для управления процессом накопления влаги в почве при условии качественно выполнения агротехнических показателей при минимуме затрат.

Согласно изопериметрической теореме математики, круг из всех фигур равного периметра имеет наибольшую площадь. Поэтому рыхлитель с заданным (исходя из наименьшей металлоемкости) периметром геометрических поверхностей должен вырезать и осуществлять крошение пласта почвы с поперечным сечением в виде круга или, в случае совпадения его диаметра с горизонтальной поверхностью поля топографически гладкого на макроуровне, полукруга. Таким образом, форма рыхлителя, осуществляющего крошение пласта в вертикальной плоскости, должна быть близкой к окружности (или полукругности).

Однако, согласно теории прочности Мора, крошение пласта при наименьшем сопротивлении происходит не в вертикальной плоскости, а в плоскости сдвига по линиям скольжения, расположенной под углом ζ к поверхности дна борозды, когда наибольшее напряжение растяжения (менее энергоемкое по сравнению со сжатием) достигает предельного значения для почвы.

Из математики известно, что при проектировании окружности на какую-нибудь плоскость (например, сдвига), диаметр, параллельный этой плоскости (ширина захвата рыхлителя), отображается в натуральную величину, а хорды, перпендикулярные к нему (соответствующие глубине рыхления), сокращаются в отношении, равном косинусу угла,

в данном случае, сдвига почвы, который определяется суммой углов трения почвы (внешнего и внутреннего) и крошения.

С другой стороны, решением математической задачи отыскания минимума периметра ($AC + CB = \min$) рабочих поверхностей рыхлителя с помощью физической интерпретации является точка касания прямой d , ограничивающей глубину хода рыхлителя с эллипсом с фокусами A и B (рис. 2).

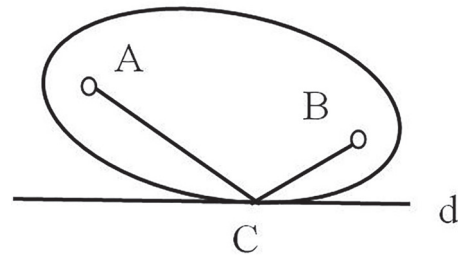


Рис. 2. Схема к определению наименьшего периметра рыхлителя

Таким образом, для уменьшения сопротивления крошению пласта целесообразно на основании физической математики представить рыхлитель в форме кривой, обладающей свойством минимума, – эллипса с малой полуосью, равной глубине хода a_p , и большой осью, соответствующей ширине захвата рыхлителя B.

Эллипс образован равным сжатием окружности с параметром ζ , соответствующим углу сдвига почвы:

$$\zeta = \frac{\pi - (\beta + \varphi + \rho)}{2}, \quad (6)$$

$$a_p = \frac{B}{2} \cdot \cos \zeta, \quad (7)$$

где β – угол крошения почвы, град.; φ , ρ – углы внешнего и внутреннего трения, соответственно, град.

Трансформация стойки типа *raaparlow* из ломаной линии в криволинейную обусловлена отысканием минимума. Решение задачи, физическая интерпретация которой позволяет установить преломление прямолинейной траектории перемещения точки при различии скоростей, обусловленном дифференцированием слоев почвы при послонной обработке, представляет собой дифференциальное уравнение брахистохроны первого порядка [4].

При взаимодействии пласта с чизельным рабочим органом образуется прорезь трапе-

цеидального сечения. При этом крошение осуществляется перед лобовой поверхностью долота сдвигом при сжатии, в боковых расширениях прорези – отрывом при растяжении (рис. 3).

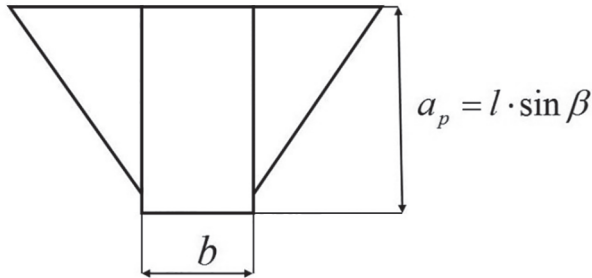


Рис. 3. Параметры долота рабочего органа

Из теории грунтов известно, что сопротивление разрушению пласта в боковых расширениях прорези в несколько раз меньше, чем сопротивление среза перед лобовой частью долота. Это происходит потому, что при сжатии (лобовая поверхность долота) требуется создать разрушающие напряжения в несколько раз больше, чем при растяжении (боковые расширения прорези). Учитывая то, что в боковых расширениях прорези крошение почвы осуществляется за счет растяжения при удельном сопротивлении в несколько раз меньше лобового, можно выбрать параметры долота для осуществления технологического процесса с наименьшими затратами энергии за счет рационального соотношения площади S поперечного сечения обрабатываемого пласта:

$$S = \frac{(a - l \cdot \sin \beta)^2}{a_d \cdot b \cdot \operatorname{ctg} \left(\frac{\beta + \varphi + \rho}{2} \right)}, \quad (8)$$

где l, b – длина и ширина долота, соответственно, м.

При этом необходимо затрачивать оптимальное количество энергии при сжатии пласта почвы на долоте, создавая необходимое и достаточное напряжение (не более 3 кПа) для обеспечения качественного крошения пласта без сгуживания перед рабочим органом. При сгуживании, помимо увеличения затрат энергии, также снижается качество обработки почвы в части равномерности глубины хода долота и выровненности поля.

Процесс взаимодействия долота рабочего органа с почвой можно представить в виде следующих стадий:

- напряженное состояния неразрушенного пласта (до крошения);
- крошение пласта (напряжения превышают предел прочности почвы на сжатие);
- перемещение подвергнувшегося крошению пласта по долоту рабочего органа.

Сгуживание почвы перед долотом возникает при недостаточном давлении подпора со стороны необработанной почвы для перемещения подвергнувшегося крошению пласта, т.е. при фактическом отсутствии последней стадии взаимодействия. Давление подпора со стороны необработанной почвы зависит от ее физико-механических свойств и параметров рабочего органа. Для предотвращения сгуживания при выборе параметров рабочего органа должно соблюдаться условие:

$$\sigma \geq \frac{V^2 \cdot \gamma \cdot \left[\frac{\sin(\beta + \varphi + \rho)}{2} - \sin^2 \left(\frac{\beta + \varphi + \rho}{2} \right) \times \operatorname{ctg}(\beta + \varphi) \right] + l \cdot g \cdot \gamma}{\sin \left(\frac{\beta + \varphi + 3 \cdot \rho}{2} \right) + \cos \left(\frac{\beta + \varphi + 3 \cdot \rho}{2} \right) \times \operatorname{ctg}(\beta + \varphi)}, \quad (9)$$

где σ – необходимое и достаточное напряжение для крошения почвы, Па; V – скорость движения рабочего органа, м/с; γ – плотность почвы, кг/м³; g – ускорение земного притяжения, м/с².

Зависимости (8) и (9) для обработки черноземной почвы в засушливых условиях графически представлены на рис. 4.

Подставив полученные зависимости для определения глубины хода рыхлителя и долота в выражение (5), получим закономерность изменения неустановившегося термодиффузионного потока от параметров рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы с учетом ее физико-механических свойств и теплофизических характеристик:

$$Q(t) = \alpha \cdot \frac{t^{\circ} C_{i-1}^j - 2 \cdot t^{\circ} C_i^j + t^{\circ} C_{i+1}^j}{\left[a - l \cdot \sin \beta - \frac{B}{2} \cdot \cos \left(\frac{\pi - (\beta + \varphi + \rho)}{2} \right) \right]^2}. \quad (10)$$

Из анализа полученного выражения (10) следует, что наиболее сильно на повышение количества влаги в слое i , в соответствии с рис. 1, влияет рост глубины хода долота (в частности, увеличение его длины) и рыхлителя (ширина захвата) при заданной агротехническими требованиями глубине послойной

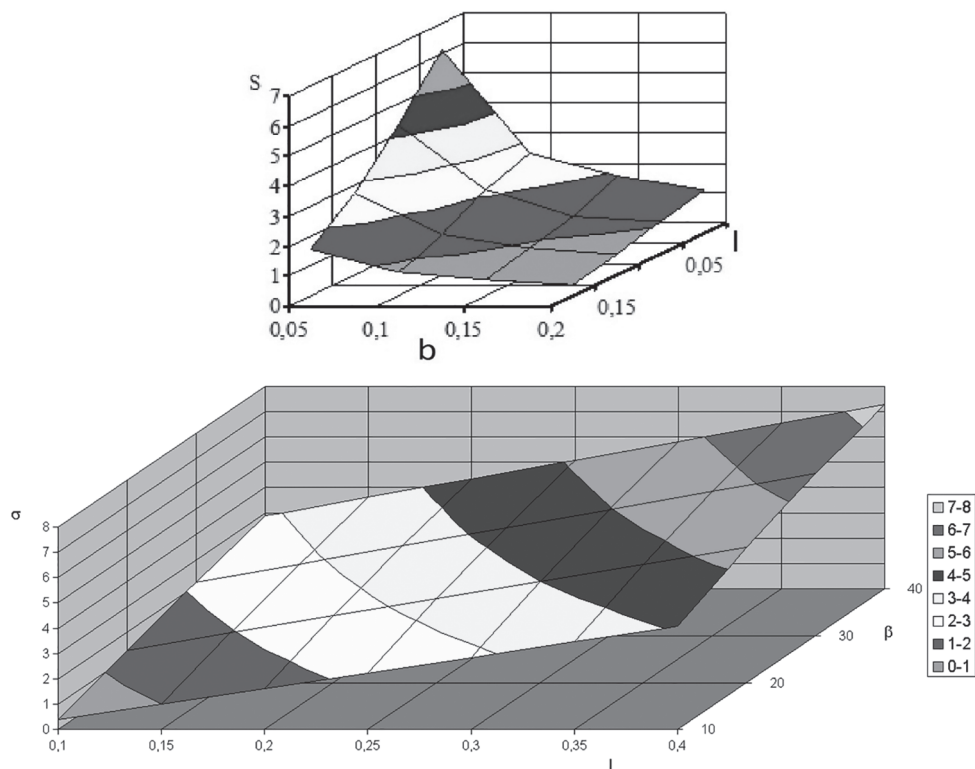


Рис. 4. Взаимосвязь параметров рабочего органа со свойствами почвы

безотвальной обработки почвы в сложившихся условиях физико-механических свойств и теплофизических характеристик обрабатываемой среды. Однако, согласно зависимости (9), увеличение длины долота может привести к сгуживанию почвы перед рабочим органом. Параметры рыхлителя, подготавливающего почву для прохода последующего долота, соответствуют ширине захвата рабочего органа, поэтому также не могут быть значительно увеличены. Кроме того, ширина захвата рыхлителя связана функциональной зависимостью (7) с его глубиной хода, которая при мелкой обработке почвы не должна превышать 16 см, согласно ГОСТ 16265-89 (Земледелие). В этом случае, согласно методологии природоподобных технологий, целесообразно применить принцип золотого сечения, разделив отрезок прямой (в данном случае глубину рыхления) на гармоническую пропорцию 62 % и 38 %. Если принять общую глубину рыхления a за 100 %, то глубину хода рыхлителя a_p составит 38 %. При $a = 34\text{--}39$ см $a_p = 13\text{--}35$ см. Полученные данные не противоречат требованиям вышеприведенного ГОСТа, поскольку глубокая обработка почвы, осуществляемая долотом, должна проводиться на глубину более 25 см, а чизелевание – 35 см. Таким об-

разом, взаимосвязь глубины хода рыхлителя a_p , долота a_d и глубины рыхления a можно выразить уравнением (11).

$$\frac{a_p}{a - a_d} = \frac{a - a_d}{a}. \quad (11)$$

Подставив в уравнение (11) зависимости для определения глубины хода рыхлителя и долота, получим соотношение на основании золотого сечения для определения рациональных параметров рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы в засушливых условиях:

$$\frac{\frac{B}{2} \cdot \cos\left(\frac{\pi - (\beta + \varphi + \rho)}{2}\right)}{a - l \cdot \sin \beta} = \frac{a - l \cdot \sin \beta}{a}. \quad (12)$$

Полученные зависимости (8) и (9) позволяют выбрать граничные условия для моделирования процесса, а выбор рациональных параметров рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы в засушливых условиях удобнее производить по соотношению (12).

В дальнейшем это приведет к разработке комплекса технических средств качественно нового поколения, позволяющих повысить энергоэффективность [7], надежность при экс-

плуатации машин [8], улучшить показатели технологического процесса [9], создать благоприятные условия для производства сельскохозяйственной продукции и обеспечить ее конкурентоспособность на внутреннем и внешнем рынках.

Выводы

В соответствии с природоподобными технологиями, в засушливых условиях необходимо накопление влаги внутри пласта почвы. При существенной разнице температуры почвы соседних слоев и уменьшении толщины обрабатываемого пласта локально накапливается влага, доступная для корневой системы растений, без диссипации по всему пахотному горизонту. Существенного различия теплофизических характеристик можно достичь при разной структуре соседних слоев почвы. Толщина обрабатываемого пласта уменьшается за счет дифференцирования слоев при послыйной безотвальной обработке почвы и уменьшения глубины рыхления каждым элементом рабочего органа. Отыскание оптимальной формы и параметров рыхлителя, долота и стойки типа *ragarlow* рабочего органа позволит обеспечить необходимую структуру пласта для управления процессом накопления влаги в почве при условии качественного выполнения агротехнических показателей при минимуме затрат. Для уменьшения сопротивления крошению пласта целесообразно представить рыхлитель в форме кривой, обладающей свойством минимума – эллипса. Решением задачи трансформации стойки типа *ragarlow* из ломаной линии в криволинейную является дифференциальное уравнение брахистохроны первого порядка. Параметры долота для осуществления технологического процесса с наименьшими затратами энергии выбираются за счет рационального соотношения площади поперечного сечения обрабатываемого пласта. Необходимо затрачивать оптимальное количество энергии при сжатии пласта почвы на долоте, создавая необходимое и достаточное напряжение (не более 3 кПа) для обеспечения качественного крошения пласта без сгуживания перед рабочим органом. Целесообразно применить принцип золотого сечения, разделив глубину рыхления на гармоническую пропорцию 62 % и 38 %. Глубина хода рыхлителя составит при этом 13–15 см при глубине рыхления 34–39 см.

Литература

1. Yegorova-Gudkova T. Management that resemble natural ones and design of self-organizing economic systems // *Science. Business. Society*. 2018. № 2. Pp. 75–77.
2. Байбеков Р.Ф. Природоподобные технологии основа стабильного развития земледелия // *Земледелие*. 2018. № 2. С. 5–8. DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10201.
3. Сороко Э.М. Золотые сечения, процессы самоорганизации и эволюции систем: Введение в общую теорию гармонии систем. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. 264 с.
4. Пархоменко Г.Г. Принципы разработки технологического процесса обработки почвы в засушливых условиях юга России // *Тракторы и сельхозмашины*. 2018. № 6. С. 32–39.
5. Хэнкс Р.Д., Ашкрофт Д.Л. Прикладная физика почв: температура и влажность почвы. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 137 с.
6. Шейн Е.В., Болотов А.Г., Мазиров М.А., Мартынов А.И. Определение профильного распределения температуры почвы на основании температуры ее поверхности // *Земледелие*. 2018. № 7. С. 26–29. DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10707.
7. Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Повышение энергоэффективности мобильных почвообрабатывающих агрегатов // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2016. № 3 (18). С. 40–47.
8. Пархоменко Г.Г., Пархоменко С.Г. Повышение эксплуатационной надежности САР почвообрабатывающих машин // *Труды ГОСНИТИ*. 2016. Т. 122. С. 87–91.
9. Пархоменко Г.Г., Пархоменко С.Г. Оптимизация показателей технологических процессов сельскохозяйственного производства в растениеводстве // *Хранение и переработка зерна*. 2017. № 1 (209). С. 55–60.

References

1. Yegorova-Gudkova T. Management that resemble natural ones and design of self-organizing economic systems. *Science. Business. Society*. 2018. No 2. Pp. 75–77.
2. Bajbekov R.F. Nature-like technologies are the basis for the sustainable development of agriculture.. *Zemledelic*. 2018. No 2, pp. 5–8 (in Russ.). DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10201.
3. Soroko E.M. Zolotyie secheniya, processy samoorganizacii i evolyucii sistem: Vvedenie v obshchuyu teoriyu gar-monii sistem [Golden sections, processes of self-organization and evolution of systems:

- introduction to the general theory of harmony of systems]. Moscow: Knizhnyj dom «LIBROKOM» Publ., 2012. 264 p.
4. Parhomenko G.G. Principles of developing a technological process for soil cultivation in arid conditions of southern Russia. *Traktory i sel'hozmashiny*. 2018. No 6, pp. 32–39 (in Russ.).
 5. Henks R.D., Ashcroft D.L. *Prikladnaya fizika pochv: Temperatura i vlazhnost' pochvy* [Applied soil physics: temperature and soil moisture]. Leningrad: *Gidrometeoizdat Publ.*, 1985. 137 p.
 6. SHein E.V., Bolotov A.G., Mazirov M.A., Martynov A.I. Determination of the profile distribution of soil temperature based on its surface temperature. *Zemledelie*. 2018. No 7, pp. 26–29 (in Russ.). DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10707.
 7. Parhomenko S.G., Parhomenko G.G. Improving the energy efficiency of mobile tillage machinery. *Innovacii v sel'skom hozyajstve*. 2016. No 3 (18), pp. 40–47 (in Russ.).
 8. Parhomenko G.G., Parhomenko S.G. Improving the operational reliability of the ATS of tillage machinery. *Trudy GOSNITI*. 2016. Vol. 122, pp. 87–91 (in Russ.).
 9. Parhomenko G.G., Parhomenko S.G. Optimization of indicators of technological processes of agricultural production in crop production. *Hranenie i pererabotka zerna*. 2017. No 1 (209), pp. 55–60 (in Russ.).