

# ПУТИ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЁМКОСТИ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ОРУДИЙ С АКТИВНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

В.В. АЗАРЕНКО, к.т.н. (РУНИП “Институт механизации сельского хозяйства Национальной академии наук Беларуси”)

Одной из приоритетных задач аграрной науки является совершенствование технологий и обоснование рациональных средств механизации для обработки почвы, обеспечивающих требуемое качество выполнения технологических операций, при снижении расхода топлива и других ресурсов на единицу производимой продукции. Для обоснования перспективных ресурсосберегающих механизированных технологий и прогнозирования рациональных параметров машин и агрегатов необходимы исследования взаимодействия почвообрабатывающих рабочих органов с обрабатываемой средой, которые являются непременными предпосылками успешного создания новой техники.

Почва представляет собой органоминеральную субстанцию, характеризующуюся вследствие наличия органических и минеральных коллоидных веществ, а также перегнойных веществ, прочное закрепление которых с минеральной составляющей связано с образованием кальциевых солей гуминовых кислот, способностью к структуризации - образованию устойчивых водопрочных агрегатов. При механическом воздействии в достаточно широком диапазоне влажности, так называемой “зрелости” почв, она может распадаться на отдельные агрегаты и их конгломераты различной формы и размеров. Количественное содержание в объеме почвы комков и агрегатов определенных размеров (коэффициент структурности), определяет условия протекания биологических, физико-химических и физических процессов в почве и во многом её продуктив-

ную способность. Наиболее ценными в агрономическом плане являются почвенные разности размером от 1 до 10 мм. -Процесс взаимодействия рабочих органов с почвой включает силовое воздействие и кинематические соотношения взаимного движения, определяющие протекание процессов отделения объема почвы от монолита, движения его по поверхности рабочего органа, траекторию свободного полета и распределение на поверхности обрабатываемого поля. Обоснование рациональной конструкции рабочих органов требует глубокого изучения закономерностей протекания технологического процесса разрушения почвенного монолита и формирования требуемой её структурности, а также энергетических показателей его осуществления. При этом возникает потребность учета внутренних структур изучаемых процессов, установление зависимостей напряжения и деформаций от внешних сил и их связей. Изучение местных напряжений, возникающих в окрестностях зоны контакта рабочих органов с почвой, позволяет оценить влияние параметров и режимов работы на энергетические и качественные показатели обработки почвы и определить, при какой интенсивности создаваемого напряжения материал перейдет в требуемое состояние.

Так как почва является сложной средой, то при прочих равных условиях в зависимости от вида и скорости деформации она может обладать различными свойствами. Отделение частей почвы от монолита и разрывы межагрегатных связей под действием рабочих органов могут про-

исходить в зависимости от типа рабочих органов по различным плоскостям, направлениям и дальности от точки контакта и приводить к образованию различной внутренней структуры.

При этом на первой стадии деформации происходит образование очагов разрушения (микротрещин, сдвигов) и микроявления изменения форм равновесия.

Вторая стадия деформации связана с дальнейшим развитием и ростом в значительных частях напряженно-деформированного объема почвы очагов разрушения, что приводит к видимым (макро) сдвигам, трещинам, связанным с явлениями перехода от одной формы равновесия составляющих элементов к другой.

Однако на самом деле такой характер развития возможен лишь при бесконечно малых изменениях нагрузки и то, если эти промежуточные равновесные состояния устойчивы. В случае импульсного приложения нагрузки процесс развития системы трещин носит динамический характер и осуществляется через цепь состояний, не являющихся равновесными. Это означает, что в зонах, где разорваны межагрегатные связи почвы, возникают микротрещины, которые являются зародышами разрушения почвы при дальнейшем её деформировании. В то же время почва изначально имеет большое количество различных дефектов – пустот, трещин, различных включений (органические остатки, корни растений и т.п.). Все эти дефекты нарушают однородность почвы, поэтому разрушение её монолитности начинается около не-

которого дефекта.

При этом на характер разрушения влияют геометрическая форма деформируемого объёма и его механические свойства, тип нагрузки и скорость деформации, которые определяют поле напряжений.

При импульсном приложении нагрузки вследствие существенного различия скоростей распространения волн напряжений и деформаций, локализованные напряжения и деформации способствуют возникновению разрушения в одной части объёма почвы независимо оттого, что про-

исходит в другой. При этом напряжённое состояние импульсно нагруженного объёма почвы может меняться так быстро, что возникающие деформации и разрушения еще не успевают распространиться, в то время как распределение напряжений уже изменится.

В большинстве случаев, разру-

шения при ударном нагружении связывают с неоднородностями напряжений, вызываемые интерференцией большого числа распространяющихся волн. В случае их наложения на имеющееся напряжённо-деформированное состояние в областях возмущения напряжения имеют большую величину. При этом особую роль играет возбуждение дополнительных волн напряжений при отражении импульсов от свободных поверхностей. При отражении от свободной поверхности прямой волны сжатия зарождается отражённая вол-

стей. В этом случае разрушение является результатом сильно локализованной концентрации напряжений сжатия.

Теоретические разработки позволили выдвинуть рабочую гипотезу, которая состоит в том, что при приложении к напряжённо-деформированному объёму почвы импульсной нагрузки, проявляется синергизм эффектов, приводящий к переходу почвы из монолитной фазы в раздробленное состояние на разных уровнях внутренней самоорганизации, которые различаются размерами комков и почвенных агрегатов и их массовыми отношениями. При этом данный переход является определенным, т.е. управляемым и зависит от параметров воздействия.

В зависимости от величины и характера приложения силового воздействия на напряжённо-деформированный объём почвы при возникновении условий проявления синергизма размер почвенных агрегатов, имеющих внутри себя более прочные связи, определяется некоторым уровнем необходимой энергии на разрушение определенного вида связей между агрегатами характерного размера. В случае приложения импульса более высокой интенсивности происходит полное разрушение всех связей между агрегатами и части их самих, что приводит к потере структурности и обычно наблюдается в зоне контакта с рабочим органом.

Для проверки гипотезы о наличии синергизма эффектов при взаимодействии активно-пассивных почвообрабатывающих рабочих органов с обрабатываемой средой экспериментально необходимо было установить факт влияния места, момента приложения и скорости приложения ударного импульса на характер разрушения и энергетические затраты прохождения процесса.

Фактор момента приложения ударного импульса к напряжённо-деформированному объёму по-

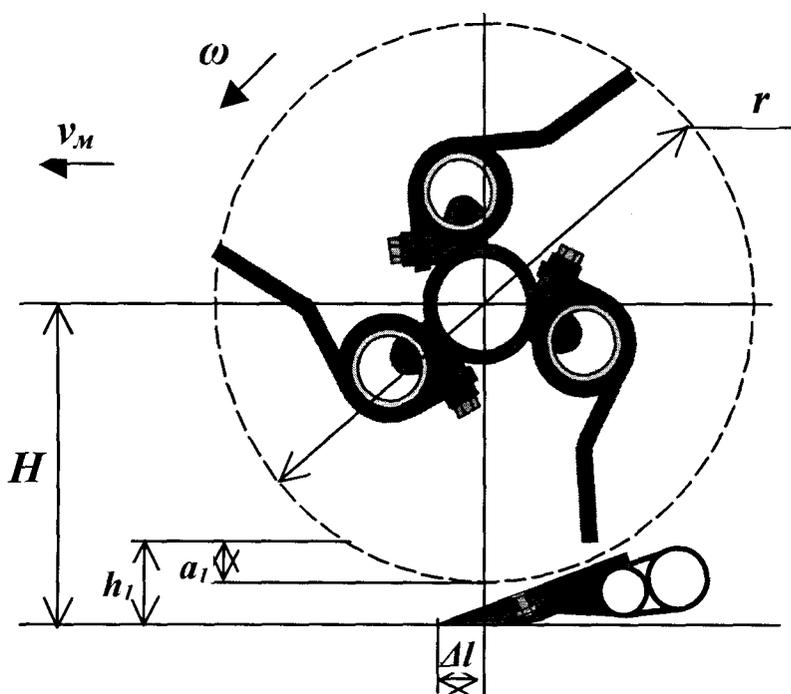


Рис. 1. Схема расположения активно-пассивных рабочих органов почвообрабатывающего орудия

$h_1$  – глубина обработки почвенного пласта лемехом;  $\Delta l$  – смещение носка лемеха относительно проекции на горизонталь оси вращения ротора;  $H$  – высота расположения оси вращения ротора над дном борозды;  $r$  – радиус ротора;  $a_1$  – глубина обработки почвенного пласта ротором;  $\omega$  – угловая скорость

исходит в другой. При этом напряжённое состояние импульсно нагруженного объёма почвы может меняться так быстро, что возникающие деформации и разрушения еще не успевают распространиться, в то время как распределение напряжений уже изменится.

В большинстве случаев, разру-

на растяжения. Интерференция прямой и отражённой волн может вызвать растягивающее напряжение и по величине достаточное для разрушения межагрегатных связей почвы. Если такие условия возникают, то происходит откол. Поверхности разрушения могут возникать вблизи пересечения двух свободных поверхно-

чвы определяет близость по времени приложения ударной нагрузки ко времени возникновения критических напряжений в рассматриваемом объёме или завершённости первого этапа подготовки материала к разрушению. Могут иметь следующие случаи. Импульсная нагрузка прикладывается в моменты, когда:

- почва находится в напряжённом состоянии, величина напряжений много ниже критических;

- почва находится в напряжённом состоянии, величина напряжений близка к критическому;

- монолитность объёма нарушена действием пассивных рабочих органов.

Фактор места приложения ударного импульса определяет близость точки приложения ударной нагрузки к зоне максимальных напряжений, создаваемых пассивным рабочим органом.

Фактор скорости приложения нагрузки определяет величину ударного импульса.

Фактор направления вектора ударного импульса определяет направление распространения волн напряжений и деформаций и влияет на характер разрушения почвы.

Область влияния ударного импульса на объём напряжённо-деформированной почвы, и её конфигурация определяют долю объёма почвы, на которую распространяется синергизм эффектов от взаимодействия активных и пассивных рабочих органов.

Схема расположения активно-пассивных рабочих органов почвообрабатывающего орудия представлена на рис.1. Процесс взаимодействия рабочих органов с почвой заключается в следующем. При поступательном движении пассивный секционный лемех внедряется в массив почвы. При этом происходит рост на-

пряжений и при достижении определенной величины происходит сдвиг слоя почвы относительно массива (рис.2). При приложении ударной нагрузки со стороны активного рабочего органа происходит разрушение (дробление) почвы.

Рассматриваемые выше факторы, характеризующие режим взаимодействия активно-пассивных рабочих органов с обрабатываемой средой, можно выразить через параметры рабочих органов и режимы их работы, такие как: скорость удара  $v$ , и координаты  $(I_{xp}, I_{yp})$  точки приложения удар-

За параметр оптимизации  $y$  была принята массовая доля агрономически ценной фракции размером от 1 до 10 мм, выраженная в процентах.

Опыты проводили на двух уровнях факторов, численные значения которых выбирали равными их предельным значениям в диапазоне изменения (или близкими к ним). Для уменьшения погрешностей координаты приложения ударной нагрузки устанавливали на противоположных уровнях в левой и правой секциях экспериментальной установки.

Скорость удара изменялась путём

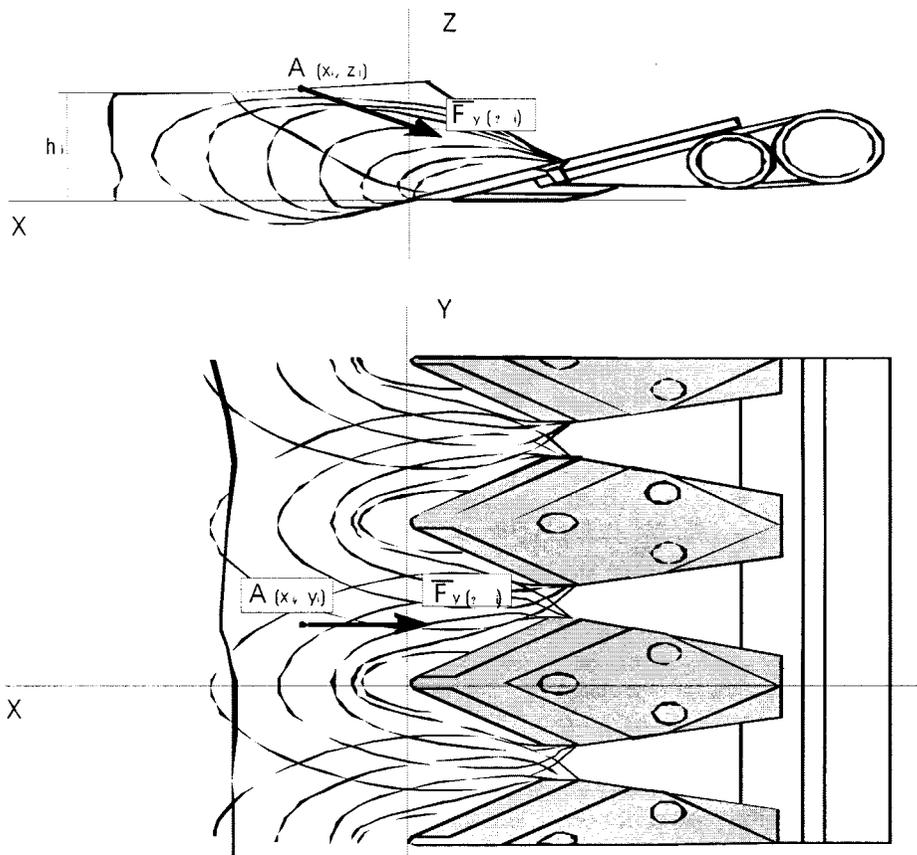


Рис.2. Расчетная схема для описания процессов разрушения напряженно- деформированного почвенного пласта под действием ударной нагрузки

$F_y(\theta)$  – ударная нагрузка;  $h_i$  – толщина обрабатываемого почвенного пласта;  $A(x,y)$

ной нагрузки относительно координатных осей  $X$  и  $Y$ , которые в свою очередь определяются через диаметр ротора, частоту вращения, количество зубьев в плоскости вращения, положением оси ротора относительно носка лемеха пассивного рабочего органа по горизонтали и вертикали, глубину обработки и поступательную скорость движения.

изменения частоты вращения ротора.

Место приложения ударной нагрузки изменялось путем изменения расстановки зубьев на роторе и смещением пассивного рабочего органа относительно оси вращения ротора.

По результатам опытов, про-

веденный в соответствии с матрицей планирования трёхфакторного эксперимента, получена функция отклика в зависимости от натуральных значений факторов

$$y = -11,21 + 4,27 v_y - 47,2 I_{xi} + 596,2 I_{yi} - 29,04 v_y I_{yi}$$

Анализ полученной зависимости показывает, что массовая доля агрономически ценной фракции от 1 до 10 мм (функция отклика  $y$ ) увеличивается с уменьшением факторов  $I_{xi}$  и с увеличением  $I_{yi}$  и  $v_y$ . Причем фактор  $I_{yi}$  влияет на функцию отклика в большей мере. Так, если фактор  $I_{xi}$  находится на нижнем уровне, а  $v_y$  на верхнем, то перевод фактора  $I_{yi}$  с нижнего на верхний уровень вызывает увеличение функции  $y$  в 1,73 раза, тогда как при  $I_{yi}=0,1$  и  $I_{xi}=0$  м перевод фактора  $v_y$  с нижнего на верхний уровень приводит к увеличению функции  $y$  только в 1,34 раза. Если  $I_{yi}=0,1$  м и  $v_y=15$  м/с, то перевод фактора  $I_{xi}$  с верхнего на нижний уровень увеличивает функцию отклика всего лишь в 1,06 раза.

Максимальное значение  $y=83,42$  % имеет место, когда  $v_y=15$  м/с,  $I_{xi}=0$  м и  $I_{yi}=0,1$  м.

Таким образом, исследование влияния скорости удара и места приложения ударной нагрузки на качественные показатели обработки почвы (массовая доля фракций размером от 1 до 10 мм) показали, что с уменьшением смещения точки приложения ударной нагрузки относительно продольной линии лемеха и с увеличением скорости удара и смещения точки его приложения относительно носка лемеха вперед по ходу движения массовая доля фракций от 1 до 10 мм увеличивается.

Максимальное содержание фракции от 1 до 10 мм имеет место при скорости удара 15 метров в секунду, смещении точки его приложения относительно носка лемеха вперед по ходу на 0,1 метра и движении зуба над продольной осью лемеха.

Исследования по определению

области распространения ударного импульса в напряжённо-деформированной почве в поперечном направлении проводили путём изменения расстояния между смежными зубьями ротора.

Анализ результатов показал, что увеличение расстояния между смежными зубьями активного рабочего органа существенно влияет на качество выполнения технологического процесса и в меньшей степени на энергетические показатели.

Так, увеличение расстояния между зубьями от 0,08 до 0,12 м приводит к снижению энергоёмкости технологического процесса  $E_0$  при подачах (точках приложения ударного импульса в продольном направлении) 0,1 и 0,15 м соответственно на 6,8 и 5,7 % по фону зяблевой вспашки и на 8,3 и 6,0 % по стерне. Однако при этом наблюдается снижение массовой доли фракций  $C_d$  размером 1-10 мм по стерневому фону на 20,3 % на обоих значениях подачи на зуб, при работе по зяблевой вспашке на 15,3 и 17,4 % соответственно при подачах 0,1 и 0,15 м. Увеличение доли фракций размером более 25 мм составило на стерне при подачах на зуб 0,1 и 0,15 м соответственно 10,2 и 10,7 %, для фона зяблевой вспашки соответственно 8,7 и 5,8 %.

Увеличение расстояния между зубьями от 0,12 до 0,16 м при обработке фона зяблевой вспашки приводит к снижению энергоёмкости технологического процесса  $E_0$  при подачах 0,1 и 0,15 м соответственно на 6,2 и 9,8 %, для стерневого фона на 2,1 и 9,0 %. Снижение доли фракций  $C_d$  размером от 1 до 10 мм составило для фона зяблевой вспашки 20,4 % и 21,0 % соответственно при подачах 0,1 и 0,15 м, для стерневого фона – 22,8 и 26,0 %. Увеличение доли фракций более 25 мм для фона зяблевой вспашки произошло на 14,2 %, для стерни – на 11,4 % при подаче 0,1 м, а при подаче на зуб 0,15 м на 16,6 и 16,4 % соответственно.

Влияние расстояния между зу-

бьями на крошимость почвы обуславливается протяжённостью пространений в почве зон от ударного приложения нагрузки зубом активного рабочего органа. При перекрытии зон напряжений и деформаций от действия смежных зубьев обеспечивается полная проработка пласта почвы. С увеличением расстояния свыше предельного образуются промежутки между этими зонами, в которых почва в основном подвергается деформациям и разрушениям, возникающим при отделении пласта почвы от массива пассивный рабочими органом. Установлено, что увеличение расстояния между смежными зубьями более 0,12 м ведет к более резкому снижению доли фракций  $C_d$  размером от 1 до 10 мм и нарушению агротехнических требований по соотношению фракций обработанной почвы.

Исследования влияния скорости удара и точки приложения ударного импульса в продольном направлении (подачи 0,1 и 0,15 м) на качественные и энергетические показатели процесса проводили путём изменения скорости вращения ротора и числа зубьев в плоскости вращения.

Так, при подаче на зуб 0,1 м увеличение скорости удара с 6,3 до 12,6 м/с приводит к росту энергоёмкости  $E_0$  соответственно при работе по зяблевой вспашке и стерневому фону на 17,1 и 17,7 %. Массовая доля фракций  $C_d$  от 1 до 10 мм увеличилась соответственно на 19,5 % и на 26,5 %, фракций размером более 25 мм уменьшилась на 13,9 % и 12,6 %.

При увеличении скорости удара с 12,6 до 18 м/с при подаче 0,1 м наблюдается менее интенсивный рост энергоёмкости технологического процесса  $E_0$  на зяблевой вспашке возрастает всего на 10,1 %, а при работе на стерне ржи на 10,8 %. При этом массовая доля фракций  $C_d$  размером от 1 до 10 мм увеличивается для каждого фона соответственно на 5,0 и 4,0 %, а фракций почвы размером более 25 мм уменьшается соответственно на 2,6

% и на 1,6 %.

При подаче на зуб 0,15 м увеличение скорости удара с 4,2 до 8,4 м/с приводит к росту энергоёмкости  $E_0$  для обоих фонов на 15,5-17,4 %. Массовая доля фракций  $C_d$  от 1 до 10 мм при этом увеличивается на 14,3 % при обработке зяблевой вспашки и на 19,2 % для стерневого фона, а фракций размером более 25 мм уменьшается соответственно на 9,7 и 10,1 %.

Дальнейшее увеличение скорости удара с 8,4 до 12,6 м/с при подаче на зуб 0,15 м приводит к увеличению энергоёмкости процесса  $E_0$  примерно на 10,5 % для обоих фонов. Массовая доля фракций  $C_d$  от 1 до 10 мм возрастает на 8,7 %, а более 25 мм уменьшается на 4,6 % для фона зяблевой вспашки и соответственно на 6,5 и 6,6 % при обработке стерни ржи.

Анализ результатов показал, что увеличение скорости удара ведет к незначительному росту энергоёмкости технологического процесса, однако при этом увеличивается массовая доля почвенных фракций от 1 до 10 мм и, соответственно, уменьшается доля фракций более 25 мм.

Увеличение подачи с 0,1 до 0,15 м или удаление точки приложения ударного импульса в продольном направлении от пассивного органа при одинаковых скоростях удара ведет к увеличению фракций размером более 10 мм примерно при сопоставимых показателях энергоёмкости.

Проведенные исследования показали, что взаимное расположение активных и пассивных рабочих органов при совместном воздействии на обрабатываемый пласт почвы существенно влияет на качественные и энергетические показатели выполнения технологического процесса. Синергизм эффектов проявляется при определенных параметрах, характеризующих взаимное расположение и скоростные режимы фун-

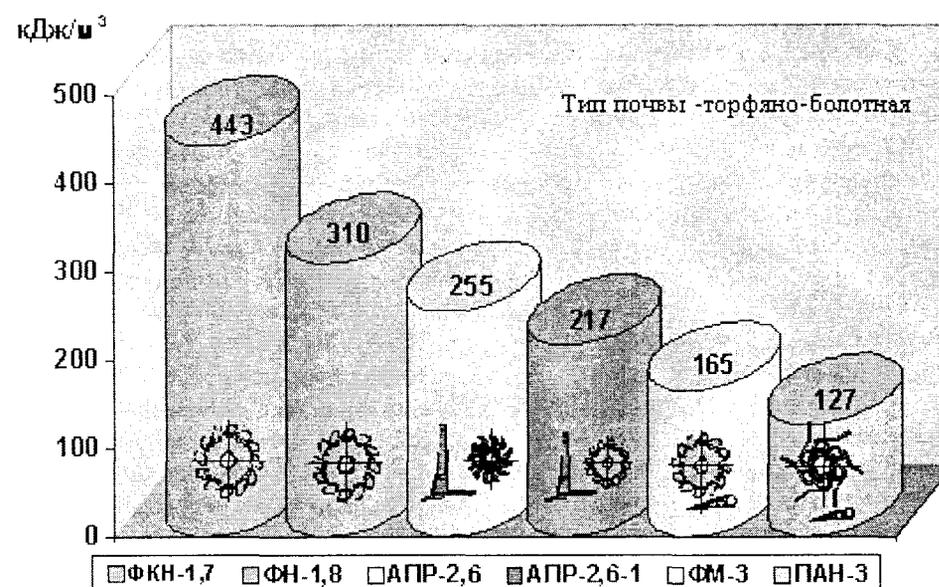
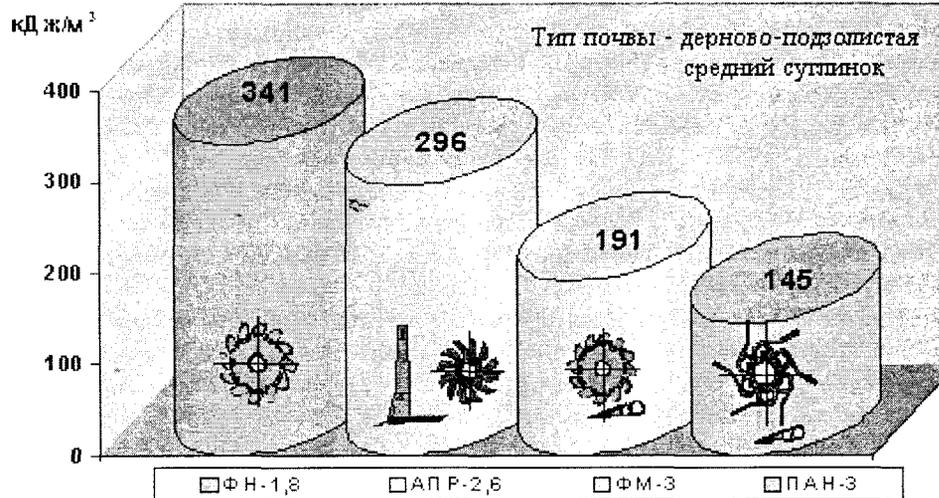


Рис. 3. Удельная энергоёмкость обработки почв орудиями с различными типами активных рабочих органов

кционирования активных и пассивных рабочих органов.

Анализ результатов энергетической оценки различных почвообрабатывающих орудий с активными рабочими органами также подтвердил, что наиболее существенное снижение энергоёмкости процесса достигается при таком взаимном расположении активного и пассивного рабочих органов, которое позволяет воздействовать на почвенный слой одновременно (рис. 3). Результаты исследований показали, что перспективным направлением дальнейшего развития

и совершенствования почвообрабатывающих орудий с активными рабочими органами является их сочетание с пассивными рабочими органами при обеспечении синергизма эффектов от их совместного действия. Такие орудия обеспечивают за один проход требуемое качество обработки и имеют удельную энергоёмкость в 1,5-2,5 раза ниже по сравнению как с существующими орудиями с активными рабочими органами, так и с комплексом орудий с пассивными рабочими органами.