

## Роль почвенного канала при изучении процессов в системе "рабочий орган — почва"

Инж-ры В. Н. ЗВОЛИНСКИЙ, М. А. МОСЯКОВ, Н. Ю. НИКОЛАЕНКО (ВИМ, vic.nik.ru@yandex.ru)

**Аннотация.** Разработка новой техники в камеральных условиях почвенных каналов упростит учет изменяющихся факторов исследований, позволит применять моделирование процессов методом построения 3D-моделей машин, обеспечит высокую точность воспроизведения реальных условий и удобство проведения всевозможных и круглосуточных стендовых испытаний. Это приведет к ускорению создания новых машин.

**Ключевые слова:** почвообрабатывающие машины, посевные машины, исследования, испытания, тяговая тележка, рабочий орган, твердость почвы, влажность, параметры, показатели, измерительная аппаратура, камеральные условия испытаний, компьютерные технологии.

## Role of soil bin in studies of processes in the "working organ — soil" system

V. N. ZVOLINSKIY, M. A. MOSYAKOV, N. Yu. NIKOLAYENKO (All-Russian Research Institute of Agricultural Mechanization, vic.nik.ru@yandex.ru)

**Summary.** Development of new equipment in laboratory conditions of soil bins will facilitate the registration of changing factors of research, will allow to use the processes modeling through constructing 3D models of machines, will provide the faithful reproduction of real conditions and the convenience for performing of all-season and continuous bench tests. As a result, it will speed up the creating of new machines.

**Keywords:** tillage machines, sowing machines, researches, tests, traction carriage, working organ, soil hardness, moisture, parameters, indicators, measuring equipment, laboratory conditions of testing, computer technologies.

Деятельность научного учреждения, связанная с созданием и исследованием новых рабочих органов машин для обработки почвы и посева, обычно оценивается по наличию почвенного канала или испытательного полигона.

Разработка новых рабочих органов обязывает учитывать всевозможные факторы проведения исследований, такие как влажность, твердость и состав почвы, глубина обработки, скорость агрегата, рельеф поля, буксование колес трактора и др. Влияние каждого из этих факторов изучается во время проведения большого числа хозяйственных и полевых опытов [1], которые, в свою очередь, зависят от ожидания благоприятных погодных условий, иногда занимающего длительное время.

Исследование тех же факторов в камеральных условиях значительно экономит время испытаний. Применение современных компьютерных технологий позволяет использовать моделирование процесса при помощи построения 3D-моделей машин и их рабочих органов и тем самым обеспечивает высокую точность воспроизведения реальных условий. При этом решаются вопросы удобства обслуживания измерительной аппаратуры, становится возможным использование гидравлических и электрических стендов с повышенной точностью измерений, необходимых, например, при проведении трибологических исследований. Появляется возможность организации всевозможных и круглосуточных стендовых испытаний. Кроме того, при оснащении современным оборудованием возможна апробация отдельных рабочих органов на специальных стендах.

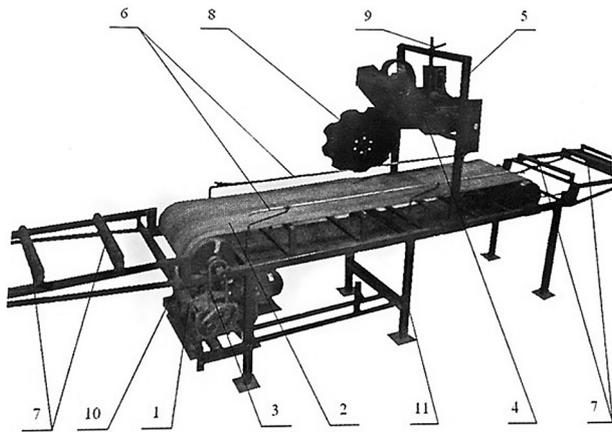
В середине прошлого века настоящим бумом было оснащение НИИ и учебных заведений, связанных с изучением сельхозмашин, так называемыми почвенными каналами.

Сдерживающим обстоятельством, сначала ограничившим широкое использование почвенных каналов, а затем и сократившим их количество, стала необходимость периодической смены почвы в канале, а также

невозможность (как тогда, так и в настоящее время) задания необходимых физико-механических свойств почвы. Если первая проблема может быть решена за счет своевременной организации смены грунта, то со второй все гораздо сложнее, так как речь фактически идет о создании искусственной почвы или об ее имитации [а. с. СССР № 1046647]. Оценка результатов исследований прочности почвенного пласта и сопротивления различным деформациям, характера разрушений во времени и пространстве становится более точной, однако до решения обратной задачи — задания условий проведения экспериментов — еще далеко.

Получение достоверных данных по взаимодействию рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин с реальной почвой в почвенном канале возможно путем частой замены сравнительно больших не тронутых предварительной деформацией фрагментов почвы, имеющих необходимую влажность и твердость. При этом поддержание физико-механических свойств почвы представляется более простой задачей, чем создание искусственной почвы с сохраненной почвенной биотой. Во всех остальных случаях может идти речь только о сравнительных экспериментах, цель которых — оценка функциональных или энергетических характеристик отдельных усовершенствованных рабочих органов или всей машины в целом.

Другая проблема была связана с необходимостью масштабирования исследуемых в почвенных каналах рабочих органов или фрагментов испытываемых машин, определения корреляционных зависимостей (критериев подобия) в процессе взаимодействия подобных воздействий на почву (удар, деформация, крошение, разрушение, износ и т. п.) отдельных уменьшенных рабочих органов или их сочетаний. В настоящее время такая постановка вопроса представляет собой типовую задачу теории подобия, от корректного решения которой зависит точность проведения экспериментов и сходимость полученных характеристик.



**Рис. 1. Имитационный стенд для моделирования процесса обработки почвы**

По мере совершенствования конструкций почвенных каналов, главным образом в части увеличения размеров тележки, возрастала мощность двигателя, менялся состав измерительной аппаратуры, внедрялся гидропривод рабочих органов, но в целом общая компоновка конструкции оставалась примерно такой же, как и у тележки М. Х. Пигулевского [2] с неподвижными рабочими органами и движущимся грунтом.

Новая конструкция имитационного стенда (рис. 1) для моделирования процесса взаимодействия "рабочий орган — почва" создана в УкрНИИПИТе им. Л. Погорелого [3].

Стенд с дисковым рабочим органом для имитационного моделирования операций возделывания почвы состоит из механизма привода ленточного транспортера 1, ленточного транспортера 2, цепи привода ленточного транспортера 3, механизма крепления рабочих органов 4, рамы для механизма крепления рабочих органов 5, направляющих для имитационного дискретного фона 6, роляганга 7, рабочих органов (диска) 8, винта для поднятия механизма повода высевающего аппарата 9, электрического шкафа с элементами управления стендом 10, рамы стенда 11.

Отличительная особенность стенда — использование трехсекционной конструкции, в которую входят подающий роляганг с устанавливаемым на нем ящиком с реальной почвой, протягивающая транспортерная лента и приемный роляганг, на который перемещается ящик после проведения опыта.

При испытаниях высевающих рабочих органов вместо ящиков с почвой на роляганг вместо транспортера с липкой лентой может устанавливаться доска, покрываемая на период опыта липким веществом. Над этим устройством на кронштейнах устанавливаются испытываемые рабочие органы. Условия проведения экспериментов определяются программой имитационных исследований.

Известны конструкции, существенно уменьшающие потребность в большом камеральном помещении за счет того, что почва располагается на

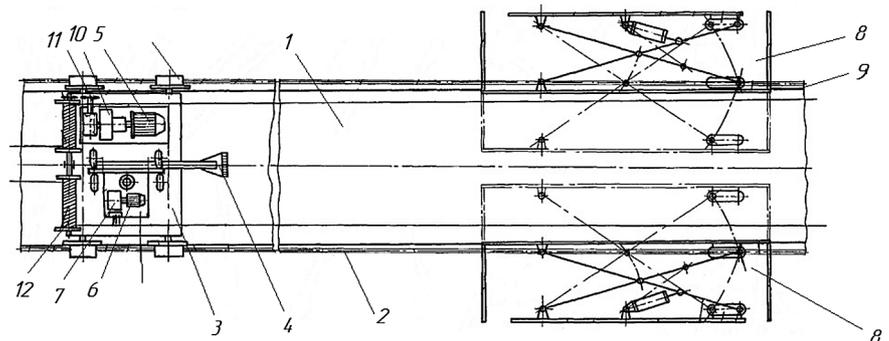
движущихся бесконечных лентах [4]. Вместо лент могут быть использованы вращающиеся кюветы с почвой (кольцевой почвенный канал).

На рис. 2 показан стенд для исследования рабочих органов почвообрабатывающих машин [пат. РФ № 2279050]. Он содержит желоб с почвой 1, раму с направляющими колесными парами 2 для перемещения тензометрической тележки 3 с рабочими органами 4, снабженной механизмом вертикального перемещения относительно желоба с силовым гидроцилиндром 5, насосную станцию 6, направляющие плиты 8, направляющие полозья 9 и силовой блок 10. Стенд дополнительно снабжен блоком торможения тензометрической тележки 11 с установленным на ней кронштейном для крепления рабочих органов, двумя раздвижными силовыми платформами и тросовыми барабанами 12.

Представляет интерес практика создания почвенных каналов для решения частных вопросов проектирования. Так, в Костанайском ГУ для уточнения оптимального расстояния между плоскорежущими рабочими органами был спроектирован и изготовлен передвижной почвенный канал, состоящий из рамы прямоугольной формы, опирающейся на лыжи, и вспомогательной рамы, подвешенной на основную. На вспомогательной раме имеются брусья, на которые устанавливаются пять рабочих органов от культиваторов КПШ-9. Расстояние между лапами составляет 0,9 м, в продольном направлении — от 0 до 2 м. Между основной и вспомогательной рамами установлено тензозвено, регистрирующее тяговое сопротивление. При работе канала исключается влияние со стороны трактора и опор и исследуются факторы, связанные со схемой расстановки рабочих органов. Это дает возможность уменьшить ошибку, возникающую при проведении эксперимента. В качестве испытательной деланки используется специальный полигон, почва на котором отвечает агротехническим требованиям.

В качестве классической конструкции почвенного канала можно привести модернизированный канал, построенный в экспериментальном корпусе ВИСХОМа (рис. 3). Модернизация канала была связана с новыми задачами сельхозмашиностроения — ускорением сроков создания и внедрения в производство новой техники для энергонасыщенных тракторов.

Решение частных задач по изучению износостойкости, усталостной прочности и надежности отдельных рабочих органов и конструкций машин в целом связано с



**Рис. 2. Стенд для исследования рабочих органов почвообрабатывающих машин [пат. РФ № 2279050]**

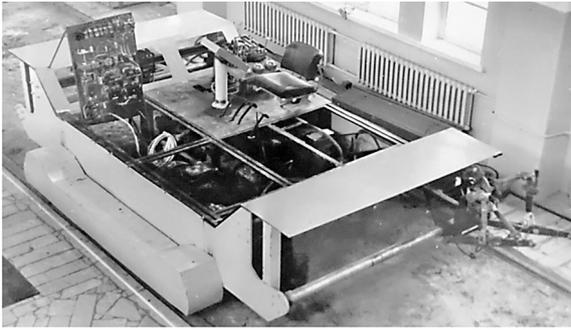


Рис. 3. Почвенный канал ВИСХОМа (без тензометрического оборудования и ограждений)

применением средств магнитографии, стенов для износных исследований, имитационных стенов для ускоренных испытаний рамных конструкций, специализированного оборудования по изучению физико-механических и технологических свойств почв, с.-х. растений и удобрений.

Рядом с почвенным каналом, используемым для исследования почвообрабатывающих орудий, устанавливается так называемый малый канал, предназначенный для тонких исследований работы отдельных почвообрабатывающих рабочих органов и высевающих секций сеялок. При этом в качестве измерительной аппаратуры обычно приспособляются те же приборы, что и для большого канала.

Обобщенный опыт эксплуатации почвенных каналов показал эффективность схемы, сочетающей использование неподвижной почвенной ямы размером  $3 \times 60 \times 1,5$  м с по возможности быстрой и малозатратной сменной канала с движущимся слоем почвы, для исследования отдельных рабочих органов почвообрабатывающих машин и сеялочных секций. Целесообразно применение электромеханической трансмиссии с клиноременными передачами, предназначенными для собственного перемещения тележки, подготовки почвенного фона, привода испытываемых рабочих органов и остановки конструкции в конце прохода. В первом случае контрольно-измерительная аппаратура располагается непосредственно на раме тележки и управляется с места оператора, а во втором устанавливается стационарно на специальной площадке.

Основной элемент почвенного канала — тяговая транспортная тележка, блок-схема привода которой представлена на рис. 4, укомплектованная составными агрегатами трансмиссии.

При проектировании почвенного канала необходимо учитывать основные параметры: мощность тягового электродвигателя, габаритные размеры тяговой тележки, эксплуатационный вес, нагрузки на ось, предельную силу тяги по сцеплению колес с рельсами, рабочие скорости, диапазон изменения скоростей, частоты вращения вала отбора мощности, параметры и размеры рабочих мест оператора.

Для привода тяговой тензометрической тележки почвенного канала также может быть использована механическая трансмиссия с клиноременным вариатором скорости (КРВ). Вращение от электродвигателя передается через КРВ и муфту сцепления на коробку передач (КП).

Общий диапазон регулировки рабочих скоростей:

$$D = \frac{V_{T \max}}{V_{T \min}},$$

где  $V_{T \max}$  и  $V_{T \min}$  — максимальная и минимальная скорости движения тележки.

В случае применения КРВ и КП диапазон регулирования  $D$  определяется как:

$$D = D_{\text{вар}} D_{\text{КП}}, \quad (1)$$

где  $D_{\text{вар}}$  и  $D_{\text{КП}}$  — диапазоны регулирования КРВ и КП.

Диапазон регулирования 5-ступенчатой КП равен:

$$D_{\text{КП}} = D_{I,II} D_{II,III} \dots D_{j-1,j}, \quad (2)$$

где  $D_{j-1,j} = i_j / i_{j-1}$ ;  $i_j$  — передаточное отношение  $j$ -й передачи.

Для обеспечения бесступенчатого регулирования во всем диапазоне  $D$  заданных скоростей должно соблюдаться условие:

$$D_{\text{вар}} \geq D_{j-1,j}. \quad (3)$$

Основная силовая характеристика КП — максимально допустимый крутящий момент на ее первичном валу.

Примем электродвигатель мощностью  $N_H$ , кВт, с номинальным крутящим моментом  $M_H$ , Н·м.

Пусковой момент двигателя, Н·м:

$$M_{\text{пуск}} = 1,1 M_H.$$

Ориентировочно зададимся передаточным отношением вариатора  $i_{\text{вар max}} = 2$ . Тогда момент на первичном валу КП, Н·м:

$$M_{I \text{ КП}} = M_{\text{пуск}} i_{\text{вар max}} \eta,$$

где  $\eta = 0,9$  — КПД вариатора.

Диапазон регулирования КП выбираем из серийно выпускаемых коробок:

$$D_{\text{КП}} = D_{I,II} D_{II,III} D_{III,IV} D_{IV,V}; \quad (4)$$

$$D_{I,II} = \frac{i_I}{i_{II}}; \quad D_{II,III} = \frac{i_{II}}{i_{III}}; \quad D_{III,IV} = \frac{i_{III}}{i_{IV}}; \quad D_{IV,V} = \frac{i_{IV}}{i_V}.$$

Тогда по формуле (1) получим:

$$D_{\text{вар}} = D / D_{\text{КП}}.$$

По условию (3) с учетом 20 % перекрытия поддиапазонов получим:

$$D = 1,2 D_{j-1,j}.$$

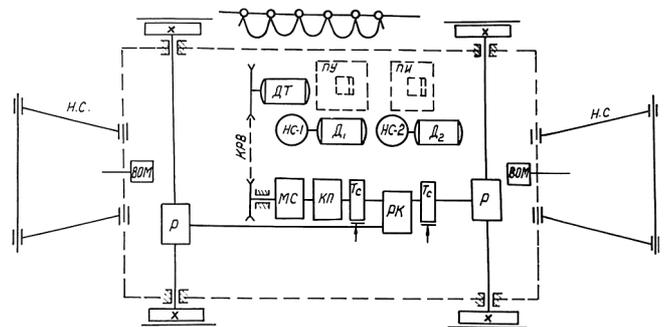


Рис. 4. Блок-схема трансмиссии и оборудования тяговой тележки:

КРВ — клиноременный вариатор; ДТ — электродвигатель; МС — муфта сцепления; КП — коробка передач; РК — раздаточная коробка; КРМ — конический редуктор мостов; НС — навесная система; ПУ — пульт управления; ПИ — пульт измерений; Т<sub>с</sub> — тормозная система

Принимая КРВ с симметричным регулированием, получим:

$$i_{\max} = \frac{\sqrt{D}}{1 - \xi},$$

где  $\xi$  — коэффициент скольжения;  $\xi = 0,05$ .

Максимальный момент на первичном валу КП, Н·м:

$$M_{\text{I КП}} = M_{\text{пуск}} i_{\text{вар max}}$$

Максимальное передаточное отношение вариатора:

$$i_{\text{вар max}} = \frac{M_{\text{КП}}}{M_{\text{пуск}}}$$

Минимальное отношение:

$$i_{\text{вар min}} = \frac{1}{i_{\text{вар max}}}$$

Тогда диапазон регулирования КРВ:

$$D = \frac{i_{\text{вар max}}}{i_{\text{вар min}}}$$

Условие (3) обеспечивает перекрытие поддиапазонов на 14 %.

Общее передаточное отношение силовой передачи тележки выберем с учетом использования рельсовой тележки большого почвенного канала с двухребордными стальными ходовыми колесами диаметром  $D_{\text{ХК}} = 400$  мм.

Подставив (3) в (2), найдем:

$$i_{\max} = \frac{\omega_{\text{дв}} D_{\text{ХК}}}{2 V_{\text{T min}}};$$

$$i_{\min} = \frac{\omega_{\text{дв}} D_{\text{ХК}}}{2 V_{\text{T max}}}$$

Определим передаточное число  $i$  дополнительной понижающей передачи:

$$i_g = \frac{i_{\max}}{i_{\text{КП max}} i_{\text{вар max}}}$$

В качестве редуктора может быть использована раздаточная коробка (РК), имеющая две ступени. Передаточное число первой передачи  $i_{\text{рк1}}$ , второй —  $i_{\text{ркII}}$ . При этом РК будет выполнять функции разделителя мощности.

В качестве конических редукторов могут быть использованы редукторы заднего моста, имеющие передаточное число  $i_{\text{р}}$ , близкое к требуемому.

Целесообразно использовать муфту сцепления от автомобиля грузоподъемностью 3 т.

Таким образом, имея значения передаточных чисел всех элементов трансмиссии, определим интервалы бесступенчатого изменяемых поступательных скоростей тележки на всех передачах КП:

$$V_{\text{T min}} = \frac{D_{\text{ХК}}}{2} \frac{\omega_{\text{дв}}}{i_{\text{р}} i_{\text{рк}} i_{\text{КП}} i_{\text{вар max}}}; \quad (5)$$

$$V_{\text{T max}} = \frac{D_{\text{ХК}}}{2} \frac{\omega_{\text{дв}}}{i_{\text{р}} i_{\text{рк}} i_{\text{КП}} i_{\text{вар min}}}. \quad (6)$$

Скорости движения в основном диапазоне А будут определяться исходя из передаточного числа раздаточной коробки  $i_{\text{рк}} = 1$ . При работе на пониженной передаче в РК ( $i_{\text{рк}} = 2,08$ ) в диапазоне Б скорости движения будут равны. При использовании пониженной передачи в РК существенно увеличивается перекрытие диапазонов.

Подбор КП проводится по максимальному моменту на ее первичном валу, а все узлы трансмиссии тележки согласовываются по прочности и износостойкости.

Наибольшую мощность  $N_0$  может передать ремень СВ-50 при минимальном расчете диаметра  $d_{\text{min}}$  шкива. Тогда:

$$d_{\max} = d_{\text{min}} i_{\text{вар max}} (1 - \xi).$$

Предварительная величина межцентрового расстояния, мм:

$$a = 0,55(d_{1\max} + d_{2\max}) + h,$$

где  $h$  — высота профиля ремня, мм.

Необходимая длина ремня, мм:

$$\alpha = 2a \frac{\pi}{2} (d_1 + d_2) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4}.$$

Принимаем  $\alpha$  по ГОСТ 24848.3—81. Тогда уточненное межцентровое расстояние, мм:

$$a = 0,25 \left[ (\alpha - \Delta_1) + \sqrt{(\alpha - \Delta_1)^2 - 8\Delta_2} \right],$$

где  $\Delta_1 = 0,5(d_1 + d_2)$ ;  $\Delta_2 = 0,25(d_2 - d_1)^2$ .

Окружная сила на шкивах, Н:

$$F_{t \max} = \frac{2M_{\text{дв}}}{d_{\text{min}}};$$

$$F_{t \min} = \frac{2M_{\text{дв}}}{d_{\text{max}}}.$$

Скорость ремня, м/с:

$$V_{\text{р max}} = \frac{\omega_{\text{дв}} d_{\text{max}}}{2};$$

$$V_{\text{р min}} = \frac{\omega_{\text{дв}} d_{\text{min}}}{2}.$$

Натяжение ремней от центробежных сил, Н:

$$F_{\text{цб max}} = \frac{q V_{\text{р max}}^2}{g};$$

$$F_{\text{цб min}} = \frac{q V_{\text{р min}}^2}{g},$$

где  $q$  — погонный вес ремня, кг/м.

Максимальное напряжение в ремне, кг<sup>2</sup>/см:

$$\sigma_{\max} = \frac{F_0}{S} \frac{m}{m-1} + C_2 \frac{h}{d} + \frac{F_{\text{цб}}}{S},$$

где  $S$  — площадь поперечного сечения ремня, см<sup>2</sup>;  $C_2$  — коэффициент изгибаемой жесткости (для кордтканевых ремней  $C_2 = 500 \dots 600$ ).

$$m = \frac{I - \Psi}{I + \Psi},$$

где  $\Psi = 0,75$  — коэффициент тяги.

Ожидаемый срок службы ремня, ч:

$$T = \frac{C_I^{\text{р}}}{3600 \sigma_{\max}^{\text{р}} U_{\text{эф}}},$$

где  $C_I^{\text{р}} = 300$ .

$$U_{\text{эф}} = \frac{V_{\text{р}} z}{L \xi},$$

где  $z$  — число шкивов;  $\xi$  — коэффициент понижения влияния изгиба на больших шкивах.

Основой перечня измерительного оборудования, рекомендуемого для оснащения современных почвенных каналов для испытаний и исследований почвообрабатывающих и посевных машин, служит стационарная тензостанция ZET 017-T8 S системы Zetlab (г. Санкт-Петербург) в комплектации, включающей:

- программное обеспечение автоматизации измерений Scada системы Zetview;
- опцию автономного регистратора и флеш-накопителя;
- интерфейс Ethernet 10/100;
- набор блоков питания по линии Ethernet;
- блок аккумуляторов для работы с Wi-Fi и флеш-накопителем в автономном режиме, 3 шт.

Кроме того, целесообразно использовать оборудование, созданное и аттестованное для испытаний сельхозтехники на машиноиспытательных станциях России и рекомендуемое РосНИИТиМом [5]:

- электромеханический твердомер ИП-271 (РосНИИТиМ);
- балансирный динамометр электрический постоянного тока с независимым возбуждением SAK-N-670 (РосНИИТиМ);
- динамометры пружинные указывающие типов ДПУ-0,1, ДПУ-0,2, ДПУ-0,5 (завод ЗИП РосНИИТиМ);
- динамометры образцовые сжатия ДОСМ-3-1 и ДОСМ-3-3 (завод ЗИП РосНИИТиМ);
- высокоскоростной контрольно-измерительный усилитель индикаторный WGA-670B с опциями (Kiowa);
- программное обеспечение автоматизации измерений Scada системы Zetview;

- опцию автономного регистратора и флеш-накопителя (Zetlab);
- динамометр LH-102 (до 900 кг);
- 3D-сканер переносной DAVID Structured Light Scanner SLS-2;
- высокоскоростную видеокамеру Fastvideo-500M;
- вертикально-маятниковый копер ВИМ [6].

Таким образом, использование современного измерительного оборудования и программного обеспечения для испытаний почвообрабатывающих и посевных машин в закрытых помещениях может обеспечить не только максимально благоприятные условия для испытателей, но и ускорить процесс создания новой техники.

## Литература и источники

1. **Мацепуро В. М.** и др. Разработка метода физического моделирования процессов почвообработки в условиях почвенных каналов // Труды ВИМ. — 1975, т. 69.
2. **Пигулевский М. Х.** Пути и методы изучения физико-механических свойств почвы // Труды ВИМ. — 1935, т. 1.
3. **Кушнарев А.** и др. Стенд для имитационного моделирования процесса взаимодействия "рабочий орган — почва" // Техніка і технології АПК. — 2010, № 4 (7).
4. **Емельянов П. А.** и др. Эффективность применения передвижного почвенного канала при проведении лабораторных исследований // Вестник Красноярского ГАУ. — 2013, № 10.
5. **Федоренко В. Ф., Гольяпин В. Я.** Приборы и оборудование для испытаний сельскохозяйственной техники. — М.: Росинформагротех, 2004.
6. **Жук А. Ф.** Определение и регистрация механическими средствами характеристик процессов на вертикально-маятниковом копере // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: Сб. науч. докл. Международ. науч.-практ. конф. — М.: ВИМ, 2014.