

№ 2 (10) - 2021

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВЕСТНИК
ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В АПК**



www.texvestnik.ru

МАЙ | № 2 (10) - 2021

Редакционный совет:

Главный научный редактор: к.т.н., доцент, Новопашин Леонид Алексеевич
Заместитель главного научного редактора: к.э.н., доцент, Юсупов Мамед Лечиевич
Ученый секретарь: Садов Артём Александрович

Редколлегия:

- д.т.н., профессор-Баймухамедов М.Ф. (Казахстан, г. Костанай);
- д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и образования РАЕ - Носырев М.Б. (г. Екатеринбург);
- д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ -Зорин В.А. (г. Москва);
- д.т.н., профессор, почетный работник науки и техники РФ - Барбин Н.М. (г. Екатеринбург);
- д.т.н., доцент - Шепелёв С.Д. (г. Челябинск);
- д.т.н., профессор - Баженов Е.Е. (г. Москва);
- д.т.н., профессор, заслуженный энергетик России, действительный член Международной энергетической академии- Щеклеин С.Е. (г. Екатеринбург)
- д.т.н., профессор - Охотников Б.Л. (г. Екатеринбург);
- д.т.н., профессор - Минухин Л.А. (г. Екатеринбург);
- д.т.н., профессор - Пишиков Г.Б. (г. Екатеринбург);

Учредитель и издатель: ФГБОУ ВО Уральский ГАУ
Адрес учредителя и редакции: 620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42

Телефоны:

Гл. редактор 8-922-222-7095;
Зам. гл. редактора 8-912-600-95-55;
Ответственный секретарь 8-996-187-97-31;
Отдел научных материалов: 8-996-187-97-31;
E-mail для материалов: artemsadov@ya.ru или texvestnik@gmail.com

К сведению авторов

1. Представляемые статьи должны содержать результаты научных исследований, готовые для использования в практической работе специалистов сельского хозяйства, либо представлять для них познавательный интерес (исторические материалы и др.).
2. Структура представляемого материала в целом должна выглядеть так:
 - Рубрика;
 - УДК;
 - Код ВАК
 - заголовок статьи (на русском языке);
 - Ф. И. О. (на русском языке);
 - Место работы (на русском языке);
 - *E-mail;
 - расширенная аннотация — 150–250 слов (на русском языке);
 - ключевые слова (на русском языке);
 - заголовок статьи (на английском языке);
 - Ф. И. О. (на английском языке);
 - Место работы (на английском языке);
 - *E-mail;
 - расширенная аннотация — 150–250 слов (на английском языке);
 - ключевые слова (на английском языке);
 - собственно текст (необходимо выделить заголовками в тексте разделы: «Введение», «Цель и методика исследований», «Результаты исследований», «Выводы и рекомендации»);
 - список литературы, использованных источников (на русском языке);
 - список литературы, использованных источников (на английском языке).
3. Линии графиков и рисунков в файле должны быть сгруппированы. Таблицы представляются в формате Word. Формулы — в стандартном редакторе формул Word, структурные химические в ISIS / Draw или сканированные, диаграммы в Excel. Иллюстрации представляются в электронном виде, в стандартных графических форматах.
4. Литература на русском и английском языке должна быть оформлена в виде общего списка, в тексте указывается ссылка с номером. Библиографический список оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008.
5. Перед публикацией редакция направляет материалы на дополнительное рецензирование в ведущие вузы и НИИ соответствующего профиля по всей России.
6. На публикацию представляемых в редакцию материалов требуется письменное разрешение организации, на средства которой проводилась работа, если авторские права принадлежат ей.
7. Авторы представляют статью в электронном виде — 1 экземпляр, Размер шрифта — 12, интервал — 1,5, гарнитура — TimesNewRoman;

Содержание

Процессы и машины агроинженерных систем

1. Ю.В. Полищук, Н.В. Лаптев, А.П. Комаров "Влияние системы автоматического вождения на эффективность работы агрегата при внесении минеральных удобрений».....4
2. Н.М. Иванов, А.А. Сухопаров, С.Е. Захаров "Определение подачи зерна при сепарации планетарным цилиндрическим решетом с круглыми отверстиями"14
3. П.Н. Шорохов, Ю.В. Панков, Л.А. Новопашин, А.А. Садов, Бердюгина О.В. "Структурно-композиционное моделирование макроструктур агрономической почвы аккумулирующей влагу в понятиях физико-химической механики».....25
4. К.М. Потетня, А.А. Садов "Инжекторы удобрений: виды, уход и калибровка".....39
5. В.А.Тимкин, В.С. Артемова, Л.А. Новопашин "Разработка технологии получения биологически активного природного ангиогенина».....50
6. К.В. Гребенюк "Анализ эффективности применения сидератов по системе no-till для северного региона Казахстана"..... 61
7. Б.Л. Охотников, М.Н. Салихова "Комплекс машин по реализации грядово-ленточной технологии возделывания картофеля на суглинистых почвах" 70
8. В.В. Вахрушев 1*, Н.М. Иванов 1, А.Е. Немцев 1 "Оценка работоспособности моторных масел по краевому углу смачивания"76

Машиностроение

9. Г.М. Тромпет, В.А. Александров, А.Д. Кольга, А.А. Баженов, Т.В. Бедыч "Суммарная погрешность оборудования активного контроля виброконтрастного принципа измерения и ее минимизация"84

Транспорт

10. Е.Е. Баженов "Динамическое взаимодействие звеньев активных сочлененных транспортных систем" 93
11. Л.В. Денежко, Л.А. Новопашин, Ю.В. Панков, А.А. Садов "Физико-химические свойства масло-дизельных смесей"99

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВОЖДЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ АГРЕГАТА ПРИ ВНЕСЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Ю.В. Полищук^{1*}, Н.В. Лаптев¹, А.П. Комаров¹

¹Костанайский филиал ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», г. Костанай,

Республика Казахстан.

*E-mail y.polishchuk.62@mail.ru

Аннотация. В настоящее время на рынке Республики Казахстан предлагают различное оборудование для точного земледелия такое, как GPS-трекер с датчиком уровня топлива, оборудование для дифференцированного внесения минеральных удобрений и средств защиты растений, системы параллельного и автоматического вождения, контроля высева семян и картирования урожайности. По данным производителей оборудование для точного земледелия позволяет сократить, в среднем на 20%, затраты на удобрения, семена, СЗР и ГСМ. Однако еще не до конца изучены возможности получения эффективности от применения систем точного земледелия в условиях Северного Казахстана.

В статье приведены результаты сравнительных испытаний культиватора для обработки почвы и внесения минеральных удобрений в условиях Северного Казахстана. Методика проведения сравнительных испытаний основывалась на требованиях государственных стандартов. В процессе проведения сравнительных испытаний определялись условия испытаний, агротехнические, энергетические, эксплуатационно-технологические и экономические показатели агрегата на обработке почвы и внесении минеральных удобрений, оборудованного системой автоматического вождения и без системы. Использование системы GPS навигации и автоматического управления на обработке почвы и внесении в минеральные удобрения позволяет увеличить производительность агрегата на 9,3%. Расход топлива и минеральных удобрений снижается на 4,5%, а удельные энергозатраты на 5,8 %. Совокупные затраты денежных средств снижаются на 20,5%, при этом годовая экономия совокупных затрат денежных средств составляет 6 335 тыс. тенге (1 117 тыс. руб.).

Ключевые слова: сравнительные испытания, внесение удобрений, точное земледелие, автоматическое вождение, навигационная система.

INFLUENCE OF AUTOMATIC DRIVING SYSTEM ON EFFICIENCY OF THE UNIT DURING MINERAL FERTILIZERS APPLICATION

Polichshuk Yu.V.^{1*}, Laptev N.V.¹, Komarov A.P.¹

¹Kostanay branch of «Scientific production center of agricultural engineering», Kostanay, Republic of Kazakhstan.

*E-mail y.polishchuk.62@mail.ru

Abstract. Currently, the market of the Republic of Kazakhstan offers various equipment for precision farming, such as a GPS tracker with a fuel level sensor, equipment for the differentiated application of mineral fertilizers and plant protection products, parallel and automatic driving systems, seed sowing control and yield mapping. According to manufacturers' data, equipment for precision farming can reduce, on average, by 20%, the cost of fertilizers, seeds, plant protection products and fuels and lubricants. However, the possibilities of obtaining efficiency from the use of precision farming systems in the conditions of Northern Kazakhstan have not yet been fully studied.

In the article are presented the results of comparative tests of a cultivator for soil tillage and mineral fertilizers application in the conditions of Northern Kazakhstan. The comparative test methodology was based on the requirements of state standards. During the process of comparative tests, the test conditions, agrotechnical, energy, operational and technological and economic indices of the unit for soil tillage and mineral fertilizers application equipped with an automatic driving system and without a system were determined. The use of the GPS navigation system and automatic control in soil tillage and mineral fertilizers application allows increasing the productivity of the unit by 9.3%. The consumption of fuel and mineral fertilizers is reduced by 4.5%, and specific energy consumption by 5.8%. Total expenditures are reduced by 20.5%, while the annual savings of total expenditures is 6,335 thous. tenge (1,117 thous. rubles).

Keywords: comparative tests, fertilizer application, precision farming, automatic driving, navigation system

Введение (Introduction)

Точное земледелие позволяет сократить затраты на удобрения, семена, СЗР (средств защиты растений) и ГСМ в среднем на 20% [1]. Помимо сокращения затрат энергии, ресурсов и увеличения урожайности точное земледелие позволяет выровнять физические и агрохимические свойства почвы, поле приобретает форму удобную для проведения агротехнических операций [2,3]. Применение систем точного земледелия с получением максимальной прибыли обеспечивается за счет оптимизации сельскохозяйственного производства, экономии хозяйственных и природных ресурсов. При этом открываются реальные возможности производства качественной продукции и сохранения окружающей среды [4,5]. Системы точного земледелия хорошо зарекомендовали себя

и успешно применяются в США, Канаде, Бразилии и в странах Европы [6,7,8,9]. В настоящее время на рынке Республики Казахстан предлагают различное оборудование для точного земледелия такое, как GPS-трекер с датчиком уровня топлива, оборудование для дифференцированного внесения минеральных удобрений и средств защиты растений, системы параллельного и автоматического вождения, контроля высева семян и картирования урожайности. Их можно приобрести и установить на имеющуюся в хозяйстве сельскохозяйственную технику или приобрести новый трактор, комбайн, самоходный опрыскиватель на которые завод изготовитель уже установил это оборудование. Однако еще не до конца изучены возможности получения эффективности от применения систем точного земледелия в условиях Северного Казахстана.

Цель и методика исследований (Purpose and methodology of research)

В Костанайском филиале «Научно-производственный центр агроинженерии», в 2020 году, были проведены работы по определению влияния системы GPS навигации и автоматического управления (AutoTrac) «CommandCenter™ GS 4 поколения» на агротехнические, энергетические, эксплуатационно-технологические и экономические показатели агрегата на обработке почвы и внесении минеральных удобрений. При проведении сравнительных испытаний определялись агротехнические, энергетические и эксплуатационно-технологические показатели культиватора для внесения удобрений КВУ-8,8 с туковым бункером «John Deere 1910» в агрегате с трактором «John Deere 9420R» с использованием системы GPS навигации и автоматического управления «CommandCenter™ GS 4 поколения» и без использования системы автоматического вождения (система отключалась).

Испытания проводились на полях хозяйства Северо-Казахстанской области, Республики Казахстан. Методика проведения сравнительных испытаний основывалась на требованиях государственных стандартов. Условия проведения испытаний определялись в соответствии с требованиями ГОСТ 20915 [10]. Оценка агротехнических показателей – по ГОСТ 33687, ГОСТ 28714 [11,12]. Оценка энергетических показателей – по ГОСТ 52777 [13]. Эксплуатационно-технологическая оценка – по ГОСТ 24055 [14]. Обработка полученных данных проводилась методом математической статистики с использованием компьютерной программы Excel [15, 16]. Оценка экономической эффективности агрегатов определялась по СТ РК ГОСТ Р 53056 [17].

Результаты исследований (The results of the research)

В период с 28 июля по 2 августа 2020 года проводились сравнительные испытания культиватора для внесения удобрений КВУ-8,8 с туковым бункером «John Deere 1910» в агрегате с трактором «John Deere 9420R» оборудованного системой GPS навигации и автоматического управления «CommandCenter™ GS 4 поколения» (AutoTrac) и без системы (система отключалась). Общий вид агрегата в работе представлен на рисунке 1, дисплей системы GPS навигации и автоматического управления «CommandCenter™ GS 4 поколения» (AutoTrac) представлен на рисунке 2.



Рисунок 1 – Культиватора для внесения удобрений КВУ-8,8 с туковым бункером «John Deere 1910» в агрегате с трактором «John Deere 9420R» в работе (вид спереди сбоку)

Настройка и подготовка культиватора КВУ-8,8 к работе осуществлялась специалистами хозяйства. Сравнительные испытания культиватора КВУ-8,8 проводились на культивации пара и внесении в почву минерального удобрения «Аммофос». Средние значения показателей условий испытаний на глубине до 20 см: влажность почвы – 20,9 %; объемная масса почвы – 1,11 г/см³; твердость почвы – 1,0 МПа. Влажность воздуха – 36 %, температура воздуха – 24,0 °С, скорость ветра – 2,8 м/с, высота сорных растений – 3,5 см, засоренность сорными растениями – 720 г/м². Предшествующая обработка парового поля – культивация на глубину 10-12 см. Условия испытаний культиватора для внесения удобрений КВУ-8,8 в агрегате с трактором «John Deere 9420 R» при проведении сравнительных испытаний были типичными для зоны Северного Казахстана. Перед началом сравнительных испытаний были определены показатели, характеризующие физико-механические свойства вносимых удобрений:



Рисунок 2 – Дисплей системы GPS навигации и автоматического управления «CommandCenter™ GS 4 поколения» (AutoTrac)

влажность удобрений составляет 0,4%, гранулированный состав, массовая доля гранул размером менее 1 мм – 2,5 %, от 1 до 5 мм – 97,5 %, насыпная плотность составляет 881 кг/м³. Угол естественного откоса – 20,2 град. По результатам исследований установлено, что используемое удобрение соответствует требованиям нормативной документации и может использоваться для проведения испытаний.

В таблице 1 представлены показатели работы культиватора для внесения минеральных удобрений КВУ-8,8 в агрегате с трактором «John Deere 9420 R» оборудованного системой GPS навигации, автоматического управления «CommandCenter™ GS 4 поколения» (AutoTrac) и без системы при сравнительных испытаниях.

Анализ результатов сравнительных испытаний культиватора КВУ-8,8 в агрегате с трактором «John Deere 9420 R» (без системы GPS навигации и автоматического управления) на обработке почвы и внесении удобрений (таблица 1) показывает, что на скорости движения 10,8 км/ч рабочая ширина захвата культиватора составила 8,1 м, глубина обработки – 14,0 см, глубина заделки удобрений – 11,7 см, неравномерность распределения удобрений по ширине внесения – 9,1 %. Производительность агрегата за час основного времени составляла 8,7 га, сменного и эксплуатационного времени – 6,4 га. Коэффициенты использования сменного и эксплуатационного времени – 0,74. За период проведения эксплуатационно-технологической оценки технических отказов не было зафиксировано, поэтому коэффициенты использования сменного и эксплуатационного времени равны. Затраты мощности на передвижение агрегата по полю составляет 268,3 кВт, удельный расход топлива – 11,0 кг/га. Удельные энергозатраты за час основного времени составляют 113,9 МДж/га. Фактический расход удобрений – 196,9 кг/га.

Полученные результаты сравнительных испытаний культиватора для внесения удобрений КВУ-8,8 в агрегате с трактором «John Deere 9420 R» (с системой GPS навигации и автоматического управления) на обработке почвы и внесении удобрений (таблица 1) показывают, что на рабочей скорости движения 10,8 км/ч рабочая ширина захвата составляла 8,6 м.

На данном режиме работы глубина обработки – 14,1 см, глубина заделки удобрений – 11,8 см, неравномерность распределения удобрений по ширине внесения – 9,1%, что соответствует требованиям нормативной документации. Производительность агрегата за час основного времени составляла 9,3 га, сменного и эксплуатационного времени – 7,0 га. Коэффициенты использования сменного и эксплуатационного времени – 0,75. Затраты мощности на передвижение агрегата по полю составляет 268,1 кВт, удельный расход топлива – 10,5 кг/га. Удельные энергозатраты за час основного времени составляют 107,3 МДж/га. Фактический расход удобрений – 188,3 кг/га.

Таблица 1 – Показатели работы культиватора для внесения минеральных удобрений КВУ-8,8 в агрегате с трактором «John Deere 9420 R» оборудованного системой автоматического управления «CommandCenter™ GS 4 поколения» и без системы при сравнительных испытаниях

Показатели	Значения показателей		
	по НД	по данным испытаний	
		без системы	с системой
Дата испытаний	нет данных	28.07-02.07. 20	
Рабочая скорость движения, км/ч	8,0-12,0	10,8	10,8
Конструктивная ширина захвата, м		8,8	
Рабочая ширина захвата, м	нет данных		
Часовой расход топлива, кг/ч	-//-		80,5
Затраты мощности на перемещение, кВт	-//-	193,8	194,0
Производительность за час основного времени, га	нет данных	8,5	9,0
Мощность, потребляемая агрегатом, кВт	-//-	268,3	268,1
Удельные энергозатраты за час основного времени, МДж/га	-//-	113,9	107,3
Эксплуатационные показатели: а) производительность за 1 час времени, га: – основного – сменного – эксплуатационного	нет данных -//- -//-	8,7 6,4 6,4	9,3 7,0 7,0
б) удельный расход топлива, кг/га в) количество обслуживающего персонала: – на агрегате – на вспомогательных операциях	-//- 1 нет данных	11,0 1 2 заправщика	10,5 1 2 заправщика
Эксплуатационно-технологические коэффициенты: – надежность технологического процесса – использования сменного времени – использования эксплуатационного времени	нет данных -//- -//-	1,0 0,74 0,74	1,0 0,75 0,75
Показатели качества технологического процесса: – заданная доза внесения удобрений, кг/га – фактическая, кг/га	30,0-380,0 нет данных	180,0 196,9	180,0 188,3
Глубина обработки почвы, см	8-18	14,0	14,1
– среднеквадратическое отклонение, ± см	не более 1,5	1,3	1,3
Глубина заделки удобрений, см	-//-	11,7	11,8
– среднеквадратическое отклонение, ± см	-//-	1,4	1,5
Неравномерность распределения удобрений по ширине внесения, %	≤ 10	9,1	

Применение системы GPS навигации и автоматического управления на культивации пара и внесении удобрений обеспечило увеличение рабочей ширины захвата на 0,5 м или на 5,8 %. При этом производительность культиватора КВУ-8,8 в агрегате с трактором «John Deere 9420 R» за один час сменного и эксплуатационного времени увеличилась на 0,6 га, что составляет 9,3 %. Использование системы GPS навигации и автоматического управления на обработке почвы и внесении удобрений приводит к снижению удельных энергозатрат на 5,8%. Удельный расход

топлива снижается на 0,5 кг/га (4,5 %), а минеральных удобрений на 8,6 кг/га (4,5 %). Система GPS навигации и автоматического управления не оказывает влияние на агротехнические показатели культиватора КВУ-8,8.

На основании полученных данных проведен расчет экономической эффективности применения культиватора для внесения удобрений КВУ-8,8 с туковым бункером «John Deere 1910» в агрегате с трактором «John Deere 9420R» оборудованного системой GPS навигации и автоматического управления и без системы. Показатели сравнительной экономической эффективности культиватора КВУ-8,8 в агрегате с трактором «John Deere 9420 R» с использованием системы GPS навигации и автоматического вождения и без системы приведены в таблице 2.

Анализ полученных результатов показал, что применение культиватора КВУ-8,8 на обработке почвы и внесении минеральных удобрений способствует снижению совокупные затраты денежных средств на 20,5%, затрат труда на 8,3%, расхода топлива и минеральных удобрений на 4,5%. Годовая экономия совокупных затрат денежных средств составляет 6 335 тыс. тенге (1 117 тыс. руб.).

Выводы и рекомендации (Conclusions and recommendations)

Использование системы GPS навигации и автоматического управления на широкозахватных агрегатах способствует увеличению рабочей ширины захвата и как следствие увеличению производительности и снижению совокупных затрат денежных средств.

Система GPS навигации и автоматического управления не оказывает влияние на агротехнические показатели культиватора КВУ-8,8.

Полученные результаты сравнительных испытаний могут быть использованы в практической работе инженерных служб сельскохозяйственных предприятий при проведении полевых работ, а так же при выборе и приобретении систем точного земледелия.

Таблица 2 – Показатели сравнительной экономической эффективности культиватора КВУ-8,8 в агрегате с трактором «John Deere 9420 R» с использованием системы GPS навигации и автоматического вождения и без системы

Показатели	Единица измерения	Значение показателей		Индекс изменения Показа теля, %
		без системы	с системой	
Совокупные затраты денежных средств	тг/га	22040	17515	- 20,5
Затраты труда	чел.-ч/га	0,156	0,143	- 8,3
Удельный расход топлива	кг/га	11,0	10,5	- 4,5
Годовая экономия совокупных затрат денежных средств от эксплуатации машины	тыс. тг	–	6 335,0	
Капитальные вложения	млн. тг	180,0	189,8	5,4
Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений	лет	–	1,5	

Библиографический список

1. От точного земледелия до «умных ферм»: [Электронный ресурс]. – Матрица.kz: Новостной портал. <http://www.matritca.kz> – Загл. с экрана – Текст. Изображение: электронные.
2. Garcia, L.C. and oth. Seeding maneuvers using navigation system / L.C. Garcia, R.W. van der Meer, N.M. de Souza, A. Justino, P.H.W. Neto // Engenharia Agricola. – 2016. – Vol. 36 No.2. – С. 361-366.
3. Kelc, D. and oth. Reduction of environmental pollution by using RTK-navigation in soil cultivation / D. Kelc, D. Stajanko, P. Berk, J. Rakun, P. Vindis, M. Lakota // Int J Agric & Biol Eng. – 2019. – Vol. 12 No.5. – С. 173-178.
4. Якушев, В. П. Информационное обеспечение точного земледелия: монография / В. П. Якушев, В. В. Якушев. – Санкт-Петербург: Изд-во ПИЯФ РАН, 2007. – 384 с.
5. Якушев, В. В. Информационное обеспечение точного земледелия: монография / В. В. Якушев. – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2016. – 364 с.
6. Keskin M. et. al. A review of yield monitoring instrumentation applied to the combine harvesters for precision agriculture purposes // M. Keskin, Y.J. Han, R.B. Dodd – 7th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy, Adana, 1999. – pp.426–431.
7. Barocco, R. Yield Mapping Hardware Components for Grains and Cotton Using On-the-Go Monitoring Systems / R. Barocco – The Department of Agricultural and Biological Engineering, UF/IFAS Extension, 2017. – 12 p.
8. Реализация проекта по разработке методики использования средств точного земледелия для мониторинга сельскохозяйственных угодий Самарской области: отчет по выполнению научно-технической работы (промежуточный) / Фонд «Сельскохозяйственного обучения»; рук. Цирулев А.П.; исполн.: Боровкова А.С., Иксанов М.Р. [и др.]. – Кинель, 2008. – 68 с.
9. Fulton, J.P. Yield monitoring and mapping / J.P. Fulton, A. Brooke, A. Winstead, D. Mullenix – Precision Agriculture Series – Timely Information. Agriculture, Natural Resources & Forestry, Alabama Cooperative System, 2010. – 2 p.
10. ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. – Введ. 2013-01-01. - М.: ФГУП «Стандартинформ», 2013. – 23 с.
11. ГОСТ 33687-2015 Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний. – Введ. 2017-07-01. – М. ФГУП «Стандартинформ», 2016. – 41 с.
12. ГОСТ 28714-2007. Машины для внесения твердых минеральных удобрений. Методы испытаний. – Введ. 2009-01-01. – М.: Стандартинформ, 2008. – 69 с.
13. ГОСТ Р 52777-2007. Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки. – Введ. 2007-11-13.– М.: Стандартинформ, 2007. – 7 с.

14. ГОСТ 24055-88. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки. – Введ. 1989-01-01. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1989. – 15 с.
15. Блохин, В.Г. Современный эксперимент: подготовка, проведение, анализ результатов / В.Г. Блохин, О.П. Глудкин, А.И. Гуров, М.А. Ханин – М.: Радио и связь. – 1997. – 232 с.
16. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов – М.: Агропромиздат. – 1985. – 351 с.
17. СТ РК ГОСТ Р 53056-2010. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – Введ. 2010-10-04. – Астана: Комитет по техническому регулированию и метрологии Министерства индустрии и торговли республики Казахстан, 2010. – 26 с.

References

1. From precision agriculture to "smart farms": [Electronic resource]. - The matrix.kz: News portal. <http://www.matritca.kz> -Title from the screen-Text. Image: electronic.
2. Garcia, L.C. and oth. Seeding maneuvers using navigation system / L.C. Garcia, R.W. van der Meer, N.M. de Souza, A. Justino, P.H.W. Neto // Engenharia Agricola. – 2016. – Vol. 36 No.2. – С. 361-366.
3. Kelc, D. and oth. Reduction of environmental pollution by using RTK-navigation in soil cultivation / D. Kelc, D. Stajnko, P. Berk, J. Rakun, P. Vindis, M. Lakota // Int J Agric & Biol Eng. – 2019. – Vol. 12 No.5. – С. 173-178.
4. Yakushev, V. P. Information support of precision agriculture: monograph / V. P. Yakushev, V. V. Yakushev. - Saint-Petersburg: Publishing House of the Russian Academy of Sciences, 2007. - 384 p.
5. Yakushev, V. V. Information support of precision agriculture: monograph / V. V. Yakushev. - St. Petersburg: FGBNU AFI, 2016 – - 364 p.
6. Keskin M. et. al. A review of yield monitoring instrumentation applied to the combine harvesters for precision agriculture purposes // M. Keskin, Y.J. Han, R.B. Dodd – 7th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy, Adana, 1999. – pp.426–431.
7. Barocco, R. Yield Mapping Hardware Components for Grains and Cotton Using On-the-Go Monitoring Systems / R. Barocco – The Department of Agricultural and Biological Engineering, UF/IFAS Extension, 2017. – 12 p.
8. Implementation of the project on the development of a methodology for the use of precision land tools for monitoring agricultural land in the Samara region: report on the implementation of scientific and technical work (interim) / Fund "Agricultural Education"; ruk. Tsirolev A. P.; performed by: Borovkova A. S., Iksanov M. R. [et al.]. – Kinel, 2008. - 68 p.
9. Fulton, J.P. Yield monitoring and mapping / J.P. Fulton, A. Brooke, A. Winstead, D. Mullenix – Precision Agriculture Series – Timely Information. Agriculture, Natural Resources & Forestry, Alabama Cooperative System, 2010. – 20 p.

10. GOST 20915-2011. Testing of agricultural machinery. Methods for determining test conditions. - Introduction. 2013-01-01. - Moscow: FSUE "Standartinform", 2013. - 23 p.
11. GOST 33687-2015 Machines and tools for surface treatment of the soil. Test methods. - Introduction. 2017-07-01. - M. FSUE "Standartinform", 2016. - 41 p.
12. GOST 28714-2007. Machine for the application of solid mineral fertilizers. Test methods. - Introduction. 2009-01-01. - Moscow: Standartinform, 2008. - 69 p.
13. GOST R 52777-2007. Agricultural machinery. Methods of energy assessment. - Introduction. 2007-11-13. - Moscow: Standartinform, 2007. - 7 p.
14. GOST 24055-88. Agricultural machinery. Methods of operational and technological assessment. - Introduction 1989-01-01. - Moscow: State Committee of the USSR on Standards, 1989. - 15 p.
15. Blokhin, V. G. Modern experiment: preparation, conduct, analysis of results / V. G. Blokhin, O. P. Gludkin, A. I. Gurov, M. A. Khanin-M.: Radio and Communication. - 1997. - 232 p.
16. Dospekhov, B. A. Methodology of field experience / B. A. Dospekhov-M.: Agropromizdat. - 1985. - 351 p.
17. ST RK GOST R 53056-2010. Agricultural machinery. Methods of economic assessment. - Introduction. 2010-10-04. - Astana: Committee for Technical Regulation and Metrology of the Ministry of Industry and Trade of the Republic of Kazakhstan, 2010. - 26 p.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДАЧИ ЗЕРНА ПРИ СЕПАРАЦИИ ПЛАНЕТАРНЫМ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ РЕШЕТОМ С КРУГЛЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ

Н.М. Иванов^{1*}, А.А. Сухопаров¹, С.Е. Захаров¹

¹Сибирский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук, г. Новосибирск, Россия.

*e-mail: sibime@sfcsa.ru

Аннотация. Разработана математическая модель движения зерновых частиц по цилиндрическому решету, совершающему планетарное вращение, при просеивании его в отверстие. Получены дифференциальные уравнения движения в отверстии решета с учетом конструктивно-режимных параметров решета, скорости перемещения зерновой частицы по сепарирующей поверхности. Определены условия прохождения зерновой частицы в отверстие решета с учетом максимальной высоты её положения над поверхностью. Выявлены основные зависимости прохождения длинных частиц в круглые отверстия от конструктивных, кинематических и технологических параметров процесса сепарации на цилиндрических планетарных решетках. Так максимальная подача зерна при сепарации зерновок сквозь одно отверстие достигается при 450 оборотах решета. Определен характер изменения скорости при перемещении зерновки над отверстием. С увеличением общего давления зерна на поверхность решета (с учетом параметров вращения) до $8 \text{ кг} \cdot \text{м}/\text{с}^2$ подача зерна увеличивается с 0,15 до $8,5 \text{ кг} \cdot \text{ч}$.

Ключевые слова: центробежное решето, сепарация, параметры, математическая модель, зерновая частица, движение по решету, планетарное вращение.

DEFINITION OF FEED GRAIN BY SEPARATION OF THE PLANETARY CYLINDRICAL SIEVE WITH ROUND HOLES

Ivanov N.M.1 *, Sukhoparov A. A.1, Zakharov S. E.1

¹Siberian research Institute of mechanization and electrification of agriculture SFNCE wounds 630501, Russia, Novosibirsk region, Krasnoobsk

*e-mail: sibime@ngs.ru

Abstract. The mathematical model of movement of grain particles in the cylindrical sieve, making planetary rotation, in sifting it into the hole. The differential equations of motion in the hole of the sieve subject to the constructive-regime parameters of the sieve, the speed of movement of the grain particles at the separating surface. The conditions for the passage of grain particles in the hole of the sieve with the maximum height of its position above the surface. Identified major dependencies of the passage of the long particles into round holes of the design, kinematic and technological parameters of the separation process on the sieves of the cylindrical planetary. So the maximum flow of grains with the separation of the kernels through one hole is achieved at 450 rpm sieve. The character changes speed when moving the grains above the hole. Increase the total pressure of the grain on the surface of the sieve (including rotation) up to 8 kg*m/S² the supply of corn increases from 0.15 to 8.5 kg*h.

Keywords: centrifugal sieve, separation, parameters, mathematical model, grain particle, movement along the sieve, the planetary rotation.

Введение (Introduction)

Эффективность послеуборочной обработки зерна в значительной степени определяется показателями машин предварительной очистки. Особенность предварительной очистки – высокая интенсивность технологического процесса и изменчивость технологических свойств обрабатываемого зернового вороха. Одним из эффективных способов очистки зернового вороха является применение сложных инерционно-гравитационных силовых полей, реализованных в горизонтальных цилиндрических решетках, совершающих планетарное вращение. С точки зрения выполнения условий необходимых для просеивания мелких частиц, при сепарации зерна, частица должна контактировать с поверхностью решета, находиться над отверстием, должна занять относительно отверстия строго определенное положение, находясь в котором она могла бы попасть в отверстие. Размер частиц, по которому происходит разделение, должен быть меньше рабочего размера отверстия, а время нахождения частицы над отверстием должно быть достаточным для выделения ее в отверстие. Интенсификация выполнения перечисленных условий, необходимых для протекания процесса сепарации, является актуальной задачей (1,2,3).

Для уменьшения времени прохода зерна сквозь отверстия сепарирующей поверхности и, следовательно, увеличения производительности решета, возникла задача получить законы относительного движения зерновых частиц в отверстие решета, совершающего планетарное вращение, в зависимости от его физико-механических свойств и конструктивно-кинематических параметров центробежного сепаратора

Целью работы является разработка математической модели движения зерновых частиц в отверстие решета, при сепарировании на цилиндрических решетках с горизонтальной осью, совершающих планетарное вращение.

Методология и методы исследования (Methods)

При разработке математической модели движения зерна по решетке и просеивания проходных частиц через отверстия решетки используем модель движения отдельной частицы сферической формы с постоянной относительной скоростью по поверхности решетки.

При разработке модели приняты допущения:

- мелкие фракции вороха – частицы сферической формы с эквивалентным диаметром;
- решетку – абсолютно жесткое тело с шероховатой рабочей поверхностью совершает планетарное движение вокруг горизонтальной оси;
- размер и форма отверстий на решетке одинаковая.
- сопротивление среды пропорционально скорости ($f(V) = kV$);
- величина общей центробежной силы $F_{ц}$ принята постоянной $F_{ц} = \text{const}$ [4-6].

Расчетная схема движения по решетке и прохождения сферической частицы через отверстие решетки представлена на рисунке 1 [2].

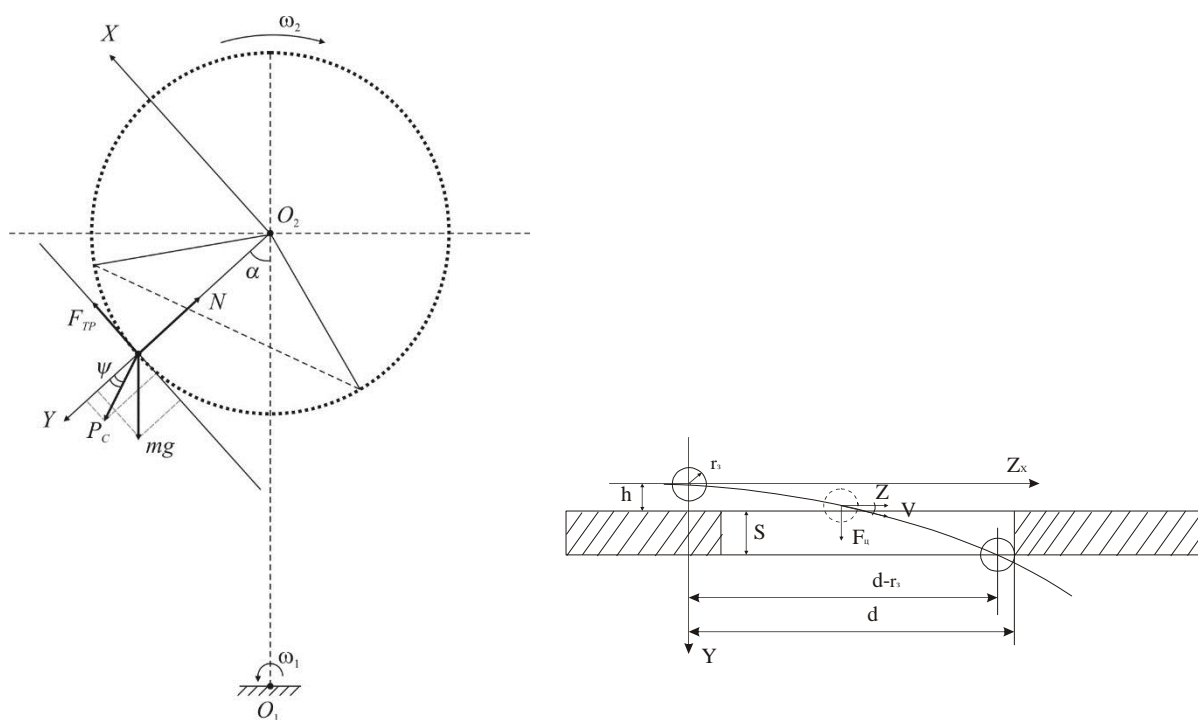


Рисунок 1. Расчетная схема движения по решетке и прохождения сферической частицы через отверстие решетки

При переходе центра тяжести частицы за край перемычки возможны два варианта движения: безотрывное от перемычки соскальзывание в отверстие и полет частицы над отверстием. При полете всей частицы над отверстием частица просеивается или ударяется о противоположный край

отверстия. Поэтому существенное значение имеет скорость прохождения зерновой частицы в отверстие решета [7,8].

Результаты исследований (The results of the research)

Дифференциальные уравнения движения зерновой частицы в пределах отверстия имеют вид:

$$\begin{cases} mz'' = -kV \cdot \cos \beta \\ my'' = F_0 + kV \cdot \sin \beta \end{cases} \quad (1)$$

V - скорость частицы, м/с,

β – угол, образуемый скоростью V и осью OZ .

Из уравнения (1) получим :

$$\begin{cases} V \cdot \cos \beta = Z' \\ V \cdot \sin \beta = y' \end{cases} \quad (2)$$

перепишем (1) с учетом (2):

$$\begin{cases} mz'' = -kz' \\ my'' = F_0 + ky' \end{cases}$$

Где

$$F_0 = m(\omega_P - \omega_B)^2 (R_B + R_P \cdot \cos \varphi_P) - mg \cdot \cos \varphi_P$$

$$\frac{d(mz'' + kz')}{dt} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{d(my'' + ky')}{dt} = F_0 = m[(\omega_P - \omega_B)^2 (R_B + R_P \cdot \cos \varphi_P) - g \cdot \cos \varphi_P]$$

Примем $[(\omega_P - \omega_B)^2 (R_B + R_P \cdot \cos \varphi_P) - g \cdot \cos \varphi_P] = P$

После интегрирования (с условием, что $F_0 = \text{const}$):

$$\begin{aligned} mz' + kz &= c' \\ my' + ky &= mPt + c'' \end{aligned} \quad (4)$$

Где c' и c'' - постоянные интегрирования.

Если в начале движения (в начале отверстия - исходное положение частицы) при $t = 0$, $z_0 = 0$

, $y_0 = 0$, $z_0' = V_0 = V_Z$, $y_0' = 0$, тогда подставив в (4):

$$\begin{cases} c' = mV_0 \\ c'' = 0 \end{cases} \quad (5)$$

С учетом (5) перепишем уравнение (4)

$$\begin{cases} mz' + kz = mV_0 \\ my' + ky = mPt \end{cases} \quad (6)$$

Разделяя переменные в уравнении (6) с учетом (3) определяем t:

$$dt = \frac{dz}{V_0 - k_0 z}, \text{ где } k_0 = \frac{k}{m} \quad (7)$$

После интегрирования уравнения (7)

$$t = -\frac{1}{k_0} \ln(V_0 - k_0 z) + c_2' \quad (8)$$

Где c_2' - постоянная интегрирования.

Поскольку $t = 0$, $z_0 = 0$, тогда $c_2' = \frac{1}{k_0} \ln V_0$

Уравнение (8) после преобразования примет вид:

$$t = \frac{1}{k_0} \ln \frac{V_0}{V_0 - k_0 z} \quad \text{или}$$

$$\frac{V_0}{V_0 - k_0 z} = e^{k_0 t} \quad \text{отсюда} \quad z = \frac{1}{k_0} \frac{V_0 (e^{k_0 t} - 1)}{e^{k_0 t}} \quad (9)$$

Запишем второе уравнение (6)

$$my' + ky = mPt, \text{ поделим на } m (P^1 = mP)$$

$$y' + k_0 y = Pt$$

Это уравнение решим методом замены $y = uV$

$$u'V + uV' + k_0 uV = Pt, \text{ при } P = \text{const}$$

$$V' + k_0 V = 0$$

$$\frac{dV}{dt} = -k_0 V; \quad V = e^{-k_0 t}; \quad u' e^{-k_0 t} = Pt$$

$$du = Pt \frac{1}{k_0} e^{k_0 t} - \frac{P}{k_0} \int e^{k_0 t} dt$$

$$u = \frac{Pt}{k_0} e^{k_0 t} - \frac{P}{k_0^2} e^{k_0 t} + c_2'' \quad (10)$$

С учетом того что $y = uV$, общее решение уравнения (10) имеет вид

$$y = \frac{Pt}{k_0} - \frac{P}{k_0^2} + c_2'' \cdot e^{-k_0 t} \quad (11)$$

c_2'' - постоянная интегрирования, при начальных условиях $t = 0$, $y_0 = 0$, тогда $c_2'' = \frac{P}{k_0^2}$

Подставим значение c_2'' в (11) и получим

$$y = \frac{Pt}{k_0} - \frac{P}{k_0^2} + \frac{P}{k_0^2} e^{-k_0 t} \quad \text{или} \quad y = \frac{P}{k_0} \left(t + \frac{1}{k_0} e^{-k_0 t} \right) - \frac{P}{k_0^2} \quad (12)$$

Уравнение траектории зерновки в декартовой системе координат OYZ, получим, подставив значение t (8) в уравнение (12), тогда получим

$$y = \frac{P}{k_0} \left[\frac{1}{k_0} \ln \frac{V_0}{V_0 - k_0 z} - \frac{1}{k_0} e^{-k_0 \frac{1}{k_0} \ln \frac{V_0}{V_0 - k_0 z}} \right] - \frac{P}{k_0^2} = \frac{P}{k_0} \left[\ln \frac{V_0}{V_0 - k_0 z} - \frac{V_0 - k_0 z}{V_0} \right] - \frac{P}{k_0^2} \quad (13)$$

Определим из рисунка (1) $z = d - r_3$, $y = h$ ($h_{\min} = r_3$) условие прохода зерновой частицы сквозь отверстие решета. Максимальная высота положения зерновой частицы над поверхностью решета, когда она успеет пройти сквозь отверстие решета, определим из (13)

$$h_{\max} = \frac{\left[(\omega_P - \omega_B)^2 (R_B + R_P \cdot \cos \varphi_P) - g \cdot \cos \varphi_P \right]}{k_0} \left[\ln \frac{V_0}{V_0 - k_0 (d - r_3)} - \frac{V_0 - k_0 (d - r_3)}{V_0} \right] - \frac{\left[(\omega_P - \omega_B)^2 (R_B + R_P \cdot \cos \varphi_P) - g \cdot \cos \varphi_P \right]}{k_0^2} S \quad (14)$$

S – толщина полотна решета

k_0 - коэффициент сопротивления среды $k_0 = \frac{k}{m}$

Скорость движения зерновой частицы при проходе сквозь отверстие решета запишем в виде (9):

$$V = \sqrt{V_{ZX}^2 + V_Y^2} \quad \text{из (5) и (7)} \quad V_Z = z' = \left(\frac{V_0}{k_0} - \frac{V_0}{k_0} e^{-k_0 t} \right)' = V_0 e^{-k_0 t}$$

$V_X = \omega_P R_P$, т.к. зерно перемещается по поверхности по спирали под углом α , тогда скорость в плоскости ZX

$$V_{XZ} = \sqrt{V_X^2 + V_Z^2} = \sqrt{V_0^2 e^{-2k_0 t} + (R_P \omega_P)^2}$$

$$V_Y = y' = \frac{P}{k_0} (1 - e^{-k_0 t}) = \frac{[(\omega_P - \omega_B)^2 (R_B + R_P \cdot \cos \varphi_P) - g \cdot \cos \varphi_P] (1 - e^{-k_0 t})}{k_0}$$

$$V = \sqrt{V_0^2 e^{-2k_0 t} + (R_P \omega_P)^2 + \frac{P^2}{k_0^2} (1 - e^{-k_0 t})^2} =$$

$$\sqrt{V_0^2 e^{-2k_0 t} + (R_P \omega_P)^2 + \frac{[(\omega_P - \omega_B)^2 (R_B + R_P \cdot \cos \varphi_P) - g \cdot \cos \varphi_P]^2 (1 - e^{-k_0 t})^2}{k_0^2}} \quad (15)$$

Для определения характера ее изменения при перемещении зерновки используем уравнение окружности (10): $x^2 + y^2 = R^2$

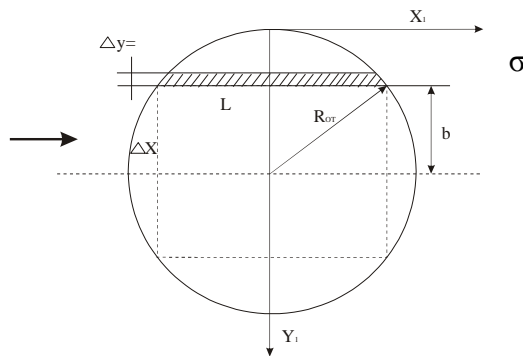


Рис. 2. Отверстие решета

Для прохождения зерновки в круглое отверстие, при выделении крупных примесей. L значение его длины (L при различном положении поперечного сечения различна, т.е. переменна).

С учетом размеров зерновой частицы (r_3) то начало и конец её движения в отверстие будет происходить с смещением относительно границ отверстия.

Условный радиус отверстия тогда запишем:

$$R_Y = (R_{OT} - r_3) = \frac{d_{OTB} - d_3}{2}$$

d_{OT} - диаметр отверстия решета, м;

d_3 - диаметр зерновой частицы, м;

Выделим малый участок отверстия решета $\Delta y = \sigma$ и рассмотрим его движение вдоль оси OY_1 .

Длина участка L получается:

$$L = 2(R_{OT} - \Delta x)$$

Где Δx - путь, пройденный частицей от начала отверстия до выбранного сечения. Выразим Δx через время t . С учетом того, что перемещение поверхности решета (его вращение) определяется выражением $\omega_P R_{OT} t$

$$L = 2(R_{OT} - \Delta x) = 2(R_{OT} - \omega_P R_0 \frac{t}{2}) \quad (16)$$

Ширина сечения будет определяться из выражения:

$$b = \sqrt{R_Y^2 - L^2}$$

$$2b = \sqrt{4R_Y^2 - L^2} = \sqrt{4R_Y^2 - 4(R_Y - R_0 \frac{\omega_P t}{2})^2} = 2\sqrt{R_Y R_0 \omega_P t - R_0^2 \frac{\omega_P^2 t^2}{4}}$$

Максимальное время контакта частицы с отверстием, сек

$$t = \frac{L}{V} = \frac{(d_{OTB} - d_3)}{R_0 t}, \text{ с учетом } R_Y \text{ запишем}$$

$$t = \frac{2(R_Y - R_0 \frac{\omega_P t}{2})}{R_0 \omega_P} = \frac{2R_Y}{R_0 \omega_P} - \frac{1}{2} = \frac{4R_Y}{3R_0 \omega_P} \quad (17)$$

Подачу зерна при сепарации зерновок сквозь одно отверстие за время t получим из выражения:

$$g_{OT} = \int_{t_0}^{t_1} h \cdot b \cdot \rho \cdot k_{II} \quad (18)$$

Где h – высота тах перемещения зерновой частицы по оси OY;

b – ширина сечения отверстия решета, м;

ρ- удельная плотность (вес) зерна, кг/м³;

k_{II} – коэффициент подачи (подпора) зерновых частиц на отверстие.

$$g_{OT} = \int_{t_0}^{t_1} \left[2\sqrt{R_Y R_0 \omega_P t - R_0^2 \frac{\omega_P^2 t^2}{4}} \cdot \left(\frac{P}{k_0} \left(\ln \frac{V_0}{V_0 - k_0(d - r_3)} - \frac{V_{0Y} - k_0(d - r_3)}{V_{0Y}} \right) - S \right) \cdot \rho \cdot k_{II} \right] dt$$

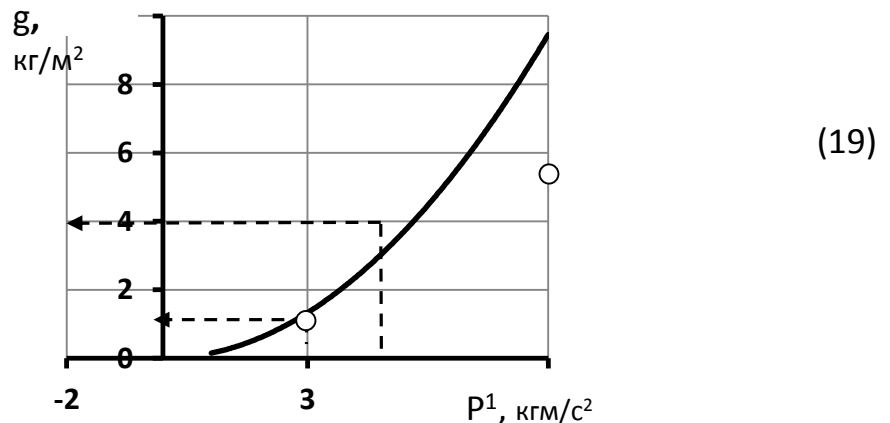


Рисунок 3. Влияние давления зернового слоя на удельную просеваемость отверстия решета

Определен характер изменения скорости при перемещении зерновки над отверстием. Из рис. 3 вытекает, что с увеличением общего давления зерна на поверхность решета (с учетом параметров вращения) до $8 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{с}^2$ подача зерна увеличивается с 0,15 до 8,5 $\text{кг}\cdot\text{ч}$. Следовательно интенсивность сепарации по длине решета будет различная, достигая максимальных значений в начале решета, где наибольшая величина зернового слоя.

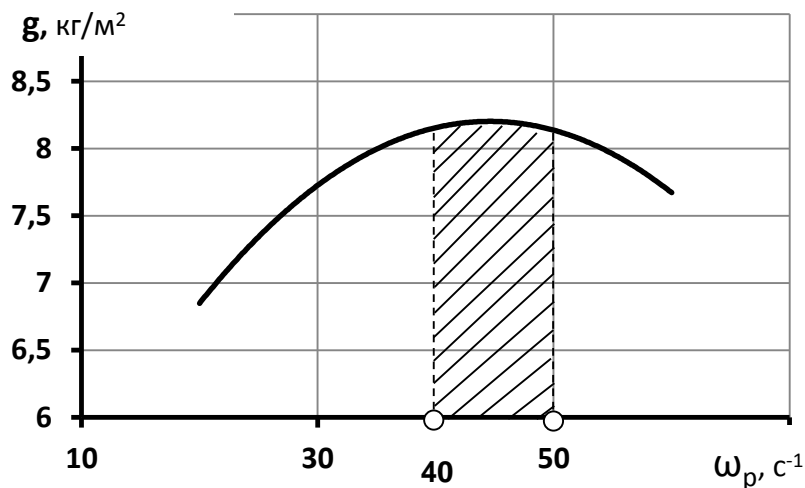


Рисунок 4. Влияние частоты вращения решета на удельную просеваемость отверстия решета

Система уравнений (14...19) описывает движение частицы зернового материала в отверстие решета, планетарно вращающейся вокруг горизонтальной оси с постоянной угловой скоростью ω_p . Эта система связывает конструктивные и кинематические параметры решета с физико-механическими свойствами зерна и может служить математической моделью при исследовании процесса центробежного сепарирования зерновых материалов и выборе оптимальных параметров сепараторов.

Выводы и рекомендации (Conclusions and recommendations)

1. Система уравнений (14...19) описывает движение частицы зернового материала в отверстие решета, планетарно вращающейся вокруг горизонтальной оси с постоянной угловой скоростью ω_p . Эта система связывает конструктивные и кинематические параметры решета с физико-механическими свойствами зерна и может служить математической моделью при исследовании процесса центробежного сепарирования зерновых материалов и выборе оптимальных параметров сепараторов.

2. Максимальная подача зерна при сепарации зерновок сквозь одно отверстие достигается при частоте вращения решета $\omega_p = 40 \dots 50 \text{ с}^{-1}$.

Библиографический список

1. Чепурин Г.Е., Иванов Н.М. Научно-техническое обеспечение аграрного комплекса Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2014. – №5. – С. 93-100.

2. Докин Б.Д., Иванов Н.М., Ёлкин О.В., Блынский Ю.Н., Мартынова В.Л. Методические подходы к выбору технологий и технических средств, при производстве зерна в условиях Сибири // «Сибирский вестник сельскохозяйственной науки» 2016, №2 С.105-109
3. Иванов Н.М., Торопов В.Р., Сухопаров А.А. Предварительная очистка зерна в цилиндрическом колосовом решете с винтовым распределителем, материалы междунар. науч.-технич. конф. (Москва, 17-18 сентября 2013г.). – Москва, 2013, – Ч.2. – с 86-88(393).
4. Иванов Н.М., Торопов В.Р., Захаров С.Е. Патент на изобретение № 2274500 2006 г.
5. Дринча В.М. Исследования вибросепараторов с плоскими цилиндрическими деками // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2001. - №5. – С. 6 – 10.
6. Торопов В.Р. Исследование технологического процесса планетарного решетного сепаратора зерна с целью определения его параметров и режимов работы: Дис. канд. техн. наук.- Омск, 1974.- 157с.
7. Фетисов П.А. Движение материальной частицы в цилиндре центробежной сортировки // Тр. Омского с.-х. ин-т.- 1968.- т.78.- с.26-29.
8. Черняков В.И. Обоснование технологической схемы, конструктивных параметров и режимов работы планетарного триера: Дис. канд. техн. наук.- Омск, 1974.- 212с.
9. Иванов Н.М. Параметры движения зерна по делительному решету // Совершенствование технологии и технических средств послеуборочной обработки зерна: Сб. науч. тр. / ВАСХНИЛ. Сиб.отд.-ние. СибИМЭ.-Новосибирск, 1990.-С.44-48.
10. Резниченко М.Я Вопросы теории цилиндрических барабанов зерноочистительных машин // ЦБТИ ВИСХОМ.- 1958. – Вып. 18.- С.56.

References

1. Chepurin G.E., Ivanov N.M. Scientific and technical providing an agrarian complex of Siberia // Siberian messenger of agricultural science. 2014. – No. 5. – Page 93-100.
2. Dokin B.D., Ivanov N.M., Yolkin O.V., Blynsky Y.N., Martynova V.L. Methodical approaches to the choice of technologies and technical means, by production of grain in the conditions of Siberia // "The Siberian messenger of agricultural science" 2016, No. 2 of Page 105-109
3. Ivanov N.M., Toropov V.R., Sukhoparov A.A. Preliminary purification of grain in a cylindrical kolosovy sieve with the screw distributor, materials of the scientific and practical conference, Moscow, September 17-18, 2013. – Moscow, 2013, – Ch.2. – with 86-88(393).
4. Ivanov N.M., Toropov V.R., Zakharov S. E. Patent for an invention No. 2274500, 2006.
5. Drincha V.M. Researches of vibroseparators with flat cylindrical sound boards // Mechanization and electrification of agriculture. 2001. No.5. Page 6-10.

6. Toropov V.R. A research of technological process of a planetary separator of grain for the purpose of determination of his parameters and operating modes. Yew. Cand.Tech.Sci. - Omsk, 1974. - 157 pages.
7. Fetisov P.A. The movement of a material particle in the cylinder of centrifugal sorting // Tr. Omsk agricultural in-t. - 1968.- t.78. - page 26-29.
8. Chernyakov V.I. Justification of the technological scheme, design data and operating modes of the planetary grain-cleaning machine: Yew. Cand.Tech.Sci. - Omsk, 1974. - 212 pages.
9. Ivanov N.M. Parameters of the movement of grain on a delitelny sieve//Improvement of technology and technical means of postharvest processing of grain: Sb.nauch.tr / VASHNIL. Sib. otd-ny. СибИМЭ. - Novosibirsk, 1990. - Page 44-48.
10. Reznichenko M. Y. Questions of the theory of cylindrical grain drums // TsBTI VISHOM. - 1958. – Issue 18. - Page 56.

**СТРУКТУРНО-КОМПОЗИЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАКРОСТРУКТУР
АГРОНОМИЧЕСКОЙ ПОЧВЫ АККУМУЛИРУЮЩЕЙ ВЛАГУ В ПОНЯТИЯХ ФИЗИКО-
ХИМИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ**

П.Н. Шорохов¹, Ю.В. Панков^{1*}, Л.А. Новопашин¹, А.А. Садов¹, Бердюгина О.В.¹

¹ ФГБОУ ВО Уральский ГАУ, Россия, Екатеринбург.

* E-mail: pankov334@gmail.com

Аннотация. Актуальность работы заключается в изучении влияния влажности, на состояние почвенной структуры и ее продуктивности. Структура рассматривается, как система определенным образом организованных элементарных почвенных частиц и их агрегатов во взаимодействии с жидкой фазой почвы.

Возникает необходимость использования в почвоведении достижений механики дисперсных систем, и это приводит к развитию нового направления изучения структуры почвы – почвенной реологии. Реологические свойства почв, являясь функциями структуры, относятся к числу структурно-функциональных свойств почвы и отражают взаимодействие двух фаз: твердой и жидкой. Структурные исследования позволяют вскрыть внутреннюю природу устойчивых свойств почв, получить представление о преобладающих типах структурных связей твердых и жидкостных компонентов, участвующих в образовании агрегатов почвы, и дать интегральную оценку их устойчивости. Различными авторами проводились исследования, направленные на изучение физико-механического поведения почв по генетическим горизонтам при отдельных значениях влажности. Однако остается недостаточно ясной картина поведения влаги аккумулирующей структурными компонентами почв при различном сельскохозяйственном использовании.

Физико-механические исследования в почвоведении неоднозначны из-за сложности объекта – почв и большого разнообразия типов, их поведения под влиянием механической нагрузки. Наиболее близкие исследования проводятся в других областях науки: грунтоведении и коллоидной химии. Использование методов грунтоведения и механики грунтов позволяет рассматривать объекты исследования как гетерогенные тела, не достаточно продуктивно из-за большой значимости процессов, происходящих при взаимодействии всех фаз почвы, в том числе и на микроуровне. С другой стороны, как объект коллоидной химии, почва является слишком сложной и чрезмерно многокомпонентной системой. Данные исследования призваны продолжить поиск

граней соприкосновения этих научных направлений и использовать их для описания сохранения влаги, производительного и деформационного поведения почв.

Ключевые слова: почва, система, модель, структура, твердые компоненты, физические свойства, влага, устойчивость, границы, твердое и вода, объем, исключенный, свободный, анализ.

STRUCTURAL-COMPOSITIONAL MODELING OF MACROSTRUCTURES OF AGRONOMIC SOIL OF ACCUMULATING MOISTURE IN THE CONCEPTS OF PHYSICAL AND CHEMICAL MECHANICS

Shorokhov P.N.¹, Pankov Yu.V.^{1*}, Novopashin L.A.¹, Sadov A.A.¹, Berdygina O.V.¹

¹ FSBEI HE Ural SAU, Russia, Yekaterinburg.

* E-mail: pankov334@gmail.com

Abstract. The relevance of the work lies in the study of the effect of moisture on the state of the soil structure and its productivity. The structure is considered as a system of elementary soil particles and their aggregates organized in a certain way in interaction with the liquid phase of the soil.

It becomes necessary to use the achievements of the mechanics of dispersed systems in soil science, and this leads to the development of a new direction in the study of soil structure - soil rheology. The rheological properties of soils, being functions of the structure, are among the structural and functional properties of the soil and reflect the interaction of two phases: solid and liquid. Structural studies make it possible to reveal the internal nature of the stable properties of soils, to get an idea of the prevailing types of structural bonds of solid and liquid components involved in the formation of soil aggregates, and to give an integral assessment of their stability. Various authors have carried out studies aimed at studying the physical and mechanical behavior of soils along genetic horizons at individual values of moisture content. However, the picture of the behavior of moisture accumulating structural components of soils under different agricultural uses remains insufficiently clear.

Physical and mechanical studies in soil science are ambiguous due to the complexity of the object - soils and a wide variety of types, their behavior under the influence of mechanical stress. The closest research is carried out in other fields of science: soil science and colloidal chemistry. The use of methods of soil science and soil mechanics makes it possible to consider the objects of study as heterogeneous bodies, not productive enough due to the great importance of the processes occurring during the interaction of all phases of the soil, including at the microlevel. On the other hand, as an object of colloidal chemistry, soil is too complex and overly multicomponent system. These studies are intended to continue the search for common ground between these scientific areas and use them to describe the conservation of moisture, productive and deformation behavior of soils.

Keywords: soil, system, model, structure, solid components, physical properties, moisture, stability, boundaries, solid and water, volume, excluded, free, analysis.

Постановка проблемы (Introduction)

В современной земледелии одно из ведущих мест в сохранении и увеличении плодородия почвы занимает рациональная система обработки почвы, создающая условия для накопления влаги. Наиболее спорным моментом является вопрос, как глубина и способы основной обработки почвы влияют на ее плодородие, т. е. на агрофизические, агрохимические свойства, биологическую активность, количественное и качественное изменение гумуса. Агрономическая структура почвы – это многокомпонентная система с множеством минерально-органических сложных структур формирующихся специалистами внешним воздействием при целевом выращивании растений. Наряду с правильным выбором сроков обработки почвы, не менее, а в некоторых случаях даже более существенное значение имеет способ обработки, определяющий характер сложения и структурную организацию обрабатываемого слоя, пищевой и водный режимы почвы. Следовательно, речь идет о создании для растений оптимальных параметров структурно-агрегатного состава и плотности сложения почвы в корнеобитаемом слое, учитывая, что полевые культуры предъявляют не одинаковые требования к агрофизическим свойствам почвы в отдельных ее частях. Структурный состав почвы является важным показателем качества ее обработки, поскольку степень измельчения почвы определяется удельной поверхностью частиц, с которой связан весь комплекс физико-химических процессов, способствующих получению высоких урожаев, при этом желательно, чтобы большая часть структурного состава находилась в виде водопрочных макроагрегатов, образующих структуру почвы.

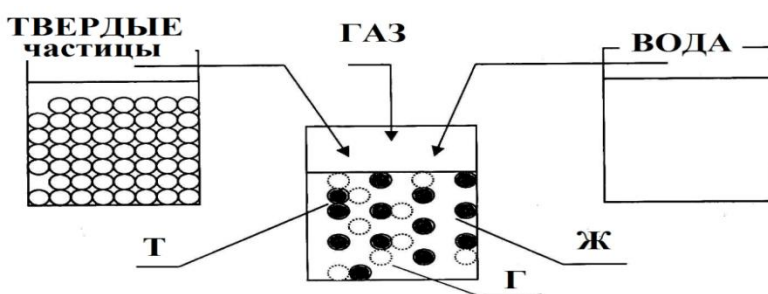
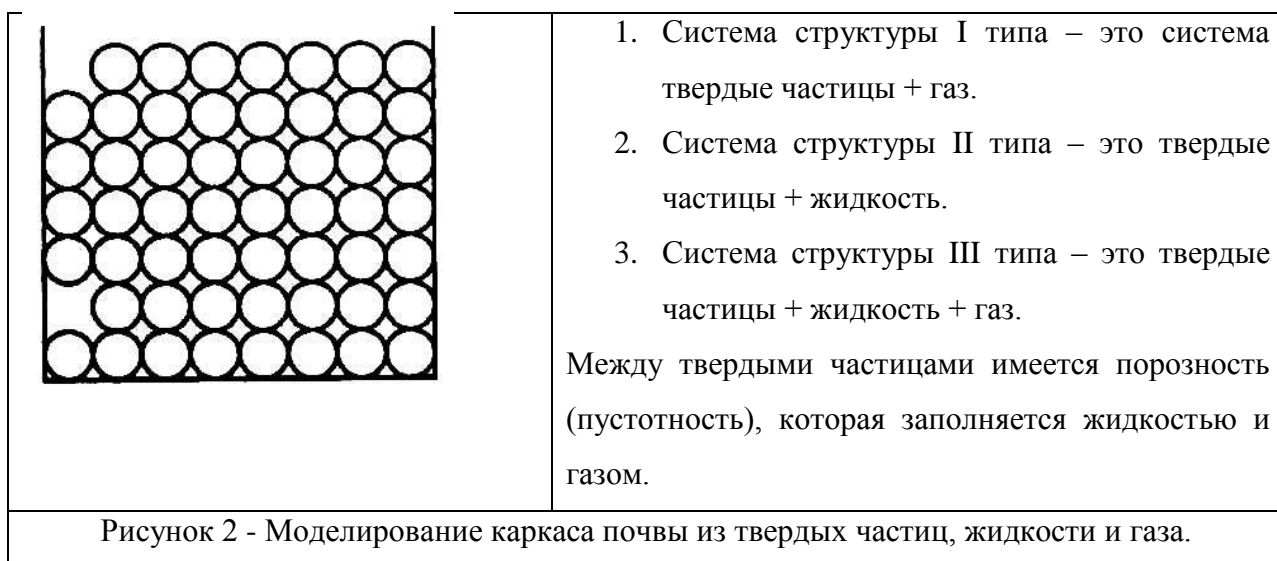


Рисунок 1 - Моделирование дисперсной реологической системы

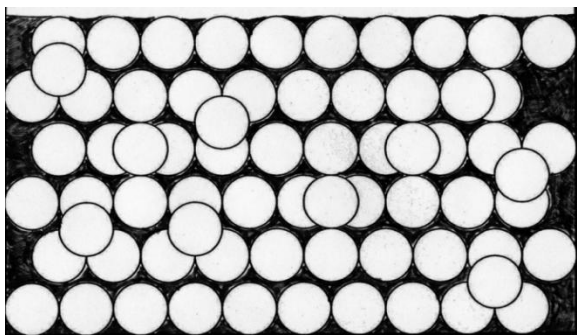
Агрономическая почва, при наличии воды на поверхности, формируется из неустойчивой системы твердое-жидкость-газ как дисперсная реологическая жидкость (рисунок 1), которую можно моделировать. Модель – любая совокупность абстрактных объектов, свойства которых и отношения свойств объектов, между собою удовлетворяют данным аксиомам, служащим тем самым совместным (неявным) определением такой совокупности.

Цель физико-химической механики – установление закономерностей образования пространственных структур в дисперсных системах, а также процессов деформации и разрушения

таких структур в зависимости от физических, химических и механических факторов. Имитационное моделирование агрономической почвы типичного чернозема дисперсной системой почвенных частиц (рисунок 3) создает возможность применить соотношения и связи сложных систем в понятиях физико-химической механики. П.А. Ребиндера. В физико-химической механике П.А. Ребиндера под термином «структура» понимается пространственная сетка, которая для твердых тел характеризуется молекулярным сцеплением друг с другом молекул, атомов, ионов или коллоидных частиц. Макроструктура агрономической почвы может представлять собой хаотический каркас из элементов минеральных и органических частиц. Все дисперсные системы, по типу связи, разделяет на 3 типа структур: коагуляционные структуры, конденсационные структуры и кристаллизационные структуры. Первая структура – коагуляционные структуры характерны для глинистых и почвенных суспензий. Вторая структура – конденсационные структуры характеризуются прочным межчастичным сцеплением т.к. их формирование связано с удалением воды из коагуляционных структур почвы путем естественного или искусственного высушивания. При осаждении органического вещества на минеральную часть почвы происходит формирование цементационно-конденсационных структур очень высокой прочности. Третьи структуры – кристаллизационные структуры почвы, которые обладают прочными механическими связями, которые осуществляются главными химическими валентностями (ковалентными). Процесс образования пространственного структурного каркаса почвы в результате сцепления или срастания частиц дисперсной твердой фазы, сопровождающийся увеличением прочности системы, называется структурообразованием. Макроструктуры, то есть внутреннее строение материала почвы, имеющая характер взаимодействия между отдельными ее элементами (частицами), определяются химическим составом, дисперсностью, температурой, агрегативным состоянием, биохимическими показателями и рядом технологических факторов. Каждая структура имеет соответствующие ей степени свободы.



Формирование структуры связано с изменением механических свойств системы – вязкости, пластичности, упругости, прочности, в силу чего эти свойства называют структурно-механическими или реологическими. С утяжелением механического состава, с увеличением содержания в почве мелких частиц влажность устойчивого завядания растений растет пропорционально содержанию этих частиц. Большая потребность растений в почвенной влаге заставляет поставить вопрос о том, вся ли влага, содержащаяся в почве, является одинаково доступной для растений? Ответ на этот вопрос должен быть безусловно отрицательный. Различные категории и формы воды обладают различной доступностью для растений. Урожай сельскохозяйственных культур, прежде всего, зависит от содержания в почве доступной для растений влаги. Для определения границ объема влаги при нарушении устойчивости каркаса агрономической почвы проведем эксперимент. Для проведения эксперимента используем зернистый материал органического растительного происхождения. Используем горох, ячмень и пшено. Зерна отличаются формой, размерами и способностью набухания от воды. Зерна заполняют стеклянную емкость известного объема, без уплотнения, при этом получается система I типа: твердые частицы + воздух (газ). Вытесним газ из емкости с зернами заполнением водой до верхней границы зерен. Не дожидаясь набухания растительного зерна, выливаем воду в мерную емкость и взвешиваем воду с высокой точностью, что позволяет определить объем пустотности (порозности между частицами), т.к. плотность воды 1г/см^3 . Сравнивая полученный объем воды из сосуда с зерном и емкость известного объема можно определить границы предельного объема воды при наступлении неустойчивости каркаса почвы (рис.).



Вода занимает 36 - 38% от полного объема системы: твердое (белое) + вода (черное).

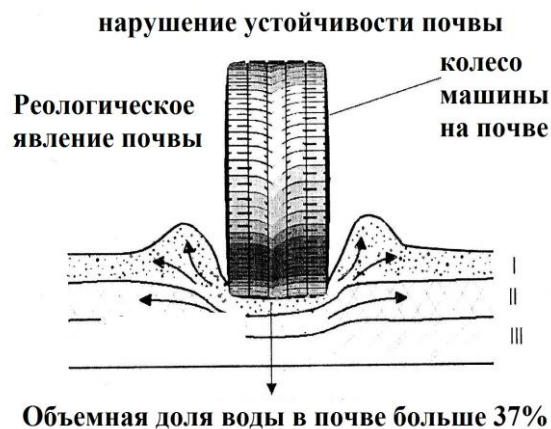


Рисунок 3 - Определение граничных значений влаги при потере устойчивости каркаса из дисперсных частиц правильной шаровидной зернистой формы. Нарушение устойчивости почвы при движении колеса.

По найденным соотношениям объемов, полученных экспериментом (полного объема и объема пустотности) определяются коэффициент порозности и порозность. Повторим алгоритм заполнения емкости с зернами и наблюдаем набухание зерен, с забором воды и освобождением свободного объема для воздуха, т.е. количество свободной воды уменьшается. При набухании вода

появляется в исключенном объеме растительного зерна. Количество механической воды переходит в физическо-химическое состояние дипольной связи. Поэтому особое внимание всегда уделялось исследованию водного режима почвы. Влагосодержание почвы формируется на основе ее водного баланса. Баланс влаги – это приходная часть влаги и расходуемая влага. Приходная часть баланса влаги – атмосферные осадки, расходная – это потери воды культурными и сорными растениями, а также физическое испарение.

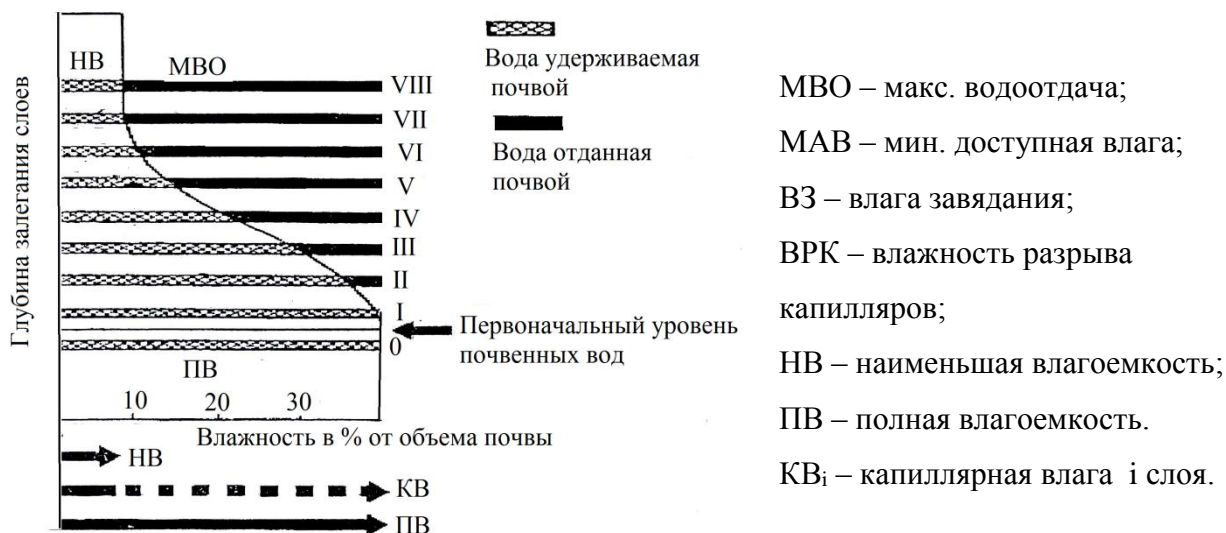


Рисунок 4 - Распределение влаги по уровням слоев аграрной почвы

Под действием температурных градиентов влага передвигается в направлении меньших температур, в связи, с чем приемами обработки почвы необходимо формирование такого теплового режима, при котором создается наибольшая разность температур между пограничным с атмосферой и нижележащим слоем почвы. Увеличение доли воздушной фазы (воздухоёмкости) уменьшает теплоёмкость обрабатываемого слоя, т. е. ускоряет его прогревание и одновременно уменьшает теплопроводность, препятствуя прогреванию нижележащих слоев почвы. Категории почвенной влаги (рисунок 4):

Таблица 1 –Интервалы влажности

Влага	Интервал влажности
Недоступная	От нуля до МАВ
Весьма трудно доступная	От МАВ до ВЗ
Трудно доступная	От ВЗ до ВРК
Средне доступная	От ВРК
Легко доступная вода, переходящая в избыточную	От НВ до ПВ

В начале 20-х годов XX века наряду с плужной пахотой земледельцы применяли различные способы обработки почвы для сохранения влаги.

Таблица 2 – Хронологический порядок исследований, связанных с сохранением влажности почвы.

Авторы (год публикаций)	Выводы исследований
И.Е. Овсинский (1909)	- установил, что неглубоко взрыхленный верхний слой почвы служит проводником воздуха, атмосферной влаги и воздушно-питательной пыли и в нем накапливаются питательные вещества, в частности азот.
П.А. Некрасов (1924)	- анализируя данные опытных станций по водному режиму почв, неоднократно приходит к выводу, что глубокая вспашка черноземных и каштановых почв не ведет к лучшему накоплению и сохранению почвенной влаги.
Л.Н. Барсуков (1937)	- экспериментально доказал, что именно верхний слой почвы характеризуется самой высокой биологической активностью.
С 60-х годов XXв в Америке, а позднее в Европе и России	- начала практиковаться «нулевая» обработка почв и так называемый «прямой» посев, исключая механические рыхлящие приемы и предполагающий в борьбе с сорняками использование гербицидов.
Н.И. Федотова (1972)	- пришла к выводу, что в засушливых условиях безотвальная обработка по сравнению с отвальной способствует лучшей аккумуляции выпавших осадков.
В. Е. Казаков, Б. К. Тютюнник, И. Л. Молдавский (1984)	- в условиях засушливой степи Украины, на карбонатных черноземах Молдавии пришли к выводу, что увеличение глубины обработки способствует большему накоплению влаги в почве и более экономному ее расходованию.
М.Д. Васильев (1989)	- установил, что увеличение глубины обработки способствует увеличению влажности и снижает плотность сложения карбонатных почв.
Н.В. Краснощековым в работах (2006)	- прогнозируется, что в ближайшие 10–15 лет в сельском хозяйстве России будут использоваться три типа технологий – нормальные, интенсивные и высокие, для сохранения влаги.

Г.Н. Высоцкий (1962) установил, что в динамике влаги черноземов можно выделить два периода. Первый период, заключающийся в иссушении почвы, охватывает лето и первую половину осени, когда влага интенсивно расходуется растениями и испаряется. Второй период – промачивание, начинающееся со второй половины осени, прерывается морозами и продолжается весной благодаря талым водам и весенним осадкам. Согласно теории дифференциальной влажности, при высыхании ниже величины влажности структурной устойчивости (коэффициент ВРК) преобладающее значение имеет конвекционно-диффузный механизм передвижения влаги в почве - требуется уплотнение почвы. При увлажнении выше влажности структурной устойчивости почвы ВРК и разрыва капилляров преобладает капиллярный механизм передвижения влаги к испаряющей поверхности - требуется рыхление.

Методология и методы исследования (Methods)

Задачи исследования:

1) установление существа образования и разрушения структур в дисперсных системах в зависимости от совокупности физико-химических, биохимических, механических и других факторов;

2) исследование, обоснование и оптимизация путей получения структур с заранее заданными реологическими (в самом широком смысле этого слова) свойствами.

3) разработка способов приложения установленных закономерностей для расчёта работы машин и оперативного контроля основных показателей качества технологических операций по значениям величин структурно-механических характеристик агрономической почвы.

При проведении исследований использовались теоретические методы, основанные на анализе научно-технической литературы проведенных экспериментальных исследований, применении основных положений физико-химической и земледельческой механики, методов измерений, регламентируемых нормативной документацией.

Результаты (Results)

По агрономическим требованиям ценными фракциями почвы являются все фракции, входящие в диапазон объемов размерами от 10 мм до 0.25 мм. Почва – это дисперсное капиллярно пористое твердое тело, находящееся при различных состояниях окружающей среды. Для всех технологически созданных структур почва должна обладать свойством доступности влаги растениями. Причины различной доступности почвенной влаги для растений определяются структурными композициями макроструктуры почвы. Эта влага так прочно удерживается сорбционными силами на поверхности минеральных частиц, что осмотические силы, при помощи которых влага всасывается корнями растений, оказываются недостаточными для того, чтобы отнять, оторвать молекулы прочносвязанной воды от поверхности минеральных почвенных частиц.

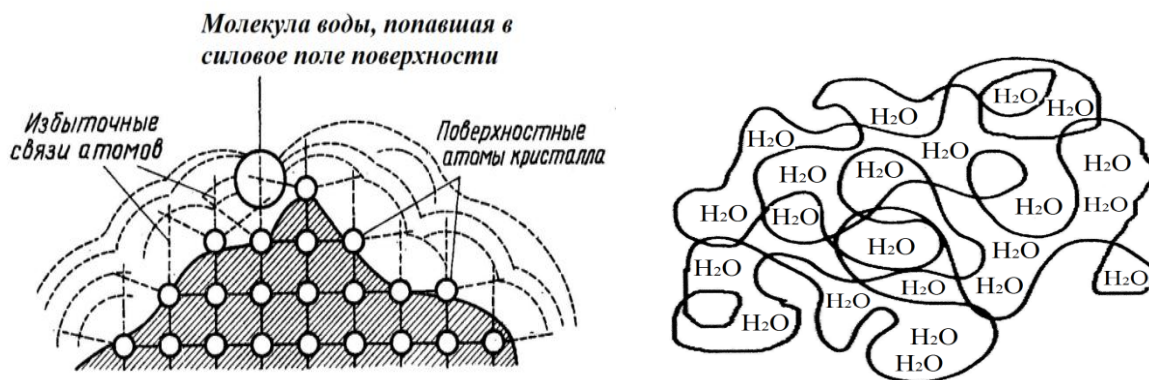
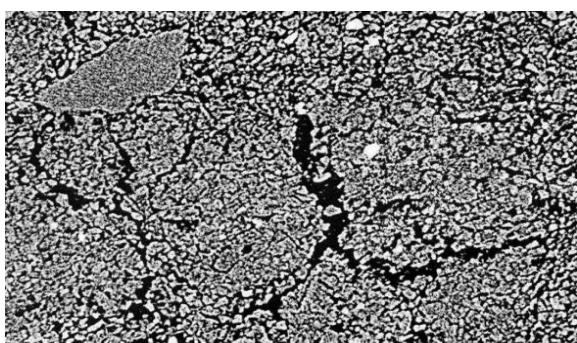
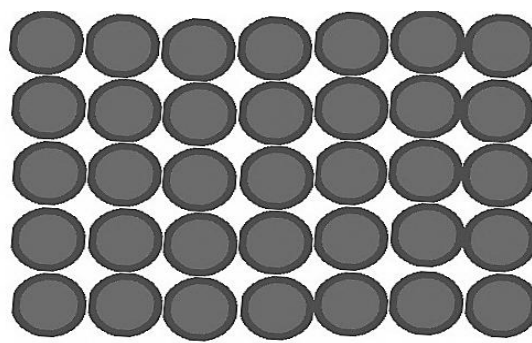


Рисунок 5 - Адсорбционное удержание воды 8-10% на поверхности минерального зерна почвенных частиц за счет поверхностной энергии; исключенный объем органической частицы, удерживающей воду внутри клубка 40...50 % объема

Иначе дело обстоит с доступностью влаги, содержащейся в почве сверх 8% максимальной адсорбционной влагоемкости. Ее доступность почти всецело определяется ее подвижностью между частицами по капиллярам и порам почвы. Поры располагаются свободными объемами между зерен почвы, где может накапливаться влага в форме капельной воды (рис.5). Большой объем воды при набухании органической частицы полимерного клубка содержится в исключенном объеме (рис.5). Дело в том, что корневые волоски растений, впитывающие влагу, имеют диаметр около 0,01 мм. Непосредственно всасывать влагу волоски могут только из тех микроскоплений воды свободного объема в почве, с которыми они соприкасаются. Какими же величинами может быть охарактеризована способность почвы максимально содержать в себе влагу, достаточно доступную для растений? Очевидно, что это интервал равный разности структурной устойчивости почвы до 36%...38% влаги, как максимально водоудерживающей способностью свободного объема почвы и адсорбционной влажностью около 10% у почвы, приводящей к завяданию растений.



а



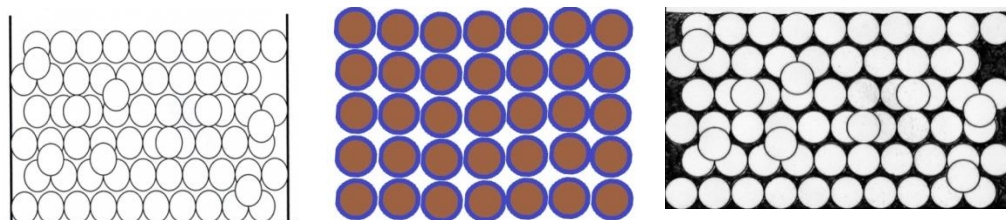
б

а - томограмма типичного чернозема б – имитационная модель почвенного агрегата дисперсной структуры почвенных минеральных частиц имеющих адсорбированную влагу и свободный объем (пустотность) для воды и воздуха.

Рисунок 6 - Изображение почвенного агрегата

Влажность почвы на верхнем пределе 37% исключает присутствия воздуха в системе, что создает условия гибели растений, при этом нарушается устойчивость каркаса почвенной структуры. Создаются современные гипотезы образования агрегатной структуры почвы, формирования свойства ее водоустойчивости. Вода поверхностно активное вещество, стремящееся разделить или снизить все контактные связи твердых частиц. Важнейшее значение в формировании физических свойств водоустойчивости имеет почвенное органическое вещество.

Величина влажности разрыва капилляров (ВРК) зависит от структуры почвы и может колебаться в широких пределах. Нижний предел ВРК характерен для бесструктурных почв, равный 0,60–0,70 долей от наименьшей полевой влагоемкости (НПВ), какими являются каштановые почвы и их разновидности, верхний предел ВРК– 0,90–0,95 НПВ – характерен для структурных черноземов.



а- твердая; б – рыхлая с адсорбированной влагой; в – неустойчивая с предельным насыщением влаги

Рисунок 7 - Удельное сопротивление плуга в зависимости от влажности почвы. Характер изменения удельного сопротивления плуга в зависимости от типа структурного содержания почвенных частиц и от влажности почвы.

В зонах неустойчивого и достаточно устойчивого увлажнения на черноземных почвах эти показатели составляют соответственно 0,63–0,67 НПВ и 0,80–0,81НПВ. Почва реальное природное тело, может существовать в твердом, пластичном и текучем состоянии. К ней приложимы законы физико-химической механики как реологическому телу (рео – течение). Если на почву воздействовать какой-либо силой, то в ней возникнет напряжение, которое может привести к изменению физического состояния почвы. Внутренние силы (складываются из сил сцепления и отталкивания, действующих между агрегатами, коллоидными и микроскопическими частицами) создают сопротивление действию внешних сил. Если внешние силы превысят внутренние, то в почве произойдет деформация, которая может быть обратимой и необратимой в зависимости от величины и способа деформации. Характер развиваемых деформаций в почве будет зависеть от многих факторов, в числе которых структурное строение почвы занимает первостепенное значение. По рейтинговой оценке, наибольшее влияние на деформационные свойства будет оказывать влагосодержание почвы. Хорошо влагу держит органическое вещество, у которого влага

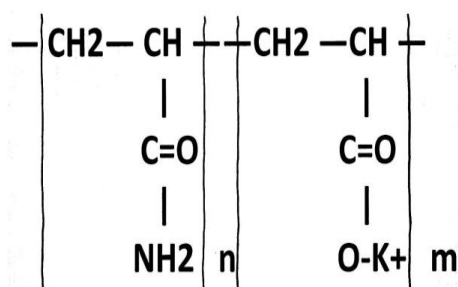
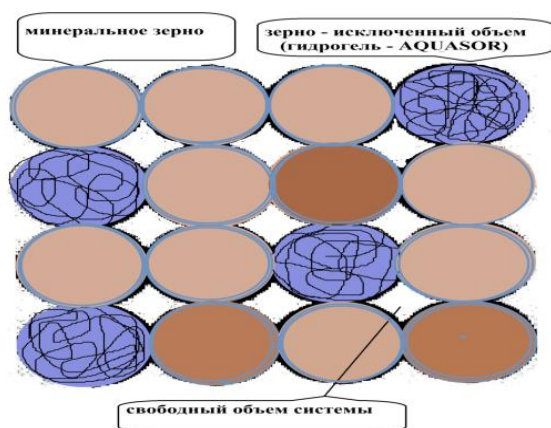
удерживается в исключенных объемах межмолекулярного пространства дипольными силами, при этом структурный каркас сохраняет устойчивость. Органические вещества служат основным устойчивым структурным образователем аграрной почвы. Гумусовый слой имеет название, войлок. Название войлок показывает, что этот органогенный слой состоит из переплетенных остатков травянистых растений, в основном тонких и длинных листьев и соломин злаков, образующий достаточно рыхлый слой с удержанием большого количества влаги. Агрономическая почва - многофазная дисперсная среда, состоящая из твердых частиц, воды, воздуха, живых организмов и перегноем органики, перемешанных между собой в различных соотношениях. Например, индекс нестабильности для почв высокогумусных, насыщенных кальцием, он составляет около 0.1, а для солонцовых горизонтов, структурно нестабильных - увеличивается до 100. Имитационное моделирование агрономической почвы типичного чернозема дисперсной системой почвенных частиц (рис.7) создает возможность применить соотношения и связи сложных систем в понятиях физико-химической механики. П.А. Ребиндера. В физико-химической механике П.А. Ребиндера под термином «структура» понимается пространственная сетка, которая для твердых тел характеризуется молекулярным сцеплением друг с другом молекул, атомов, ионов или коллоидных частиц. Макроструктура агрономической почвы может представлять собой хаотический каркас из элементов минеральных и органических частиц. Все дисперсные системы, по типу связи, разделяет на 3 типа структур: коагуляционные структуры, конденсационные структуры и кристаллизационные структуры.

Первая структура – коагуляционные структуры характерны для глинистых и почвенных суспензий. Наличие тонких прослоек жидкой среды в участках коагуляционного сцепления, препятствующих дальнейшему сближению частиц (из-за возникновения двойного электрического слоя), придает коагуляционному структурообразованию характерные механические свойства – невысокую прочность, ползучесть, структурную вязкость, а в более концентрированных дисперсных системах (пастах) пластичность. Коагуляционные структуры обладают тиксотропными свойствами, т.е. способностью после механического разрушения полностью в течение времени восстанавливать свою первоначальную прочность.

Вторая структура – конденсационные структуры характеризуются прочным межчастичным сцеплением т.к. их формирование связано с удалением воды из коагуляционных структур почвы путем естественного или искусственного высушивания. При осаждении органического вещества на минеральную часть почвы происходит формирование цементационно-конденсационных структур очень высокой прочности. Конденсационные структуры теряют тиксотропные свойства и пластичность, приобретают прочность и хрупкость. Конденсационная структура при увлажнении может быть обратно переведена в коагуляционную при условии полного механического разрушения всех контактных связей между частицами.

Третьи структуры – кристаллизационные структуры почвы, которые обладают прочными механическими связями, которые осуществляются главными химическими валентностями (ковалентными). В отличие от коагуляционных и конденсационных структур кристаллизационные структуры всегда связаны с возникновением новой кристаллической фазы с очень прочными контактами частиц новообразований (например, кристаллизация гипса, карбонатов, гидрогелей кремнекислоты, возникновение органо-минеральных комплексов в почвах, полимеризующихся высокомолекулярные органические соединения). Кристаллизационные структуры отличаются значительно большей прочностью и хрупкостью по сравнению с конденсационными структурами обнаруживают необратимое разрушение структур при механическом воздействии. Физические свойства макроструктур (почвенную – агрономическую структуру) имеют решающее значение для качественных и энергетических показателей работы почвообрабатывающих машин.

Проблема удерживания большого объема влаги в почве без нарушения её устойчивости может быть решена наличием структурного компонента с большим исключенным объемом, строения подобного гидрогеля AQUASOR. Зерно гидрогеля создает накопление влаги 300...400 раз больше объема исходного зерна, при набухании.



Препарат ГИДРОГЕЛЬ представляет собой гранулы полимера - сополимеры акриламида/акриловой кислоты на основе соли калия.

Рисунок 8 - Структурные компоненты почвы: минеральное зерно с адсорбированной влагой на поверхности, свободный объем между зернами системы и зерно с исключенным объемом (гидрогель) с большим внутренним исключенным объемом

Такую роль удержания влаги в свободном объеме почвы 30% (максимально 37%) плюс влага исключенного объема почвы при наличии органического перегноя гумусового слоя создающего функцию аккумуляции влаги, можно довести до 50% внутри объема почвы. Так как влага исключенного объема растительного компонента удерживается диполь-дипольными силами, а гравитационные силы снижают содержание влаги в верхних слоях агрономической почвы. Когда влага уходит в нижние слои, исключенные объемы длительно сохраняют влагу в объеме 30...50% в соответствующих концентрациях таких частиц, увеличивая влажность почвы. Создаются условия устойчивости почвы, с аккумуляцией влаги питающей растения водой.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Структурному строению агрономической почвы необходимо иметь композиционный компонент с исключенным объемом, аккумулирующим большое количество влаги с большим временем сохранения. Влага должна находиться в физически связанном состоянии исключенного объема. Исключенный объем формируется в материалах органического происхождения в клубковых формах высокомолекулярного строения. Большое количество влаги в свободном объеме определяет структуру неустойчивости системы и подчиняется законам гравитации и испарения. Количество влаги больше 37% разрушает устойчивость почвы.

Библиографический список

1. Шеин Е.В., Милановский Е.Ю., Хайдапова Д.Д. Органическое вещество и структура почвы. Тезисы Между нар. конф. «Роль почвы в формирии естест. и антропоген. ландшафтов». Казань, 2003, с. 101-
2. Амелина Е.А. Контактные взаимодействия в дисперсных структурах // Физико-химическая механика природных дисперсных систем / Под ред. Е.Д.Щукина и др. М.: Изд-во МГУ, 1985, с.6-19.
3. Возможности современных и будущих фундаментальных исследований в почвоведении / под ред. Спозито. М.: ГЕОС, 2000, 138с.
4. Горбунов Н.И., Орлов Д.С. Природа и прочность связи органических веществ с минералами почвы. Почвоведение, 1977, №7, с.89-100.
5. Горькова И.М. Влияние воды на агрегацию почвенных и грунтовых систем. Почвоведение, 1984, №4, с. 260-267.
6. Кузнецова И.В. Роль органического вещества в образовании водопрочной структуры дерново-подзолистых почв. Почвоведение, 1994, №11, с. 34-41.
7. Манучаров А.С., Степанов П.Ю. Основы реологии: Учеб. Пособие. -М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004, 116 с.
8. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур. -М., «Наука», 1966, 400 с.
9. Трофимов В.Т. и др. Грунтоведение. М.: Изд-во Моск. ун-та, Изд-во «Наука», 2005, 1024 с.
10. Хан К.Ю. Поздняков А.И., Сон Б.К. Строение и устойчивость почвенных агрегатов. Почвоведение, 2007, №4, с. 450-456.
11. Ходаков Г.С. Реология суспензий. Теория фазового течения и ее экспериментальное обоснование. Рос. хим. ж., 2003, т. XLVII, №2, с. 33-44.

References

1. Shein E.V., Milanovsky E.Yu., Haydapova D.D. Organic matter and soil structure. Abstracts Between bunk beds. conf. "The role of soil in the formation of natural. and anthropogen. landscapes ". Kazan, 2003, p. 101-
2. Amelina E.A. Contact interactions in dispersed structures // Physicochemical mechanics of natural dispersed systems / Ed. ED Shchukina and others. M .: Publishing house of Moscow State University, 1985, p. 6-19.
3. Opportunities of modern and future fundamental research in soil science / ed. Sposito. M .: GEOS, 2000, 138p.
4. Gorbunov N.I., Orlov D.S. The nature and strength of the bond of organic matter with soil minerals. Soil Science, 1977, No. 7, pp. 89-100.
5. Gorkova I.M. Influence of water on the aggregation of soil and ground systems. Soil Science, 1984, No. 4, p. 260-267.
6. Kuznetsova I.V. The role of organic matter in the formation of the water-resistant structure of sod-podzolic soils. Soil Science, 1994, No. 11, p. 34-41.
7. Manucharov A.S., Stepanov P.Yu. Fundamentals of Rheology: Textbook. Benefit. -M .: Publishing house Mosk. University, 2004, 116 p.
8. Rebinder P.A. Physicochemical mechanics of dispersed structures. -M., "Science", 1966, 400 p.
9. Trofimov V.T. and others. Soil science. M .: Publishing house Mosk. University, Publishing house "Science", 2005, 1024 p.
10. Khan K.Yu. Pozdnyakov A.I., Son B.K. The structure and stability of soil aggregates. Soil Science, 2007, No. 4, p. 450-456.
11. Khodakov G.S. Suspension rheology. Phase flow theory and its experimental substantiation. Grew up. chem. Zh., 2003, vol. XLVII, No. 2, p. 33-44.

ИНЖЕКТОРЫ УДОБРЕНИЙ: ВИДЫ, УХОД И КАЛИБРОВКА

К.М. Потетня^{1*}, А.А. Садов¹

¹ ФГБОУ ВО Уральский ГАУ, Екатеринбург, Россия

* E-mail: gto992@mail.ru

Аннотация. В данной статье представлены и описаны некоторые виды оросительных инжекторов для удобрений. Инжекторы — это устройства, используемые для внесения водорастворимых удобрений, пестицидов, регуляторов роста растений, смачивающих агентов и минеральных кислот в процессе растениеводства. Инжекторы подают небольшую порцию концентрированного раствора удобрения из резервуара с сырьем и впрыскивают его в водопровод. На каждую часть исходного раствора приходится X частей воды, где "X" определяется соотношением инжекторов.

В статье рассматривается метод и способ работы, а также методы калибровки для более точной работы.

Ключевые слова: инжектор, форсунки, удобрение, метод, распыление, бак, резервуар, накопители, поршень, калибровка, уход.

FERTILIZER INJECTORS: TYPES, CARE AND CALIBRATION

K.M. Potetniya^{1*} A.A. Sadov¹

¹ FSBEI HE Ural SAU, Ekaterinburg, Russia

* E-mail: gto992@mail.ru

Abstract. This article presents and describes some types of irrigation injectors for fertilizers. Injectors are devices used to apply water-soluble fertilizers, pesticides, plant growth regulators, wetting agents, and mineral acids in the crop production process. Injectors deliver a small portion of the concentrated fertilizer solution from the feed tank and inject it into the water supply. For each part of the initial solution there are X parts of water, where "X" is determined by the ratio of the injectors.

The article discusses the method and method of work, as well as methods of calibration for more accurate work.

Keywords: injector, nozzles, fertilizer, method, spraying, tank, reservoir, accumulators, piston, calibration, care.

Постановка проблемы (Introduction)

Инжекторы удобрений - это устройства, используемые для внесения водорастворимых удобрений, пестицидов, регуляторов роста растений, смачивающих агентов и минеральных кислот

в процессе растениеводства. Они являются жизненно важной частью современных тепличных или питомниководческих работ. С тех пор как появились инжекторы или дозаторы, садоводы пользуются простым, экономящим время и труд методом нанесения жидких химических растворов на свои посевы. Несмотря на преимущества, многие производители имели, по крайней мере, один опыт работы со скомпрометированным, поврежденным или даже испорченным урожаем, где причина была прослежена до неисправного инжектора. Как и другие механические устройства, правильное и частое техническое обслуживание и калибровка являются решающими шагами для обеспечения оптимальной работы инжектора и, следовательно, здорового урожая [2.4.5].

В этой статье рассмотрим основные вопросы использования инжекторов в сельском хозяйстве, виды, нюансы их содержания, важность в сельском хозяйстве и сделаем выводы о нужности их применения.

Методология и методы исследования (Methods)

Инжекторы подают небольшую порцию концентрированного раствора удобрения из резервуара с сырьем и впрыскивают его в водопровод. На каждую часть исходного раствора приходится X частей воды, где "X" определяется соотношением инжекторов. Например, при соотношении 1:100 1 часть исходного раствора смешивают с 99 частями воды, в общей сложности 100 частей конечного раствора. Размер запасного бака варьируется, и он может быть как маленьким в 19 литров, так и большим в 7 570 литров. Часто соотношения выражаются в процентах. Например, соотношение 1:100 равно 1-процентному раствору. (См. иллюстрацию "Инжектор или дозатор удобрений" ниже.)(рис.1)



Рисунок 1 принципы работы инжекторов

Инжекторы типа Venturi, такие как Hozon и Syphonex (Рис.2), используют разность давлений между водопроводом и баком с удобрением, чтобы втянуть концентрированный раствор в кран соединительного клапана и смешать его с водой в шланге. Эти недорогие инжекторы могут быть легко прикреплены к любому крану, но не позволяют точно контролировать концентрацию. Из-за

колебаний давления воды в шланг может впрыскиваться переменное количество химического вещества. Кроме того, коэффициенты впрыска невелики (обычно 1:16) и поэтому требуют большого запасного бака, что ограничивает использование форсунок типа Venturi на небольших участках выращивания. Hozon требует очень небольшого обслуживания; проверяйте экран на всасывающей трубопровод на наличие засоров и периодически удаляйте отложения соли из смесительного клапана.

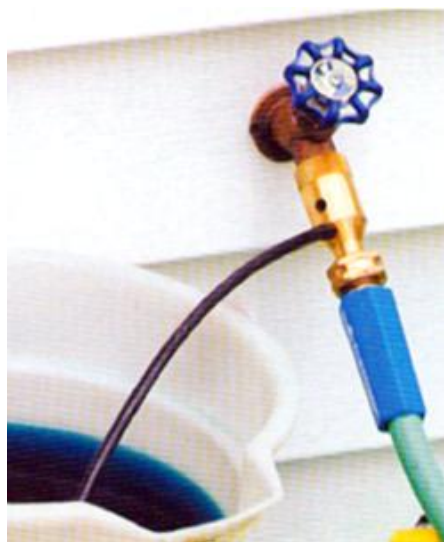


Рисунок 2 Hozon

Hozon представляет собой небольшой латунный смесительный клапан, который навинчивается на кран и имеет шланг, прикрепленный к нему. Когда вода проходит через Hozon, она создает отсос, который забирает раствор удобрения из резервуара с концентратом. Для правильной работы необходимо давление воды не менее 16 кг на 6,5 см². Кроме удобрения, его можно использовать для дозирования инсектицидов, фунгицидов и других водорастворимых химических веществ через шланг.

Инжекторы с принудительным смещением, такие как Dosatron, DosMatic, Anderson, Smith и Gewa, обеспечивают последовательные коэффициенты впрыска для расчетных скоростей потока при широких колебаниях давления воды. Измеренное количество исходного раствора, определяемое заполнением камеры определенного размера, впрыскивают в воду для орошения, скорость которого также регулируется устройством (рис.3). Ограничивающим фактором в этих инжекторах в большинстве случаев является минимальный и максимальный допустимый расход воды. Тем не менее, промышленность предлагает модели, которые могут вместить широкий диапазон расходов. Коэффициент впрыска зависит от размера цилиндров и относительной скорости перемещения жидкости в цилиндрах поршнями. Точный контроль за количеством впрыскиваемых химических веществ, меньшие резервуары с сырьем и более широкие коэффициенты впрыска сделали инжекторы с принудительным вытеснением промышленным стандартом.

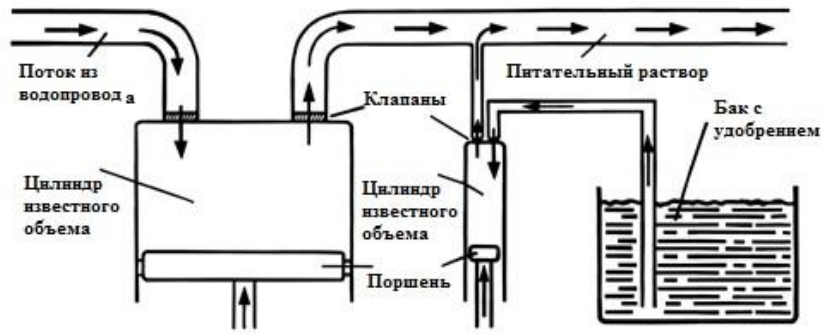


Рисунок 3. Инжектор поршневого насоса.



Рисунок 4. дозаторный инжектор

Дозаторные инжекторы (рис. 4) работают без электричества, используя давление воды в качестве источника питания. Они устанавливаются непосредственно в водопроводе. Поток воды активирует инжектор, который забирает необходимый процент концентрата непосредственно из контейнера с сырьевым раствором. Внутри инжектора концентрат смешивают с водой, а давление воды вытесняет раствор. Количество выдаваемого концентрата прямо пропорционально объему воды, поступающей в инжектор, независимо от изменения потока воды или давления, которое может иметь место в магистральной линии. Стандартные установки Dosatron позволяют вводить большинство кислот (в зависимости от концентрации кислоты и температуры воды); однако концентрация впрыскиваемой кислоты не должна превышать 5%. Более сильные кислоты могут быть введены, если установлены блоки, содержащие части PVDF (поливинилиденфторид), или другие варианты инъекции коррозионных материалов.

Рисунок 5. Максимальные скорости потока для инжекторов Dosatron варьируются от 7 г/мин до 264 г/мин для различных моделей, с соотношениями от 1:50 до 1:500 для меньших скоростей потока; от 1:50 до 1:500 или 1:1000 для больших скоростей потока. Это соотношение можно легко регулировать снаружи инжектора. Дозаторные инжекторы могут быть установлены в различных

конфигурациях системы в дополнение к установке непосредственно в водопроводе. Специальные конфигурации позволяют промывать чистую воду, закачивать несколько растворов и увеличивать расход воды. [6.7] Инжекторы DosMatic (рис. 5) также работают без электричества, используя давление воды в качестве источника питания. Они устанавливаются непосредственно в водопроводе. Вода активирует инжектор, который принимает требуемый процент концентрата непосредственно из контейнера с сырьевым раствором. Внутри инжектора концентрат смешивается с водой, и давление воды выталкивает раствор вниз по течению. Количество концентрата прямо пропорционально объему воды, поступающей в инжектор, независимо от изменения расхода воды или давления, которое может происходить в магистральной линии. Стандартные установки DosMatic позволяют вводить большинство кислот и дезинфицирующих средств. Существуют модели Advantage, специально разработанные для регулировки pH воды, и другие модели, которые позволяют осуществлять дистанционную закачку химических веществ ниже по потоку для последовательного применения.

Максимальные скорости потока для инжекторов DosMatic варьируются от менее 1 г/мин до 100 г/мин с соотношениями от 1:10 до 1:4000 на различных моделях. Коэффициент впрыска можно регулировать во время использования. Можно использовать широкий диапазон комбинаций соотношения потока воды и впрыска, например, низкий расход и низкий впрыск, низкий расход и высокий впрыск в высокий расход и низкий впрыск, а также высокий расход и высокий впрыск.



Рисунок 5 Инжектор Андерсона

Инжектор Андерсона (Рис. 5). питающие инжекторы имеют черту положительного смещения и объемное дозирование с помощью электронасоса с дозированным расходом или подавлением воды, в зависимости от модели. Первоначальная серия S работает от воды, в то время как промежуточные серии J-Plus являются электрическими блоками. Конструкция инжекторов Андерсона допускает широкие диапазоны расхода воды с минимальными потерями давления. В насосном механизме отсутствуют скользящие уплотнения, а также металл, контактирующий с химикатом (с удобрениями и некоторыми кислотами используются шары из нержавеющей стали).

Все агрегаты имеют регулируемые соотношения подачи от 1:50 до более, чем 1:1000 на различных моделях. Коэффициент впрыска можно регулировать во время работы инжектора. Все установки работают с давлением воды в диапазоне от 15 до 125 гр/см² и расходом от менее 1 г/мин до более 1000 г/мин. Смесительный бак часто устанавливают в линию между точкой впрыска концентрата и подачей на урожай. Возможны несколько форсунок для инъекций удобрений (до шести).

Рисунок 5. Инжектор Андерсона с множеством форсунок для инъекций удобрений.

Результаты (Results)

Рекомендации по установке. Постоянно установленная форсунка должна быть подключена к основному водопроводу (водный шунт), который позволит чистой воде течь через оросительную линию для очистки линии раствора удобрений или подачи воды к культурам, где удобрения не нужны. Установка шунта также позволяет легко снять блок в случае неисправности или необходимости технического обслуживания или замены.

Рассмотрим возможность установки дополнительного оборудования для оптимальной работы в том числе:

- Перед инжекторным блоком рекомендуется установить фильтр с сеткой 140 или 200 ячеек.
- Регулятор давления, если давление воды в трубопроводе превышает максимально допустимое для данного агрегата. Односторонний обратный клапан может быть полезен против гидравлического удара (см. "гидравлический удар" ниже).
- Обратный клапан для предотвращения загрязнения оросительной воды при возникновении отрицательного давления.

Некоторые инжекторы поставляются с дополнительным измерителем электропроводности в водопроводе. Это позволяет легко определить, работает ли инжектор должным образом. Техническое обслуживание датчиков на этих счетчиках имеет важное значение для получения правильных показаний. Для обеспечения хорошего смешивания воды и химикатов может потребоваться смесительный бак. Нужен ли вам смесительный бак, зависит от типа инжектора и конструкции оросительной системы.[8]

Гидравлический удар - это кинетическая энергия (импульс), присутствующая в воде, которая движется в одном направлении. Когда вода попадает в закрытый клапан, такой как электромагнитный клапан, она возвращается в линию с четырехкратным первоначальным давлением. Если у вас есть давление воды 25 килограмм на см² в водопроводной линии, четыре раза это возвращается на ваш инжектор и 100 килограмм на см² повредит его. Гидравлический удар может быть серьезной проблемой в установках с длинными трубопроводами или там, где используются электромагнитные клапаны. Гидравлический удар может создавать давление до 225 килограмм на см² и более! Это создает нагрузку на весь инжектор (и на всю вашу систему водоснабжения), но особенно разрушительно для диафрагм. Чтобы избежать этого, установите

простой обратный клапан или, если у вас есть давление воды более 25 килограмм на см², аккумулятор рядом с вашим инжектором.[1.3]

Уход за инжектором. Впускной фильтр должен быть подвешен на расстоянии 5-10 см от дна резервуара для раствора, чтобы избежать перекачки нерастворенного концентрата. Никогда не позволяйте фильтру всасывающей трубки лежать на дне резервуара для запаса. Фильтр следует регулярно проверять на наличие засоров и / или трещин, а фильтр всасывающей трубки - регулярно чистить. Независимо от типа используемого инжектора, всегда впрыскивайте чистую воду после использования инжектора. Резервуар для раствора следует регулярно чистить (еженедельно или раз в две недели, в зависимости от частоты использования), чтобы предотвратить накопление грязи и накипи. Осмотрите и обслужите уплотнительные кольца. Смазочные материалы на нефтяной основе (вазелин, ланолин, WD-40, моторное масло) не следует использовать на дозированных поршнях или уплотнениях. Можно использовать смазочные материалы на основе кремния.

Если инжектор не будет использоваться в течение длительного периода времени, его следует снять с эксплуатации. Промыть систему чистой водой, либо прокачивая воду через блок перед его удалением, либо промывая эти детали после удаления. Отверстия клапанов должны быть закрыты лентой, пока они еще влажные. Это защитит уплотнения и предотвратит засорение отверстий насекомыми. Когда инжектор снят с эксплуатации, его следует полностью слить, чтобы вода не замерзла внутри.

Периодическая *калибровка* необходима для обеспечения правильной работы инжектора. Для получения точной калибровки необходимо выполнить оба метода, описанные ниже.

Метод ввода/вывода. Чтобы определить коэффициент впрыска инжектора, соберите известное количество раствора удобрения из инжектора, а затем измерьте количество концентрированного удобрения, которое было поглощено инжектором. Определите коэффициент впрыска по следующей формуле:

$$\text{Коэффициент разбавления} = \text{разбавленный объем} / \text{запасной объем},$$

где *разбавленный объем* - известное количество раствора удобрения после того, как он прошел через инжектор, а *запасной объем* - количество концентрированного раствора удобрения, которое было использовано во время теста.

Начните тест, включив инжектор для удаления пузырьков воздуха и зарядив систему концентрированным исходным раствором. Выключите агрегат, выньте сифонную трубку из запасного бака и поместите ее в большой объем (минимум 500 миллилитров) градуированного цилиндра. Заполните цилиндр известным объемом концентрированного исходного раствора. Включите инжектор и соберите известный объем разбавленного раствора удобрения (например, 5 литров).

Пример. Форсунка настроена на соотношение 1:50. Если (в приведенном выше тесте) 370 мл концентрата было использовано для приготовления 18 925 мл разбавленного раствора, то

фактическое соотношение составляет: $18\ 925 / 370 = 51$. Это близко к ожидаемому результату, поскольку он снизился всего на 1 процент. Повторите этот тест несколько раз. Кроме того, проверьте руководство по эксплуатации инжектора на наличие других способов проверки вашего конкретного инжектора. Этот метод проверяет функциональность инжектора, например, если инжектор подает с правильным коэффициентом впрыска. Он не может определить правильность конечной концентрации удобрения, поскольку не может обнаружить ошибок при смешивании исходного раствора удобрения.

Метод измерения ЕС. Этот простой метод измерения электропроводности обычно используется для водорастворимых удобрений. Он не требует сбора большого количества раствора удобрений и является отличным средством периодического мониторинга вашей программы удобрений. Критическим элементом этого метода является точное следование рекомендациям производителя удобрений по смешиванию исходных растворов. Поставщики удобрений обычно предоставляют графики с показаниями ЕС различных концентраций водорастворимых растворов удобрений.

При измерении необходимого количества удобрения (обычно заданного в виде весового количества) используйте весы, чтобы обеспечить правильное количество. Использование других измерительных средств (кофейных банок, пластиковых стаканчиков и т. д.) приведет к ошибке в концентрации удобрений из-за изменчивости количества удобрений, используемых для приготовления концентрированного раствора. Используйте только надежные, калиброванные измерители электропроводности, чтобы обеспечить точность показаний. Стандартизированные решения по проводимости доступны у производителей измерительных приборов и всегда должны быть под рукой. Поддерживайте измеритель ЕС в хорошем состоянии для получения правильных результатов.

Начните тест с сбора пробы чистой оросительной воды на месте. Дайте воде стечь в течение нескольких минут, чтобы промыть трубы, прежде чем собирать пробу. Измерьте ЕС этой пробы воды и запишите ее. Включите инжектор и запустите его в течение нескольких минут, прежде чем собрать образец раствора удобрения в чистую емкость. Проверьте и запишите ЕС раствора удобрения.

Рассчитайте ЕС вносимый удобрением по следующей формуле:

ЕС удобрение = ЕС раствор удобрения – ЕС вода для орошения,

Сравните это значение с диаграммой на этикетке мешка для удобрений.

Регулярное тестирование ЕС удобрения является эффективным способом контроля производительности инжектора. Обязательно откалибруйте свой измерительный прибор ЕС перед использованием. Если вы не откалибруете свой инжектор, вы получите плохие результаты и примете неправильные решения относительно вашей программы удобрения.

Примечание: этот метод проверяет правильность конечной концентрации удобрения, но не может определить, вызвана ли неправильная конечная концентрация ошибкой в смешивании исходного раствора или неисправностью инжектора.

Выполнение метода ввода-вывода и метода измерения ЕС позволит определить, какая проблема существует в процессе устранения.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Инжекторы удобрений - это устройства, используемые для внесения водорастворимых удобрений. С тех пор как появились инжекторы или дозаторы, садоводы пользуются простым, экономящим время и труд методом нанесения жидких химических растворов на свои посеvy.

Но, несмотря на простоту в использовании, инжекторы нуждаются в уходе, частом техническом обслуживании и калибровке, чтобы из-за неправильного удобрения не погиб урожай. Так же необходимо правильно готовить и убирать их на зиму или если они не нужны, чтобы не испортить их.

В этой статье рассмотрены виды некоторых инжекторов, методы калибровки, обслуживания и ухода.

Библиографический список

1. Потетня К.М. Обзор целесообразности применения рабочих органов с одновременным внесением различных составов удобрений // В сборнике: Системная интеграция научных знаний. Сборник трудов Международной научно-практической конференции, посвященной дню инженера-механика. 2020. С. 126-128.
2. Садов А.А., Потетня К.М., Устюгов А.Д., Носков А.И. Проект дистанционного комплекса измерения почвенных показателей как инструмент цифровизации сельского хозяйства // Научно-технический вестник технические системы в АПК. 2020. № 2 (7). С. 45-51.
3. Новопашин Л.А., Александров В.А., Садов А.А., Потетня К.М., Жарков В.А. Основные системы технического обслуживания и восстановление техоборудования птицеводства // В сборнике: Инженерно-технические решения сборник студенческих технических решений. 2019. С. 147-148.
4. Садов А.А., Потетня К.М., Носков А.И. Проект роторной гидропонной установки с автоматизированным процессом выращивания культур // Научно-технический вестник технические системы в АПК. 2019. № 3 (3). С. 39-45.
5. Потетня К.М., Садов А.А., Вырова О.М., Панков Ю.В. Роль и виды удобрений в сельском хозяйстве // Научно-технический вестник технические системы в АПК. 2019. № 5 (5). С. 25-33.

6. Новопашин Л.А., Денежко Л.В., Панков Ю.В., Потетня К.М., Садов А.А., Минухин Л.А. Совершенствование методов диагностики сельскохозяйственной техники // Аграрное образование и наука. 2018. № 2. С. 17.
7. Садов А.А., Шорохов П.Н., Юсупов М.Л., Зеленин А.Н. Возможность использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве для проведения анализов полей// В книге: Институциональные преобразования АПК России в условиях глобальных вызовов. Сборник тезисов по материалам III Международной конференции. Отв. за выпуск А.Г. Кошаев . 2019. С. 104.
8. Голдина И.И. Цифровое сельское хозяйство: состояние и перспективы / Иовлев Г. А. - Текст: электронный // Научно-технический вестник Технические системы в АПК. - №1 (6) 2020г. - с.21-27. - URL: <https://www.texvestnik.ru/kopiya-ntvtsvapk-2019-3> (дата обращения: 10.12.2020)

References

1. Potetnya K.M. Review of the feasibility of using working bodies with the simultaneous introduction of different compositions of fertilizers // In the collection: System integration of scientific knowledge. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the Day of Mechanical Engineer. 2020.S. 126-128.
2. Sadov A.A., Potetnya K.M., Ustyugov A.D., Noskov A.I. Project of a remote complex for measuring soil indicators as a tool for digitalization of agriculture // Scientific and technical bulletin of technical systems in the agro-industrial complex. 2020. No. 2 (7). S. 45-51.
3. Novopashin L.A., Alexandrov V.A., Sadov A.A., Potetnya K.M., Zharkov V.A. Main maintenance systems and restoration of technical equipment for poultry farming // In the collection: Engineering solutions, a collection of student technical solutions. 2019.S. 147-148.
4. Sadov A.A., Potetnya K.M., Noskov A.I. The project of a rotary hydroponic plant with an automated process of growing crops // Scientific and technical bulletin of technical systems in the agro-industrial complex. 2019. No. 3 (3). S. 39-45.
5. Potetnya KM, Sadov AA, Vyrova OM, Pankov Yu.V. The role and types of fertilizers in agriculture // Scientific and technical bulletin of technical systems in the agro-industrial complex. 2019. No. 5 (5). S. 25-33.
6. Novopashin L.A., Denezhko L.V., Pankov Yu.V., Potetnya K.M., Sadov A.A., Minukhin L.A. Improvement of diagnostic methods for agricultural machinery // Agrarian education and science. 2018.No. 2.P. 17.
7. Sadov A.A., Shorokhov P.N., Yusupov M.L., Zelenin A.N. The possibility of using unmanned aerial vehicles in agriculture to conduct field analyzes // In the book: Institutional transformations of the agro-industrial complex of Russia in the context of global challenges. Collection of abstracts based on the materials of the III International conference. Resp. for the release of A.G. Koshaev. 2019.S. 104.

8. Goldina I.I. Digital agriculture: state and prospects / Iovlev G.A. - Text: electronic // Scientific and technical bulletin Technical systems in the agro-industrial complex. - No. 1 (6) 2020 - p.21-27. - URL: <https://www.texvestnik.ru/kopiya-ntvtsvapk-2019-3> (date accessed: 10.12.2020)

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНОГО ПРИРОДНОГО АНГИОГЕНИНА

В.А.Тимкин,^{1*} В.С. Артемова¹, Л.А. Новопашин¹

¹ ФГБОУ ВО Уральский ГАУ, Россия, Екатеринбург.

*E-mail: ural.membrana@yandex.ru

Аннотация. Работа посвящена разработке технологии природного ангиогенина. Рассмотрены основные свойства ангиогенина, существующие технологии его получения, раскрыта актуальность проблемы. Проведены исследования, направленные на изучение баромембранных процессов в условиях приближенных к изоэлектрической точке. Научной новизной будет являться: применение мембранных процессов, наиболее близких по своей сущности к биологическим процессам и разработка на их основе оптимальных режимных параметров процесса разделения молочного сырья, путем приближения к изоэлектрической точке выделяемого компонента, для получения биологически активного природного ангиогенина. В качестве сырья предлагается использовать молочную сыворотку, поскольку данный тип сырья широко распространен как в России, так и в Свердловской области, но при этом крайне мало используется, так как считается отходом производства. При этом содержание ангиогенина в сыворотке молока довольно велико.

Разработана технологическая схема получения природного ангиогенина. Преимущества предлагаемой технологии получения природного ангиогенина: увеличение объемов производства; менее трудоемкие производственные процессы; низкая себестоимость готовой продукции по сравнению с аналогами; увеличение доступности для потребителя; расширение ассортимента. Предполагается использовать технологию на молокоперерабатывающих предприятиях, при этом суточный объем производства будет составлять порядка 15-40 грамм готового продукта. Оценка себестоимости готовой продукции составляет 60 руб./мг.

Ключевые слова: ангиогенин, белок, ультрафильтрация, изоэлектрическая точка, мембрана, селективность, проницаемость.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR OBTAINING BIOLOGICALLY ACTIVE NATURAL ANGIOGENIN

Timkin V. A., Artemova V. S. ^{1*}, Novopashin L.A.¹

¹ Ural state agrarian University, Ekaterinburg

*E-mail: ural.membrana@yandex.ru

Abstract. The work is devoted to the development of natural angiogenin technology. The main properties of angiogenin, the existing technologies of its production are considered, the relevance of the problem is revealed. Studies aimed at studying baromembrane processes under conditions close to the isoelectric point are carried out. The scientific novelty will be: the use of membrane processes that are closest in essence to biological processes and the development on their basis of optimal regime parameters of the process of separation of dairy raw materials, by approaching the isoelectric point of the isolated component, to obtain biologically active natural angiogenin. As a raw material, it is proposed to use whey, since this type of raw material is widely distributed both in Russia and in the Sverdlovsk region, but it is extremely little used, since it is considered a waste product. At the same time, the content of angiogenin in milk serum is quite high.

A technological scheme for the production of natural angiogenin has been developed. Advantages of the proposed technology for obtaining natural angiogenin: increased production volumes; less labor-intensive production processes; low cost of finished products compared to analogues; increased availability to the consumer; expansion of the range. It is planned to use the technology at milk processing enterprises, while the daily production volume will be about 15-40 grams of the finished product. The estimated cost of finished products is 60 rubles / mg.

Keywords: angiogenin, protein, ultrafiltration, isoelectric point, membrane, selectivity, permeability.

Постановка проблемы (Introduction)

Ангиогенин – полифункциональный белок, основными свойствами которого являются: ранозаживляющий эффект, антимикробная функция, участие в образовании новых кровеносных сосудов, защита организма в стрессовых ситуациях, и применение при лечении онкологических заболеваний. Этот белок был открыт в США в 1985 г. [1-3] и был назван ангиогенином (от греч. *angion* – сосуд), это новый представитель семейства панкреатических рибонуклеаз, оказавшийся активным индуктором роста кровеносных сосудов. В 1988 г. ангиогенин был обнаружен в коровьем молоке. Структура, физико-химические и ферментативные свойства ангиогенина достаточно полно изучены [2-7].

Известно, что существует по крайней мере 3 молекулярные формы ангиогенина молока. Ангиогенин-1 – основной белок с изоэлектрической точкой более 9,5 рН. Наиболее значимыми для ферментативной активности ангиогенина-1 являются аминокислоты – гистидин и лизин. Другим ангиогенным белком молока является бычий ангиогенин-2 [3, 8-12]. Это одноцепочный полипептид из 123 аминокислотных остатков, имеет более высокую молекулярную массу – около 20 000. Гомологичность ангиогенина-2 ангиогенину-1 составляет 57 %. Третьей молекулярной формой ангиогенина в коровьем молоке является лактогенин. Его молекулярная масса составляет около

17000. Да. Этот белок не гомологичен ангиогенину-2, хотя и сходен с ним в некоторых позициях аминокислотной последовательности.

Молекулярные формы ангиогенина молока несколько различаются между собой как по активности, так и по субстратной специфичности. Их ферментативные свойства определяются не столько первичной структурой критических для нее довольно консервативных участков, сколько расположением их в молекуле, т. е. пространственной структурой.

Ангиогенин (рис. 1) (с греч. *angion* – «сосуд» и *genes* – «порождающий») – полифункциональный белок, обладающий уникальной рибонуклеазной (рибонуклеазолитической) активностью и являющийся мощным стимулятором образования кровеносных сосудов [5-12].

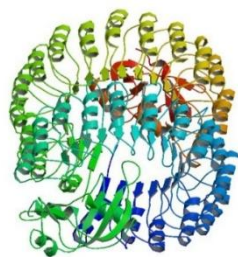


Рисунок 1 - Структурный вид ангиогенина

Свойства ангиогенина:

- Ранозаживляющий эффект
- Образование новых кровеносных (капиллярных) сосудов
- Защита организма в стрессовых ситуациях
- Антимикробная функция
- Лечение онкологических заболеваний.

На диаграмме (рис.2) представлены страны, в которых занимаются исследованием и получением ангиогенина. Как видно, в России эти исследования находятся на начальной стадии.

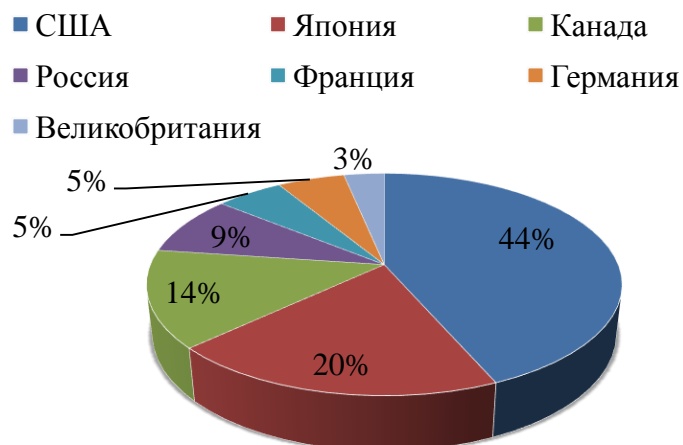


Рисунок 2 - Диаграмма стран

Литературные данные, касающиеся биохимических свойств ангиогенина из различных источников, свидетельствует об его полифункциональности [4,6,9].

Показано, что выделенные из коровьего молока ангиогенина-1 и лактогенин ингибируют синтез белка в лизатах ретикулоцитов кролика на 50 % при концентрациях ниже 100 нмоль. Выделенный из коровьего молока ангиогенин в концентрации $\approx 0,15$ мкг/мл контролирует образование меланина в клетках. Недавно обнаружен бактериостатический эффект ангиогенина. Он тормозит рост кишечной палочки. Возможно, что устойчивый к протеолитическим ферментам и низким значениям pH этот фермент является одним из неспецифических антимикробных факторов молока и может проявлять свое действие уже в желудочно-кишечном тракте [13-15]. Есть основание полагать, что ангиогенин молока участвует в передаче пассивного иммунитета при вскармливании молодняка, на что указывает его синтез в молочной железе и зависимость содержания в молоке от физиологических факторов, связанных с репродуктивной функцией лактирующих животных. Очевидно, не случайно в ранний период лактации в молоке, и особенно в молозиве, отмечается высокий уровень ангиогенина [16, 17].

Биологическая активность ангиогенина коровьего молока (в модификации кожной пробы по Г. С. Комоловой) исследована И. И. Ионовой (1998 г.) [1-4], показавшая активный рост кровеносных сосудов в коже ушной раковины и на роговице глаза крысы. Ангиогенин рассматривают также как активный фактор костеобразования [13-17].

С учетом известных физиологических функций ангиогенина, и в частности из молока, можно прогнозировать перспективу его применения в медицине и косметологии. Просматривается возможность получения из ангиогенина молока пищевых добавок к детским и диетическим продуктам специального назначения [11-17].

На сегодняшний день существует технология получения рекомбинантного ангиогенина, синтезируемого в лабораторных условиях путем встраивания гена человеческого ангиогенина в генетический аппарат бактерий *Escherichia coli* [1-6], что дает им возможность продуцировать человеческий ангиогенин. Данная технология является чрезвычайно трудоемкой, при этом объем получаемой продукции невелик, из чего следует его дороговизна и ограниченная доступность. Природный ангиогенин, находящийся в молоке и молочном сырье, по своим свойствам схож с рекомбинантным.

В России исследования по использованию ангиогенина находятся на начальной стадии. Исходя из этого, можно сделать вывод, что разработка технологии получения природного ангиогенина из молочного сырья является актуальной и перспективной задачей.

Преимущества предлагаемой технологии получения природного ангиогенина: увеличение объемов производства; менее трудоемкие производственные процессы; низкая себестоимость готовой продукции по сравнению с аналогами; увеличение доступности для потребителя; расширение ассортимента.

В (табл.1) приведены источники содержания природного и рекомбинантного ангиогенина [4].

Таблица 1 - Источники ангиогенина

Источник ангиогенина	Выход ангиогенина, мкг/л	Молекулярная масса, кДа	Аминокислотный состав
Природный			
Культуральная среда клеток Нт-29	0,5	14,0	124
Плазма крови быка	30-80	14,0	124
Плазма крови человека	60-150	14,0	124
Коровье молоко	2300-9000	14,577-14,599	125
Молочная сыворотка	500-800	14,577-14,599	125
Рекомбинантный			
Культуральная среда: Культуры клеток детенышей хомячка	400	14,0	123
Культуры E. Coli, % общего бактериального белка	1,5-3,0	14,0	123

Научной новизной будет являться: применение мембранных процессов, наиболее близких по своей сущности к биологическим процессам и разработка на их основе оптимальных режимных параметров процесса разделения молочного сырья, путем приближения к изоэлектрической точке выделяемого компонента, для получения биологически активного природного ангиогенина.

Методология и методы исследования (Methods)

В качестве сырья предлагается использовать молочную сыворотку, поскольку данный тип сырья широко распространен как в России, так и в Свердловской области, но при этом крайне мало используется, так как считается отходом производства. При этом содержание ангиогенина в сыворотке молока довольно велико.

Использовали свежую творожную и подсырную несоленую сыворотку, соответствующую ГОСТ Р 53438 – 2009 (табл. 2).

Таблица 2 - Состав молочной сыворотки (средние значения)

Параметры	Сыворотка творожная	Сыворотка подсырная
Белок общий, %	0,9	0,7
Лактоза, %	4,3	4,9
Жир, %	0,4	0,1
Минеральные вещества, %	0,7	0,6
СВ, %	6,2	6,4

Физико-химические показатели определяли по стандартным методикам. Ангиогенин определяли количественным методом путем хроматографической очистки сырья от избытка РНКазы перед проведением комбинированной пробы конкурентного взаимодействия панкреатической рибонуклеазы и ангиогенина с плацентарным ингибитором РНКазы. Общая и

активная кислотность определялась потенциометрическим методом по ГОСТ 15113.5-77 с использованием рН метра HI 2211(погрешность $\pm 0,03$ ед. рН).

Диапазон наших исследований находится в разделе «Сывороточные белки» (рис. 3). Молочная сыворотка при разделении в процессе ультрафильтрации не подвергается тепловому воздействию, а значит, сохраняются все полезные свойства сывороточных белков для извлечения активного ангиогенина.

Исследование процесса УФ проводилось в лабораторных условиях на установке (рис. 4). В экспериментах использовались полисульфонамидные – УПМ-20; 50М, ацетатцеллюлозные – УАМ-50П; 100П, а так же керамическая мембрана серии КУФЭ. Мембраны характеризуются «отсечками» по молекулярной массе 10; 30; 50; 100; 150 кДа.

Результаты (Results)

Основываясь на положении, что аминокислоты и, соответственно, белки являются по своей природе амфотерными молекулами, так как содержат и кислотные, и щелочные функциональные группы, мы предположили, что существует взаимосвязь между основными характеристиками процесса ультрафильтрации и активной кислотностью разделяемой молочной сыворотки. Эксперименты осуществлялись в диапазоне рН, при котором исследуемый продукт соответствует изоэлектрической точке ангиогенина, а также в небольшом интервале ($\pm 1,0 - 2,5$ ед. рН) за этими пределами, для исследования характера зависимости.

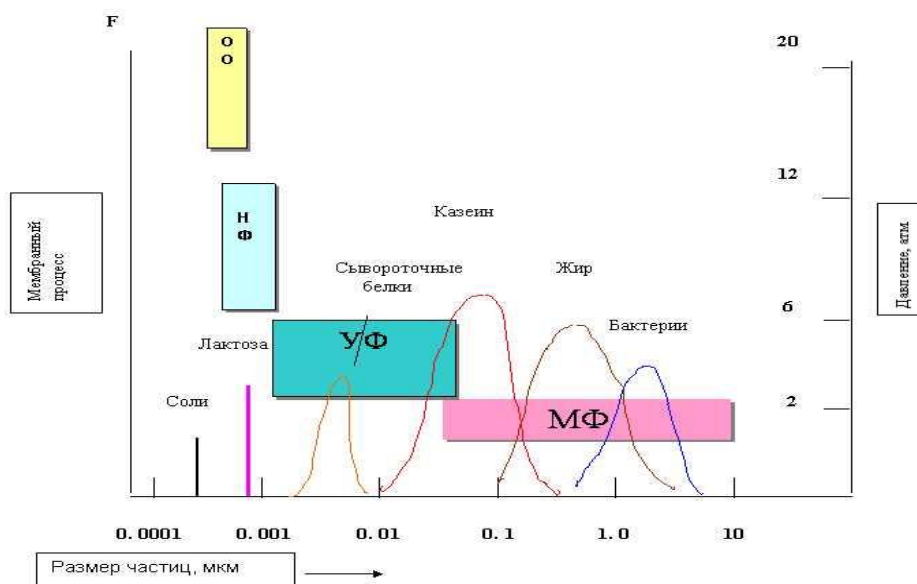
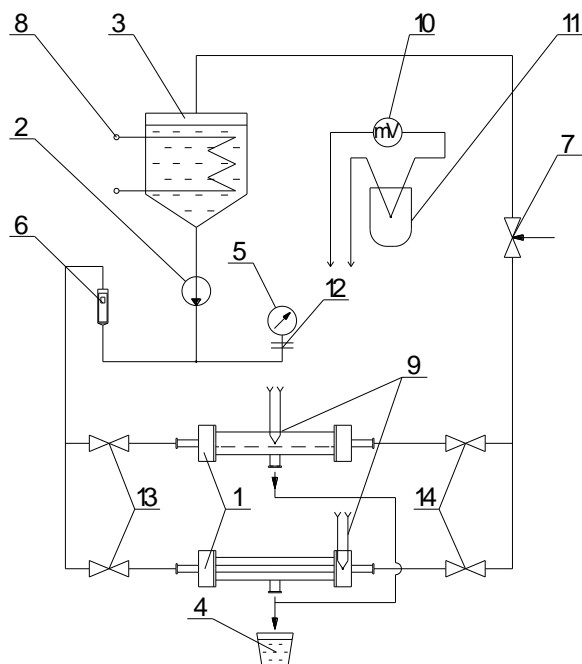


Рисунок 3 - Диапазон исследований

Зависимость проницаемости ультрафильтрационной мембраны по ангиогенину от активной кислотности сыворотки приведена на (рис. 5). Как видно из графика, проницаемость ультрафильтрационной мембраны существенно зависит от показателя рН исследуемого раствора. При увеличении щелочности, добавлением гидрокарбоната натрия, в диапазоне рН 8 – 10 ед.,

проницаемость возрастает, достигая максимального значения. Дальнейшее увеличение щелочности исследуемого раствора приводит сначала к стабилизации проницаемости (рН 9,5 ед.), а затем к ее резкому снижению.



1 – мембранная ячейка; 2 – насос; 3 – циркуляционный бак; 4 – бак для пермеата; 5 – манометр; 6 – ротаметр; 7 – вентиль регулировочный; 8 – змеевик; 9 –термопара; 10 – милливольтметр; 11 – сосуд Дьюара; 12 – разделитель; 13, 14 – вентили.

Рисунок 4 - Схема лабораторной установки:

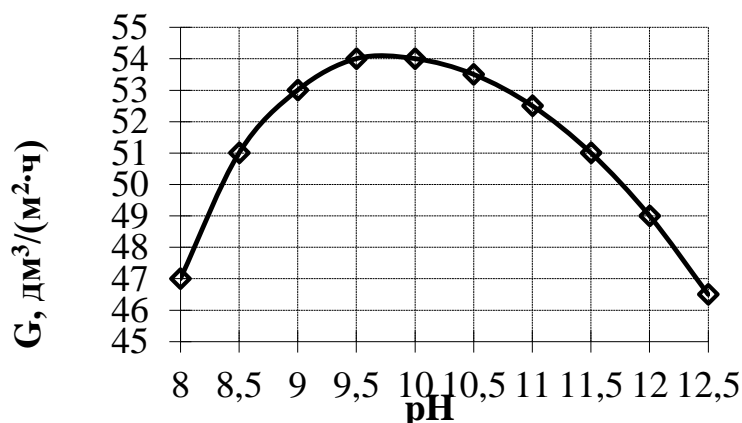


Рисунок 5 - Зависимость проницаемости ультрафильтрационной мембраны по ангиогенину от активной кислотности сыворотки

Максимальное значение проницаемости $G = 54 \text{ дм}^3 / (\text{м}^2 \text{ ч})$ наблюдается в интервале рН 9,5 – 10, что хорошо согласуется со значением активной кислотности изоэлектрической точки ангиогенина.

Селективность ультрафильтрационной мембраны по ангиогенину, при изменении рН в исследуемом диапазоне (рис. 6), изменяется значительно.

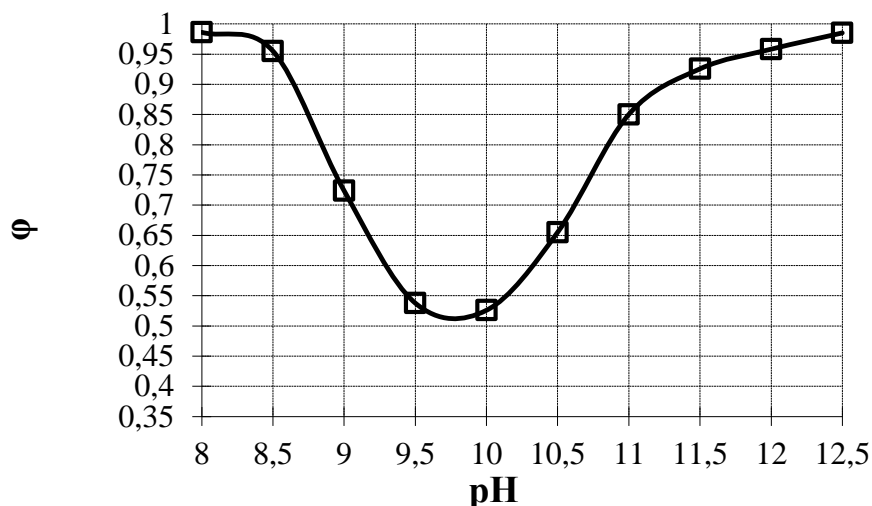


Рисунок 6 - Зависимость селективности ультрафильтрационной мембраны от активной кислотности сыыворотки

Наибольшие «провалы» селективности наблюдаются в областях рН, соответствующих изоэлектрической точке ангиогенина.

Проведенные эксперименты показали возможность влияния активной кислотности разделяемой молочной сыыворотки на процесс ультрафильтрации посредством приближения к изоэлектрической точке ангиогенина.

В лабораторных условиях из 10 литров творожной сыыворотки был получен водный раствор ангиогенина с концентрацией 8,5 мг/л.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

По результатам исследований разработана технологическая схема получения природного ангиогенина (рис. 7).



Рисунок 7 - Технологическая схема получения природного ангиогенина

Предполагается использовать технологию на молокоперерабатывающих предприятиях, при этом суточный объем производства будет составлять порядка 15-40 грамм готового продукта.

Оценка себестоимости готовой продукции составляет 60 руб./кг. Соответственно, стоимость суточного объема продукции будет составлять 900-2400 тыс. руб.

Библиографический список

1. Гидролазы [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://alternativa-sar.ru/tehnologu/mol/v-p-shidlovskaya-fermenty-moloka/1596-1-5-gidrolazy-3-j-klass>;
2. Комолова Г.С, Федорова Т.В. Ангиогенин молока. // Прикладная биохимия и микробиология. 2002. Т. 38. № 3. 229-236;
3. Strydom, D.J., Bond, M.D., and Vallee, B.L., *Eur. J. Biochem.*, 1997, vol. 247, no. 2, pp. 535-544 ;
4. Тихомирова Н. А. Научные и практические основы получения молочного сырья биологически активного вещества ангиогенина : Автореферат, 1999.- 48с;
5. А. Е. Гуляев, С. В. Лохвицкий, Б. А.Тусупханов . Ранозаживляющие эффекты рекомбинантного ангиогенина человека: Научная работа, 2010;
6. Миннигареев Б.У., Тимкин В.А. Получение биологически активного природного ангиогенина с применением баромембранной технологии: Статья .- Уральский ГАУ : 2019.- 58-60с.
7. Саматошенков И.В. Стимулирование ангиогенеза скелетной мышцы крысы путем прямого и клеточно-опосредованного введения рекомбинантного гена ангиогенина Морфология. 2020. Т. 157. № 1. С. 35-40.
8. Ельчанинов В.В. Некоторые технологические аспекты получения сывороточных белков коровьего молока 8. Получение ангиогенина Молочная промышленность. 2018. № 4. С. 40-41.
9. Тихомирова Н.А., Титов Е.И., Ионова И.И. Ресурсы вторичного сырья для создания инновационной продукции Переработка молока. 2017. № 10 (216). С. 48-51.
10. Тихомирова Н.А. Влияние гомогенизации на ангиогенин молока. Переработка молока. 2012. № 9 (155). С. 68-69.
11. Уметалиева А.Б., Габитов В.Х., Елясин П.А. Архитектоника кожи после термического воздействия в условиях применения ангиогенина Медицина и образование в Сибири. 2014. № 2. С. 63.
12. Гуляев А.Е., Шульгау З.Т., Сергазы Ш.Д., Ашуева З.И., Толыбекова А.А. Безопасность и переносимость гелевой формы рекомбинантного ангиогенина человека под торговым названием «Фармаген» при наружном применении у здоровых добровольцев Вестник СурГУ. Медицина. 2016. № 3 (29). С. 39-47.
13. Merkel A., Ashrafi A.M. An investigation on the application of pulsed electro dialysis reversal in whey desalination International Journal of Molecular Sciences. 2019. Т. 20. № 8. С. 1918.

14. Yee K.W.K., Wiley D.E., Bao J. Whey protein concentrate production by continuous ultrafiltration: operability under constant operating conditions *Journal of Membrane Science*. 2017. T. 290. № 1-2. C. 125-137.
15. Babenyshev S.P., Zhidkov V.E., Mamay D.S., Utkin V.P., Shapakov N.A. Ultrafiltration of modified milk whey *Foods and Raw Materials*. 2016. T. 4. № 2. C. 101-110.
16. Andreeva M.A., Gil V.V., Pismenskaya N.D., Dammak L., Kononenko N.A., Larchet C., Grande D., Nikonenko V.V. Mitigation of membrane scaling in electro dialysis by electroconvection enhancement, Ph Adjustment and pulsed electric field application *Journal of Membrane Science*. 2018. T. 549. C. 129-140.
17. Fedosov S.V., Maslennikov V.A., Osadchii Y.P., Markelov A.V. Pressure loss along the channel of a tubular membrane during the ultrafiltration of liquid media *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2020. T. 54. № 2. C. 380-387.

References

1. Hydrolases [Electronic resource].- Access mode: <https://alternativa-sar.ru/tehnologu/mol/v-p-shidlovskaya-fermenty-moloka/1596-1-5-gidrolazy-3-j-klass>;
2. Komolova G. S., Fedorova T. V. Milk angiogenin. // *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2002. Vol. 38. no. 3. 229-236;
3. Strydom, D.J., Bond, M.D., and Vallee, B.L., *Eur. J. Biochem.*, 1997, vol. 247, no. 2, pp. 535-544 ;
4. Tikhomirova N. A. Scientific and practical bases of obtaining dairy raw materials of biologically active substance angiogenin : Abstract, 1999. - 48c;
5. A. E. Gulyaev, S. V. Lokhvitsky, B. A. Tusuphanov . Wound-healing effects of recombinant human angiogenin: Scientific work, 2010;
6. Minnigareev B. U., Timkin V. A. Preparation of biologically active natural angiogenin using baromembrane technology: Article.- *Ural State Agrarian University* : 2019. - 58-60s.
7. Samatoshenkov I. V. Stimulation of rat skeletal muscle angiogenesis by direct and cell-mediated administration of the recombinant angiogenin gene *Morphology*. 2020. Vol. 157. No. 1. pp. 35-40.
8. Elchaninov V. V. Some technological aspects of obtaining whey proteins of cow's milk 8. Obtaining angiogenin *Dairy industry*. 2018. No. 4. pp. 40-41.
9. Tikhomirova N. A., Titov E. I., Ionova I. I. Resources of secondary raw materials for the creation of innovative products *Milk processing*. 2017. No. 10 (216). pp. 48-51.
10. Tikhomirova N. A. The effect of homogenization on milk angiogenin. *Milk processing*. 2012. No. 9 (155). pp. 68-69.

11. Umetalieva A. B., Gabitov V. Kh., Elyasin P. A. Architectonics of the skin after thermal exposure in the conditions of angiogenin application *Medicine and education in Siberia*. 2014. No. 2. p. 63.
12. Gulyaev A. E., Shulgau Z. T., Sergazy Sh. D., Ashueva Z. I., Tolybekova A. A. Safety and tolerability of the gel form of recombinant human angiogenin under the trade name "Farmagen" for external use in healthy volunteers *Vestnik SurGU. Medicine*. 2016. No. 3 (29). pp. 39-47.
13. Merkel A., Ashrafi A.M. An investigation on the application of pulsed electro dialysis reversal in whey desalination *International Journal of Molecular Sciences*. 2019. T. 20. № 8. C. 1918.
14. Yee K.W.K., Wiley D.E., Bao J. Whey protein concentrate production by continuous ultrafiltration: operability under constant operating conditions *Journal of Membrane Science*. 2017. T. 290. № 1-2. C. 125-137.
15. Babenyshev S.P., Zhidkov V.E., Mamay D.S., Utkin V.P., Shapakov N.A. Ultrafiltration of modified milk whey *Foods and Raw Materials*. 2016. T. 4. № 2. C. 101-110.
16. Andreeva M.A., Gil V.V., Pismenskaya N.D., Dammak L., Kononenko N.A., Larchet C., Grande D., Nikonenko V.V. Mitigation of membrane scaling in electro dialysis by electro convection enhancement, Ph Adjustment and pulsed electric field application *Journal of Membrane Science*. 2018. T. 549. C. 129-140.
17. Fedosov S.V., Maslennikov V.A., Osadchii Y.P., Markelov A.V. Pressure loss along the channel of a tubular membrane during the ultrafiltration of liquid media *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2020. T. 54. № 2. C. 380-387.

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИДЕРАТОВ ПО СИСТЕМЕ NO-TILL
ДЛЯ СЕВЕРНОГО РЕГИОНА КАЗАХСТАНА**

К.В. Гребенюк^{1*}

Костанайский филиал ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», г. Костанай,
Республика Казахстан.

*E-mail: kirill.grebenyuk.94@mail.ru)

Ключевые слова: сидераты, No-Till, агрохимический состав почвы, эрозия, органическое вещество.

Аннотация. В статье представлен анализ применения сидеральных культур по системе No-Till для климатических условий северного региона Казахстана. Для данного региона характерна сильная ветровая и водная эрозия, что оказывает негативные последствия для сельскохозяйственной деятельности данного региона. В качестве варианта решения данной проблемы предложен способ использования сидератов по технологии No-Till. Измельчение и использование сидератов в качестве мульчи на поверхности поля позволит обогатить почву органическим веществом, оструктурировать её, снизить плотность, что в свою очередь создаст оптимальные условия аэрации как пахотного, так и подпахотного слоев. Видовое многообразие сидеральных культур позволяет расширять их посевы, даже в тех регионах которые характеризуются недостатком тепла и осадков. Правильный выбор промежуточных культур и технологии их использования может оказать многоплановое и комплексное влияние на изменение агрофизических, агрохимических и биологических показателей различных типов почв.

**ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE USE OF SIDERATES ON THE
NO-TILL SYSTEM FOR THE NORTHERN REGION OF KAZAKHSTAN**

K.V. Grebenyuk^{1*}

¹Kostanay branch of «Scientific production center of agricultural engineering», Kostanay, Republic of Kazakhstan.

*E-mail: kirill.grebenyuk.94@mail.ru)

Abstract. The article presents an analysis of the use of green manure crops for the climatic conditions of the Northern region of Kazakhstan. This region is characterized by strong wind and water erosion, which has negative consequences for agricultural activities in this region. As a solution to this problem, a method of using green manure using the No-Till technology is proposed. Grinding and using

green manures as mulch on the surface of the field will enrich the soil with organic matter, structure it, reduce its density, which in turn will create optimal aeration conditions for both the arable and subsoil layers. The species diversity of green manure crops allows them to expand their crops, even in those regions that are characterized by a lack of heat and rainfall. The correct choice of catch crops can have a multifaceted and complex effect on the change in agrophysical, agrochemical and biological indicators of various types of soils.

Keywords: green manure, No-Till, soil agrochemical composition, erosion, organic matter.

Постановка проблемы (Introduction)

Наравне с цифровизацией сельского хозяйства, в современных условиях наращивают темп развития технологии возделывания сельскохозяйственных культур основанные на приемах биологического земледелия. Такой подход позволяет снизить разрушающий уровень техногенного воздействия на почву, не уменьшая эффективности ее использования.

Традиционная технология обработки земли помимо негативного влияния на окружающую среду, требует дополнительных затрат связанных с устранением чрезмерного воздействия на почву. Такое воздействие имеет как механический характер, так и химический (вследствие нерационального, неравномерного использования гербицидов, фунгицидов и минеральных удобрений), что негативным образом воздействуют на почвенную биоту и экосистему, ухудшая экологическое состояние ландшафта.

Имеющиеся на данном технологии производства сельскохозяйственных культур не в состоянии обеспечить полную реализацию генетического потенциала сорта в зональных почвенно-климатических условиях более чем на 65 %. Из этого следует вывод, что назрела необходимость перехода консервативного возделывания земли на принципиально новый, позволяющий нивелировать такие недостатки механической и химической обработки [1].

Методология и методы исследования (Methods)

Целью исследований является поиск эффективного способа использования сидеральных культур для повышения плодородия почвы.

Объектом теоретического исследования стала технология применения сидеральных культур по системе экологически чистого земледелия No-till. В ходе исследование Ебыли проанализированы основные аспекты ее использования, слабые и сильные стороны. Исследование проводилось на основе синтеза и анализа научно-технической литературы отечественных и зарубежных источников.

Результаты (Results)

Исследуя научно-техническую литературу, стоит отметить, что в ряде зарубежных стран в последнее десятилетие широко практикуется органическое земледелие, в частности применение сидеральных культур. Подобный метод используется в таких странах как Германия, Нидерланды,

Чехия, Словакия, в странах Западной Европы, а также Азии и Америки. Для этих стран использование зеленого удобрения в качестве промежуточных посевов различных культур является неотъемлемой частью современных биологизированных систем земледелия [2,3].

В Германии используют на зеленое удобрение около тридцати различных культур. Среди них: клевер, люпин, сераделла, вика, кормовые бобы, райграсс, рапс и другие. Во Франции применяют кормовой редис, горчицу белую, различные смеси с горохом и викой, китайскую редьку, яровой и озимой рапс, райграсс итальянский, клевер луговой. В Швейцарии рекомендуют как лучшую сидеральную культуру фацелию, хозяйственное значение которой также состоит в том, что она является медоносом. В Англии на зеленое удобрение используют кормовой редис, горчицу белую, различные смеси с горохом и викой, китайскую редьку, яровой и озимой рапс, итальянский райграсс. Известны различные комбинированные составы органических удобрений с использованием водорослей, птичьего помета, навоза и компоста [3-5].

Процесс сидерации стоит рассматривать, прежде всего, как многофакторный агротехнический прием, оказывающий благотворное влияние на почву, ее продуктивность, качество возделываемых и на окружающую среду. Сидераты являются источником азота и зольных элементов, необходимых для питания растений, а так же непосредственным энергетическим материалом для микробов и исходным материалом для гумуса [6].

По мнению отечественных и зарубежных ученых, следует уделять большое внимание биологическому фактору [7]. Это достигается путем увеличения объемов использования органических удобрений и сидератов. Несомненным плюсом сидератов является корневая система, которая, пронизывая глубокие слои почвы, обеспечивает так называемый «биологический» вертикальный дренаж. Из сидератов семейства крестцовых наиболее популярными являются рапс, масличная редька, горчица, сурепица, насыщающие грунт серой и фосфором. Весьма эффективными и экологичными сидеральными культурами являются бобовые: донник, клевер, вика, люцерна, чечевица, соевый, горох, нут, люпин, фасоль, сераделла. Они способствуют обогащению почвы органикой, усиливают биологическую активность, уменьшают потребность в минеральных удобрениях и при этом являются при этом достаточно дешевыми по отношению к другим культурам. Еще одним плюсом удобрений из бобовых культур является их способность обогащать почву азотом за счет фиксации азота атмосферы клубеньковыми бактериями. По этой причине сидераты семейства бобовых можно назвать фабрикой азотных удобрений, способной сложными машин, а лишь при помощи работы азотфиксирующих микроорганизмов связать огромное количество свободного азота воздуха в полезную форму органических соединений почвы. По имеющимся данным при заделке десяти тонн зеленой массы люпина почва обогащается азотом на 54-56 кг/га, клевера – на 62, гороха и кормовых бобов – на 52, лядвенца рогатого – на 59 кг/га. Важно и то, что удобрение почвы азотом, накопленным бобовыми растениями, не требует дополнительных затрат [8].

Получаемое органическое вещество сидеральной культуры можно рассматривать как эффективный резерв всех необходимых питательных веществ, который переходит в усвояемую форму не сразу, а постепенно, в течение всего вегетационного периода, обеспечивая непрерывный рост и развитие растений.

В рамках органического земледелия в европейских странах так же широко распространена система нулевой обработки «No-Till» (нулевая обработка) основанная на отказе от пахоты и любой другой поверхностной и глубокой обработки почвы. Данная технология широко применяется на почвах Северной и Южной Америке, Австралии. Мировым лидером применения технологии нулевой обработки является Аргентина: там, по данной технологии обрабатывается 81% посевных площадей страны [9].

Нулевая обработка предполагает щадящую обработку земли без нарушения структуры грунта. При использовании нулевой обработки оставшаяся на поле стерня не сжигается и не зарывается в землю. Все органические остатки измельчаются до определенного размера и в виде мульчи равномерно распределяются по полю из чего следует, что главным требованием при обработке земли данным способом является ее ровная поверхность.

Одним из ключевых элементов технологии No-Till является севооборот. Большая роль в севообороте отводится сидератам, которые не только улучшают грунт, но и играют важную роль в борьбе с сорняками и заменяют в этом аспекте пахоту. При нулевой обработке не используются удобрения и ядохимикаты [10].

До начала внедрения системы No-Till необходимо подговорить поле: провести глубокое рыхление, вспашку, боронование. Основной критерий – ровная поверхность. После проведения данных операций рекомендуется засеять поле сидеральными культурами.

К недостаткам системы стоит отнести ограниченность ее применения на избыточно увлажнённых, заболоченных грунтах, где она может быть использована только при наличии хороших дренажных систем. На таких грунтах имеет смысл вести сельское хозяйство преимущественно традиционным способом либо финансировать устройство дренажных систем. Другим недостатком системы No-Till является ее относительная сложность и необходимость строгого соблюдения агрокультуры – все севообороты, виды и нормы использования ядохимикатов и т. п. должны быть подобраны специально для конкретного хозяйства исходя из учёта климата, грунта и других, характерных для данной местности факторов.

Климатические условия северного региона Казахстана имеют ряд специфических особенностей осложняющих сельскохозяйственную деятельность. В первую очередь это связано с неравным распределением осадков, холодной зимой, жарким летом и сильной ветровой и водной эрозией. Но, несмотря на эти факторы, северный регион Казахстан является основным земледельческим регионом Республики из чего следует, что любые возможности уменьшения рисков потерь урожая являются чрезвычайно важными.

В большинстве крупных и мелких сельскохозяйственных организаций северного региона Казахстана отсутствуют севообороты. В основном там применяется чередование двух – трех культур, что напрямую связано со сложившейся экономической ситуацией - когда главным фактором выступает получение прибыли, а вопросы сохранения и воспроизводства почвенного плодородия отходят на второй план. В сложившихся условиях частично решить данную проблему возможно применение сидеральных культур совместно с системой No-Till [11].

Известно три технологии использования сидеральных культур – рисунок 1. Первый способ предусматривает скашивание и укладку сидератов на поверхности почвы с последующей заделкой на глубину до 25-30 см (отвальная вспашка). Второй способ подразумевает скашивание или прикатывание с укладкой на поверхности почвы, после которых проводится измельчение и заделка на глубину до 12-16 см.

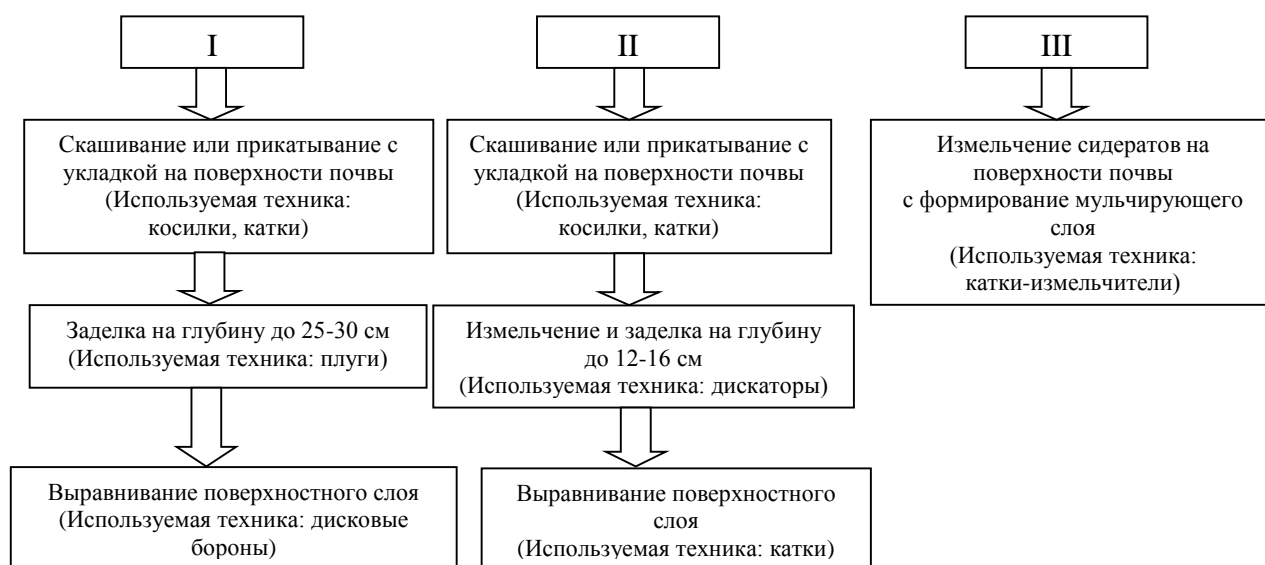


Рисунок 1 – Способы использования сидеральных культур

Стоит отметить, что как для первого способа, так и для второго требуется проведение третьей сельскохозяйственной операции направленной на выравнивание поверхности (боронование, прикатывание) [12]. Принцип действия третьего способа проводится по системе No-Till и отличается своей простой и экономичностью. Для его реализации используется всего одно орудие – каток измельчитель. Во время технологической обработки поля данное орудие вращается и тем самым расположенные на барабане ножи перерезают растения, измельчая их и прижимая к земле, что в свою очередь способствует активации почвенных микроорганизмов [13,14].

Исследуя имеющиеся способы, стоит отметить, что для первого и второго способа характерны довольно весомые экономические и эксплуатационные затраты. Так же для подверженных водной и ветровой эрозии почв северного региона Казахстана эффективность данных методов будет нивелироваться необходимой частой механической обработкой почвы и может, в конечном счете,

привести к ее истощению. В свете имеющихся фактов способ измельчения и прикатывания сидератов по системе No-Till представляется наиболее эффективным.

К основным преимуществам данного метода стоит отнести:

- экономии ресурсов (горючее, удобрения, трудозатраты, времени, снижение амортизации);
- сохранение и восстановление плодородного почвенного состава почвы;
- снижение или же даже полное предотвращение эрозии;
- возможность накопления влаги.

Измельчение растительных остатков и их частичная либо полная заделка в почву позволяет снизить потери гумуса и тем самым улучшить плодородие, но немаловажным вопросом является утилизация растительных остатков, которые ввиду своего размера и массы до измельчения, могут осложнить работу почвообрабатывающих и высевающих орудий. Главным критерием в данном случае является качество измельчения сидеральных культур и их равномерное распределение по всему полю. В этом плане катки-измельчители - вне конкуренции [15]. Ни один механизм не может обеспечить распределение растений по полю лучше, чем природа - когда остатки остаются на том же месте, где и росло растение - рисунок 2.

Благодаря тому, что по принципу своей работы катки-измельчители после прохода по полю оставляют измельченные остатки растений там же где они и росли, в дополнительном распределении нет никакой необходимости. Другим преимуществом катков-измельчителей перед своими аналогами является их возможность частичного перемешивания растительных остатков с почвой, после их измельчения, что является главным условием ускоренного их разложения.

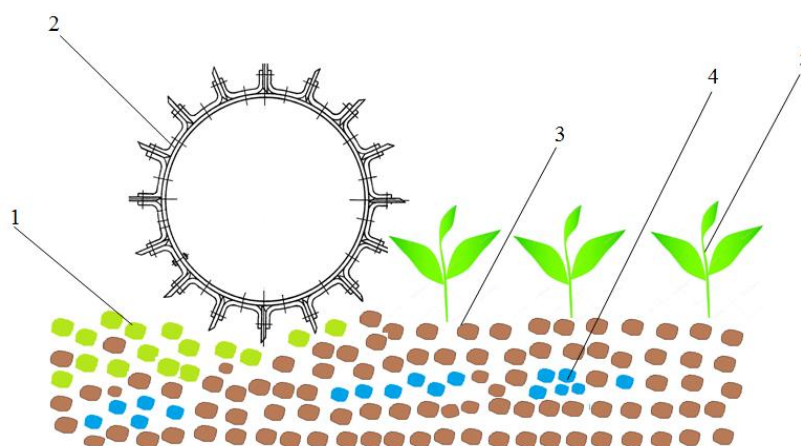


Рисунок 2 – Схема работы катка-измельчителя

1 – Измельченные остатки (мульчирующий слой); 2 – Рабочий орган; 3 – Грунт;

4 – Влага; 5 – Сидеральная культура

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Подводя итог всему вышесказанному можно сказать, что применение сидеральных культур

на почвах северного региона Казахстана является целесообразным и эффективным. Почвы данного региона ежегодно испытывают серьезные климатически нагрузки, лишаящие поверхностный слой плодородия. Сидераты позволяют восполнить запасы гумуса, обогатить грунт азотом, фосфором и прочими полезными для культурных растений макро и микроэлементами, а так же снизить губительное воздействие ветровой и водной эрозии.

Особый интерес в качестве культур возделываемых на зеленое удобрение представляют такие растения как: клевер, люцерна и люпин, во многом благодаря способности адаптироваться для возделывания в различных почвенно-климатических условиях нашей страны, благодаря своей холодостойкости, короткому вегетационному периоду, способности интенсивно наращивать зеленую массу, богатую протеином, сравнительно низким затратам на их возделывание и высокому коэффициенту размножения семян.

Благодаря принципиальным особенностям работы катки-измельчители являются наиболее эффективными орудиями для обработки сидеральных паров. Простота конструкции и технологии, позволяет им обеспечить хорошую надежность и работоспособность.

Одним из основных сдерживающих факторов выбора новых технологий является ожидаемый результат. Традиционные технологии возделывания земли позволяют получать относительно стабильные результаты, а новые системы требуют необходимых знаний и затрат взамен теоретического улучшения урожайности и качества обрабатываемой земли в целом. Не многие фермеры рискуют экспериментировать с чем-то новым, поэтому на данном этапе развития системы No-Till данная проблема является одной из наиболее приоритетных.

Библиографический список

1 Кириленко Ю.П. Биологическое земледелие с позиции инженера. Система ведения биологического земледелия в мелкотоварном сельскохозяйственном производстве // Зея. 2005. – 112 с.

2 Guillaume B., Konstantin G., Luca B., Sokrat S. Responses of soil properties and crop yields to different inorganic and organic amendments in a Swiss conventional farming system // Agriculture, Ecosystems & Environment. – 2016. – V.230. – P.116-126.

3 Schrama M., Haan J.J., Kroonen M., Verstegen H., Van der Putten W.H. Crop yield gap and stability in organic and conventional farming systems // Agriculture, Ecosystems and Environment. – 2017. – V.256. – P.123-130.

4 Heinrichs J., Kuhn T., Pahmeyer C., Britz W. Economic effects of plot sizes and farm-plot distances in organic and conventional farming systems: A farm-level analysis for Germany // Agricultural Systems. – 2021. – V.187. – P. 78-90.

5 Rupani, P.F., Embrandiri, A., Ibrahim, M.H. et al. Bioremediation of palm industry wastes using vermicomposting technology: its environmental application as green fertilizer // 3 Biotech. – 2017. – V.7–P.187-203.

6 Аюпов, З.З., Рыцева Н. Г. Продуктивность полевых севооборотов в зависимости от системы основной обработки почвы и удобрений // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 2. – С. 10-12.

7 Матюк Н. С., Солдатова С. С., Кащеева Д. В. Эффективность сидератов в экологизации и биологизации земледелия. // Главный агроном. – 2012. – № 7. – С. 7-11.

8 Немцев С.Н. Экономическая эффективность обработки почвы в севообороте // Земледелие. – 2004. – № 6. – С.14-15.

9 Кузьминых А. Н. Сидераты – важный резерв сохранения плодородия почвы // Земледелие. – 2011. – № 4. – С. 41.

10 Новоселов С.И., Горохов С.А., Новоселова Е.С., Эффективность сидеральных удобрений в севообороте // Плодородие. – 2012. – № 5. – С. 27–28.

11 Липкович Э.И., Бельтюков Л.П., Бондаренко А.М. Органическая система земледелия // Техника и оборудование для села. – 2014. – №8. – С. 2-7.

12 Бобков С.И., Астафьев В.Л. Определение затрат мощности на измельчение сидератов на поверхности почвы для формирования мульчирующего слоя в технологии органического земледелия // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 3. – С. 14-17.

13 Кленин Н.И., Сакур В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины – М.: Колос. – 1994. – 751с.

14 Буць В.И. Диверсификация крестьянских (фермерских) хозяйств в аспекте применения почвозащитных технологий растениеводства // Развитие и внедрение современных наукоемких технологий для модернизации агропромышленного комплекса: сб. материалов междунар. научно-практ. конф. (5 ноября 2020) – Курган: Изд-во Курганской ГСХА. – 2020. – С.67-72.

15 Андреева Е.В. Разработка ресурсосберегающих комбинированных орудий для поверхностной обработки почвы // Инженерно-техническое обеспечение АПК. – 2011. – № 2. – 519 с.

References

1 Kirilenko Yu.P. Biological farming from the position of an engineer. The system of biological farming in small-scale agricultural production // Zeya. 2005 . – 112 p.

2 Guillaume B., Konstantin G., Luca B., Sokrat S. Responses of soil properties and crop yields to different inorganic and organic amendments in a Swiss conventional farming system //Agriculture, Ecosystems & Environment. – 2016. – V.230. – P.116-126.

3 Schrama M., Haan J.J., Kroonen M., Verstegen H., Van der Putten W.H. Crop yield gap and stability in organic and conventional farming systems // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. – 2017. – V.256. – P.123-130.

4 Heinrichs J., Kuhn T., Pahmeyer C., Britz W. Economic effects of plot sizes and farm-plot distances in organic and conventional farming systems: A farm-level analysis for Germany // *Agricultural Systems*. – 2021. – V.187. – P. 78-90.

5 Rupani, P.F., Embrandiri, A., Ibrahim, M.H. et al. Bioremediation of palm industry wastes using vermicomposting technology: its environmental application as green fertilizer // *3 Biotech*. – 2017. – V.7–P.187-203.

6 Ayupov, Z.Z., Rytseva N.G. Productivity of field crop rotations depending on the system of basic tillage and fertilizers // *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. – 2010. – No. 2. – P. 10-12.

7 Matyuk NS, Soldatova SS, Kashcheeva DV The effectiveness of green manure in the greening and biologization of agriculture. // *Chief agronomist*. - 2012. - No. 7. - S. 7-11.

8 Nemtsev S.N. Economic efficiency of tillage in crop rotation // *Agriculture*. – 2004. – No. 6. – P.14-15.

9 Kuzminykh A.N. Siderata - an important reserve of soil fertility preservation // *Agriculture*. – 2011. – No. 4. – P. 41.

10 Novoselov S.I., Gorokhov S.A., Novoselova E.S., The effectiveness of green manure fertilizers in crop rotation // *Fertility*. – 2012. – No. 5. – P. 27–28.

11 Lipkovich E.I., Beltyukov L.P., Bondarenko A.M. Organic farming system // *Rural machinery and equipment*. – 2014. – No. 8. – P. 2-7.

12 Bobkov S.I., Astafiev V.L. Determination of the power consumption for grinding siderates on the soil surface for the formation of a mulch layer in the technology of organic farming // *Technics and equipment for the village*. - 2017. – No. 3. – P. 14-17.

13 Klenin N.I., Sakun V.A. *Agricultural and reclamation machines - M. : Kolos*. – 1994. – 751p.

14 Buts V.I. Diversification of peasant (farmer) households in the aspect of application of soil-protective technologies of crop production // *Development and implementation of modern science-intensive technologies for the modernization of the agro-industrial complex: collection of articles. materials international. scientific and practical. conf. (November 5, 2020) - Kurgan: Publishing house of the Kurgan State Agricultural Academy*. – 2020. – P. 67-72.

15 Andreeva E.V. Development of resource-saving combined tools for surface tillage // *Engineering and technical support AIC*. – 2011. – No. 2. – 519 p.

КОМПЛЕКС МАШИН ПО РЕАЛИЗАЦИИ ГРЯДОВО-ЛЕНТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛОВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ НА СУГЛИНИСТЫХ ПОЧВАХ

Б.Л. Охотников¹, М.Н. Салихова^{1*}

¹ ФГБОУ ВО Уральский ГАУ, Россия, Екатеринбург.

* E-mail: salmar1981@mail.ru

Аннотация. Многие исследования отмечают необходимость учитывать типы почв при выборе технологии и техники для возделывания тех или иных культур. Особое значение такого выбора относится к корнеплодам и картофелю, так как имеет место при этом неблагоприятное воздействие ходового аппарата машинно-тракторных агрегатов на структурное состояние почвы при выполнении технологических операций по подготовке почвы и уходу за посадками.

Испытания комплекса машин по возделыванию картофеля выполнены в следующих условиях. Почвы опытного поля – средние суглинки, типичные для Среднего Урала. Площадь поля 2,5 гектара. Испытания проводились согласно методике эксплуатационной оценки сельхозмашин [1 и др.]. Подготовка почвы под посадку проведена агрегатом в составе трактора МТЗ-80 и культиватора ККР-2,8.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат (МТА), картофель, гребень, гряда, технические средства, посадка, производительность, обработка, уборка.

COMPLEX OF MACHINES FOR THE IMPLEMENTATION OF RIDGE-BELT TECHNOLOGY OF CULTIVATION OF POTATOES ON LAYOUS SOILS

B.L. Okhotnikov¹, M.N. Salikhova^{1*}

¹ FSBEI HE Ural SAU, Ekaterinburg, Russia

* E-mail: salmar1981@mail.ru

Abstract. Many studies note the need to take into account soil types when choosing technology and equipment for the cultivation of certain crops. The particular importance of such a choice relates to root crops and potatoes, since in this case there is an unfavorable effect of the running apparatus of machine-tractor units on the structural state of the soil when performing technological operations for preparing the soil and caring for plantings.

The tests of the set of machines for the cultivation of potatoes were carried out under the following conditions. The soils of the experimental field are medium loam typical for the Middle Urals. The field area is 2.5 hectares. The tests were carried out according to the method of operational assessment of agricultural machines [1, etc.]. The preparation of the soil for planting was carried out with a unit consisting of an MTZ-80 tractor and a KKR-2.8 cultivator.

Keywords: machine-tractor unit (МТА), potatoes, ridge, ridge, technical means, planting, productivity, processing, harvesting.

Постановка проблемы (Introduction)

На применение технологий при посадке, возделывании картофеля на всех стадиях и на отдельно проводимые технологические операции влияет [3,4]:

- разнообразие почвенного грунта;
- климатические условия (учитываются изменения, колебания по годам);
- особенность сорта и продолжительность вегетации (ранние сорта, среднеранние, среднеспелые, среднепоздние и позднеспелые сорта);
- назначение картофеля (семена, продовольственные, кормовые цели и т.д.). Так же следует учесть тот факт, что при проведении технологических операций по подготовке почвы и уходу за посадками имеет место неблагоприятное воздействие ходового аппарата машинно-тракторных агрегатов на структурное состояние почв.

Нарушение или несоблюдение технологии, а именно:

- сроков проведения работ,
- комплектования машинно-тракторных агрегатов,
- регулировок машин и т.д. приводит к снижению качества, уменьшению урожайности клубней картофеля, а также влияет на увеличение затрат труда и денежных средств не только на конечный продукт, но и на затраты энергии – (топливо, электроэнергия) [5,6].

Рекомендуемый комплекс машин для возделывания картофеля в условиях Среднего Урала обеспечит заданную урожайность и уровень рентабельности, а также снизит эксплуатационные затраты, себестоимость картофеля и затраты труда [10].

Методология и методы исследования (Methods)

Основной задачей исследования было определение производительности агрегата и технологической применимости его для полосной обработки почвы перед посадкой активными рабочими органами. За один проход агрегата обрабатывались две полосы шириной 70 см каждая.

При работе агрегата обрабатывались полосы по следу колес трактора. Необработанные полосы остаются уплотненными, что является положительным для двухполосной обработки [7,8 и др.].

Посадка картофеля выполнялась сажалкой СН-4Б в агрегате с трактором МТЗ-80.

Междурядная обработка посадок с дооформлением гряд проведена агрегатом МТЗ-80 + ККР-2,8 + грядообразователь. Следующая междурядная обработка с дооформлением гряд проведена культиватором КРН-2,8 с дисковыми и окучивающими рабочими органами.

Уборка урожая проводилась комбайном ККУ-2А с трактором МТЗ-80 (первая передача). Для уборки с гряд потребовалась модернизация ходового аппарата в виде удлинения полуоси левого ходового колеса на 700 мм.

На рисунках 1 и 2 представлено состояние поля при грядовой и гребневой посадках картофеля. На гребневом участке ботва уже сомкнулась, а на грядах борозды свободны.



Рисунок 1 - Состояние посадок при выращивании картофеля в гребнях



Рисунок 2 - Состояние посадок, при выращивании картофеля в грядах

Результаты (Results)

Производительность уборочного агрегата за час чистой работы составила 0,14 гектара, с учетом времени на повороты и разгрузку - 0,12 га/ч.

На рисунке 3 представлен снимок вороха картофеля в бункере комбайна. Состояние вороха свидетельствует о том, что комбайн обеспечивает удовлетворительную сепарацию при уборке картофеля, возделываемого по грядово-ленточной технологии с предпосадочной подготовкой почвы путем полосного фрезерования и формированием гряд в сочетании с междурядной обработкой одной и той же машиной.



Рисунок 3 - Состояние вороха картофеля в бункере комбайна ККУ-2А при уборке с гряд

Засоренность вороха при этом в три раза ниже, чем при гребневой технологии возделывания. Наблюдения за уборкой в опытах показали, что на участках гребневой технологии комбайн приходилось останавливать для удаления почвенных примесей.

На участках с использованием грядово-ленточной технологии таких остановок не наблюдалось. Производительность комбайна из-за остановок значительно ниже при уборке с гребней. Чистота вороха с гребней значительно уступает чистоте при уборке с гряд.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Проведенные экспериментальные исследования позволили сделать следующие выводы и сформулировать предложения.

1. Грядово-ленточная технология может быть реализована в Уральском регионе.
2. В зависимости от почвенно-климатических условий и применяемого способа формирования КНС урожайность картофеля на грядах по отдельным вариантам на 10...25% выше, чем на гребнях.

3. Возделывание картофеля на средних и тяжелых почвах диктует необходимость применения активных рабочих органов, которые требуют больших затрат энергии.

4. Полосное фрезерование при возделывании картофеля на грядах является одним из путей экономии энергии.

5. Проведенные исследования позволили обосновать перечень операций и технические средства для их выполнения по вариантам грядово-ленточной технологии возделывания и уборки картофеля.

4. Наряду с преимуществами грядово-ленточной технологии выявлены некоторые недостатки:

- технология требует модернизации картофелесажалок;

- конструкция культиватора ККР-2,8 не позволяет сформировать гряды высотой 35 см, т.к. боковины машины бороздят соседние гряды. Требуется применять секционные фрезерные машины или удлинять рабочие органы.

Указанные выше недостатки устранимы путем введения особых технологических приемов формирования гряды и модернизацией технических средств.

Библиографический список

1. ГОСТ 52778 – Испытания с.-х. техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки. М. 2008.

2. Кардашевский и др. Испытания сельскохозяйственной техники. – М.: Машиностроение, 1979.

3. Первушин В.Ф. Совершенствование технологических операций по уходу за растениями картофеля / В.Ф. Первушин // Вестник ФГОУ ВПО Московского ГАУ, 2004.

4. Технология растениеводства/ Фирсов И.П. - М.: КолосС, 2005.-472 с.

5. Пласов В.И. Возделывание картофеля по интенсивным технологиям / В.И. Пласов // Технический сервис в АПК. 1992. - № 2. - С. 9-12.

6. Производство картофеля: возделывание, уборка, послеуборочная доработка, хранение. Справочник/ Писарев Б.А. - М.: Росагропромиздат, 1990. - 221 с.

7. Охотников Б.Л. Повышение эффективности механизированных процессов производства картофеля в зоне Урала путем совершенствования технических средств для ресурсоемких технологических операций [текст]: Дис. докт. техн. наук.: 05.20.01/ Охотников Борис Лазаревич - Челябинск, 2009. - 273 с.

8. Охотников Б.Л. Производственные условия и технические средства повышения рентабельности возделывания картофеля / Б.Л. Охотников. -Екатеринбург, 2002. 136 с.

9. Колчин Н.Н. Специальная техника для производства картофеля в хозяйствах малых форм / Н.Н. Колчин, Н.В. Бышов, С.Н. Борычев [и др.] // Тракторы и сельхозмашины: Москва. – 2012. - №5. – С.48-55.

10. Карпухин М. Ю., Багрецов Д. Н. Особенности выращивания картофеля на Среднем Урале (сорта и технологии) // Аграрное образование и наука. 2021. № 1. С. 1.

References

1. GOST 52778 - Tests with.-kh. technology. Operational and technological assessment methods. М. 2008.
2. Kardashevsky and others. Tests of agricultural machinery. - М.: Mechanical Engineering, 1979.
3. Pervushin, V.F. Improvement of technological operations for the care of potato plants / V.F. Pervushin // Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education of the Moscow State Agrarian University, 2004.
4. Technology of plant growing / Firsov I.P. - М.: KolosS, 2005.-472 p.
5. Plasov, V.I. Potato cultivation using intensive technologies / V.I. Plasov // Technical service in the agro-industrial complex. 1992. - No. 2. - S. 9-12.
6. Potato production: cultivation, harvesting, post-harvest processing, storage. Reference / Pisarev B.A. - М.: Rosagropromizdat, 1990.-- 221 p.
7. Okhotnikov, B.L. Improving the efficiency of mechanized potato production processes in the Urals zone by improving technical means for resource-intensive technological operations [text]: Dis. doct. tech. Sciences.: 05.20.01 / Okhotnikov Boris Lazarevich - Chelyabinsk, 2009.- 273 p.
8. Okhotnikov, B.L. Production conditions and technical means of increasing the profitability of potato cultivation / B.L. Hunters. - Yekaterinburg, 2002.136 p.
9. Kolchin, N.N. Special equipment for the production of potatoes in small farms / N.N. Kolchin, N.V. Byshov, S.N. Borychev [and others] // Tractors and agricultural machines: Moscow. - 2012. - No. 5. - S. 48-55.
10. Karpukhin M. Yu., Bagretsov DN Features of growing potatoes in the Middle Urals (varieties and technologies) // Agrarian education and science. 2021. No. 1.P. 1.

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ ПО КРАЕВОМУ УГЛУ СМАЧИВАНИЯ

В.В. Вахрушев ^{1*}, Н.М. Иванов ¹, А.Е. Немцев ¹

¹Сибирский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Сибирского федерального научного центра агробιοтехнологий Российской академии наук, г. Новосибирск, Россия,

*e-mail: my-disk21@yandex.ru,

Аннотация. Проблемы, связанные с повышением надежности и долговечности двигателей внутреннего сгорания в значительной степени зависят от качества используемых топливо-смазочных материалов.

Одним из показателей качества работающего моторного масла является краевой угол смачивания. Он позволяет оценить загрязненность масла нерастворимыми продуктами и способность масел их диспергировать.

Метод заключается в определении диспергирующе-стабилизирующих свойств (ДСС) работающего моторного масла, степени загрязнения масла по краевому углу смачивания масла на поверхность субстрата.

Моторное масло является коллоидной жидкостью, которая делится на слои. В верхней части капли находится присадка, которая коагулирует твердые загрязнители, в нижней части базовое масло с жидким загрязнителем. Такой способ обеспечивает однозначную оценку, диспергирующих и стабилизирующих свойств работающих масел, поскольку учитывается угол смачивания в разных слоях капли моторного масла.

Загрязненности моторного масла механическими примесями, характеризующие диспергирующие свойства работающего моторного масла, определяются углом в верхнем слое моторного масла.

Оценка краевого угла смачивания заключается в определении границ растекания моторного масла по поверхности субстрата.

Экспериментальные исследования показали, что: угол смачивания работоспособного моторного масла на поверхностях изменяется в пределах:

на стальном субстрате от 5,36° до 20,62°

на медном субстрате от 7,45° до 20,39°

на субстрате подшипника скольжения от $6,62^\circ$ до $11,73^\circ$.

Однако по результатам исследования было выявлено, что субстрат, изготовленный из подшипника скольжения, смачивается при любом содержании загрязнителей. Из чего следует, что за критерий краевого угла смачивания необходимо принимать субстраты на основе стали (чугуна) и меди, поскольку они в большей мере отражают диагностический признак.

Ключевые слова: краевой угол смачивания, охлаждающая жидкость, тосол, моторное топливо, субстрат, масляная пленка.

ESTIMATION OF THE PERFORMANCE OF MOTOR OILS ON EDGE WETTING ANGLE

Vakhrushev V.V.^{1*}, Ivanov N. M.¹, Nemtsev A. E.¹

¹Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk region, Novosibirsk district, Krasnoobsk village, Russia, 633501

*e-mail: my-disk21@yandex.ru,

Abstract. The problems associated with increasing the reliability and durability of internal combustion engines largely depend on the quality of the fuel and lubricants used. One of the indicators of the quality of a working engine oil is the contact angle. It allows you to assess the contamination of oil with insoluble products and the ability of oils to disperse them. The method consists in determining the dispersing and stabilizing properties (DSS) of the operating engine oil, the degree of oil contamination by the boundary angle of oil wetting on the substrate surface. Motor oil is a colloidal liquid that breaks down into layers. In the upper part of the droplet there is an additive that coagulates solid contaminants, in the lower part there is a base oil with a liquid contaminant. This method provides an unambiguous assessment of the dispersing and stabilizing properties of operating oils, since the angle of wetting in different layers of a drop of engine oil is taken into account. The contamination of the engine oil with mechanical impurities, which characterize the dispersing properties of the operating engine oil, is determined by the angle in the upper layer of the engine oil. The estimation of the contact angle of wetting consists in determining the boundaries of the spreading of motor oil over the surface of the substrate. Experimental studies have shown that: the wetting angle of an efficient engine oil on surfaces varies within: on a steel substrate from 5.36° to 20.62° on a copper substrate from 7.45° to 20.39° on the plain bearing substrate from 6.62° to 11.73° . However, according to the results of the study, it was found that the substrate made of plain bearings is wetted at any content of contaminants. From which it follows that substrates based on steel (cast iron) and copper should be taken as the criterion for the wetting angle, since they reflect the diagnostic feature to a greater extent.

Keywords: contact angle, coolant, antifreeze, motor fuel, substrate, oil film.

Постановка проблемы (Introduction).

Для оценки однозначности показателей качества работающего моторного масла целесообразно измерение краевого угла смачивания, который позволяет оценить загрязнённость масла нерастворимыми продуктами и способности масел их диспергировать.

Метод заключается в определении диспергирующе-стабилизирующих свойств работающего моторного масла, степени загрязнения масла по краевому углу смачивания масла на поверхность субстрата.

Краевой угол смачивания θ или $\cos \theta$ является характеристикой гидрофильности (гидрофобности) поверхности. Он определяется как угол между касательной АВ, проведённой к поверхности смачивающей жидкости, и смачиваемой поверхностью твердого тела АА, при этом θ всегда отсчитывается от касательной в сторону жидкой фазы. Касательную проводят через точку соприкосновения трех фаз: твердой фазы (мембраны), жидкости (дистиллированная вода) и газа (воздух) [1,2].

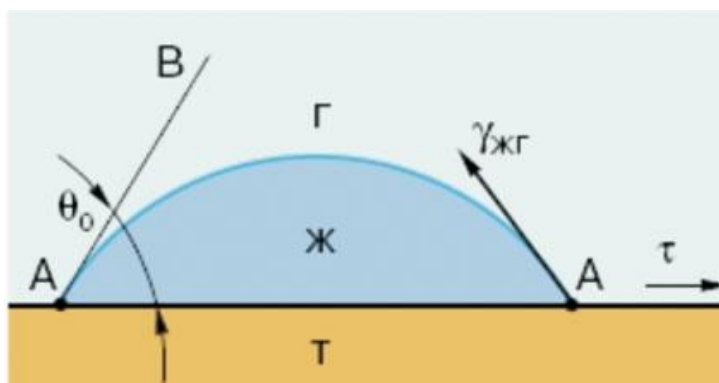


Рисунок 1 – Измерение краевого угла смачивания

В соответствии с теорией, краевой угол определяется конкуренцией двух действующих сил. Одна сила - это притяжение молекул жидкости к ближайшим молекулам жидкости на поверхности капли. Другая сила - сила адгезии создается притяжением молекул к ближайшим молекулам на поверхности твердого тела и молекулам газа. Эта сила направлена вдоль поверхности твердого тела во внешнюю сторону [1, 3,].

Краевой угол смачивания находят из условия механического равновесия, по основным параметрам капли моторного масла, нанесенного на поверхность субстрата:

$$\cos \theta = \frac{(d/2)^2 - h^2}{(d/2)^2 + h^2}, \quad (1)$$

где d – диаметр основания капли, мм, (рисунок 1);

h - высота капли, мм.

Работоспособным состоянием для моторного масла является состояние, характеризующееся высокой энергией поверхностного натяжения, обеспечивающей неразрывность масляной пленки и ее стабильное температурное состояние.

Моторное масло - коллоидная жидкость, которая разделяемая на слои. В верхней части капли находится присадка, которая коагулирует твердые загрязнители, в нижней части базовое масло с жидким загрязнителем. Такой способ обеспечивает однозначную оценку, диспергирующих и стабилизирующих свойств работающих масел, поскольку учитывается угол смачивания в разных слоях капли моторного масла [4,5].

Острый угол в нижнем слое является показателем адсорбционной активности либо базового масла, либо свидетельствует о наличии высокой концентрации моторного топлива в работающем моторном масле [6].

Относительно большой угол в нижнем слое свидетельствует о наличии высокой концентрации охлаждающей жидкости в работающем моторном масле.

Загрязненности моторного масла механическими примесями, характеризующие диспергирующие свойства работающего моторного масла, определяются углом в верхнем слое моторного масла. С целью точного определения угла смачивания предлагается использование персонального компьютера с программным обеспечением.

Цель исследования. Для поддержания ДВС в работоспособном состоянии необходимо периодически контролировать показатели качества работающего моторного масла и при необходимости проводить мероприятия по устранению причин приводящих к исчерпанию служебных свойств [7].

Из проведенного анализа следует, что, принятая в настоящее время методика оценки ДСС работающего моторного масла не учитывает иннервационные и адсорбционные процессы, что снижает точность постановки диагноза [8, 9, 10]

На основании анализа недостатков методов оценки работоспособности работающих моторных масел, в рамках настоящей работы предлагается в качестве диагностического параметра рассмотреть применение оценки работоспособности работающего моторного масла по краевому углу смачивания, что и предопределило цель исследования

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования состояния моторных масел проводили на масле под брендом Mobil 10W40 API SM. Эти масла всесезонные и предназначены для эксплуатации в бензиновых двигателях, разработанных и введенных в эксплуатацию после 2004 года.

Схема устройства для измерения краевого угла смачивания представлено на Рисунке 2.

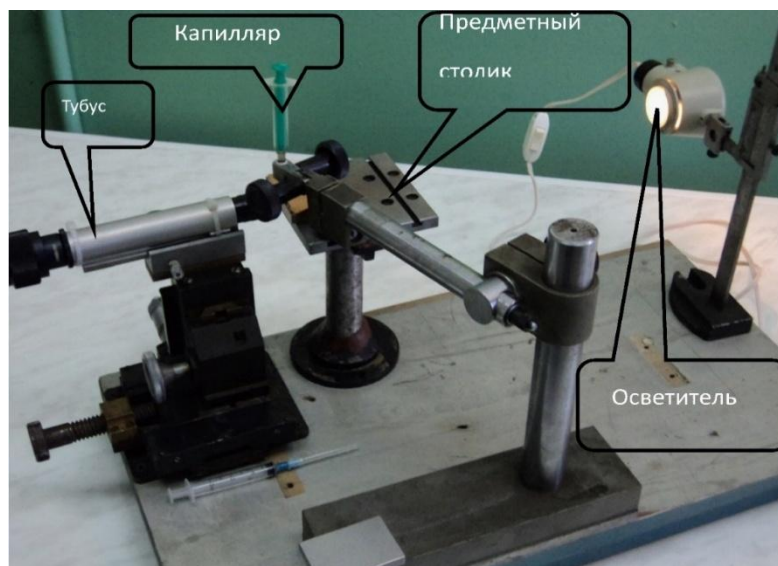


Рисунок 2 – Схема устройства для измерения краевого угла смачивания

Устройство состоит из плиты, на которой установлены: тубус на стойке; осветитель с подобранным светофильтром; предметный столик, на котором располагаются субстрат и капилляр, установленный на стойке.

Образцы субстратов изготовлены из стали и меди с 11 качеством шероховатости.

Проба масла отбиралась из картера сразу же после остановки двигателя транспортного средства. В противном случае проба не будет отражать фактическое состояние работающего масла, исправность систем агрегатов и режим функционирования узлов трения.

В капилляр набирают отобранное из картера двигателя моторное масло объёмом $0,20 \text{ см}^3$. После этого из капилляра, установленного над субстратом и прогретого до температуры $92,7^\circ\text{C}$, наносят каплю масла заданного объема и выдерживают в течении 1 минуты. При этом в окуляре тубуса наблюдают каплю моторного масла, вид которой показан на Рисунке 3.

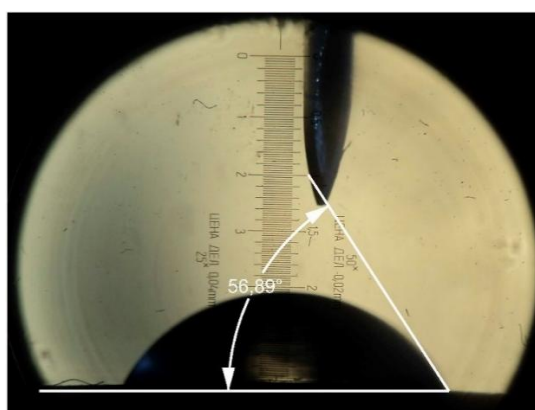


Рисунок 3 – Капля моторного масла в окуляре тубуса

Для оценки краевого угла смачивания производили цифровую фотосъёмку (цифровая камера Sony Alpha 58 с разрешением 24 мегапикселя), субстрата с находящейся на нём каплей работающего

моторного масла. После проведения экспериментов массив фотографий обрабатывался в специально написанной программе для определения краевого угла смачивания.

Программа позволяет, анализируя графический файл микрофотографии определять краевой угол смачивания и производить обработку результатов.

Пример обработанной в программе микрофотографии моторного масла приведён на Рисунке 4.

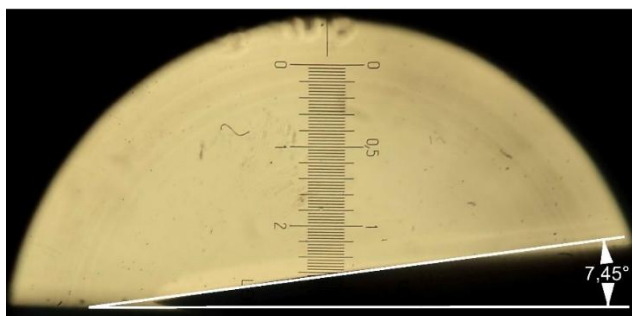


Рисунок 4 – Обработанная фотография

Результаты и обсуждение (Results).

Процессы, протекающие в моторном масле, сказываются на способности смачивать поверхности пар трения. Поэтому краевой угол смачивания дает возможность судить о работоспособности моторного масла.

Проведённые экспериментальные исследования показали, что в зависимости от служебных свойств и марки моторного масла, содержания охлаждающей жидкости и топлива изменяется краевой угол смачивания.

Экспериментально установлено, что для достоверного анализа однозначного определения краевого угла смачивания необходима выдержка капли моторного масла на поверхности субстрата в течение 1 минуты.

Таким образом, оптимальное время для анализа хроматограммы и постановки диагноза должно составлять не менее 1 минуты.

Выбор субстратов обусловлен материалами, из которых изготовлены детали двигателя внутреннего сгорания [3].

Наличие охлаждающей жидкости и моторного топлива существенно влияют на краевой угол смачивания. Диапазон изменения краевого угла смачивания зависит от шероховатости температуры и поверхности субстрата и материала, из которого он изготовлен.

Анализ показал, что краевой угол смачивания работоспособного моторного масла на поверхностях изменяется в пределах:

на стальном субстрате от $5,36^\circ$ до $20,62^\circ$

на медном субстрате от $7,45^\circ$ до $20,39^\circ$

на субстрате подшипника скольжения от $6,62^\circ$ до $11,73^\circ$.

Однако по результатам исследования было выявлено, что субстрат, изготовленный из подшипника скольжения, смачивается при любом содержании загрязнителей. Из чего следует, что за критерий краевого угла смачивания необходимо принимать субстраты на основе стали(чугуна) и меди, поскольку они в большей мере отражают диагностический признак.

Таким образом, при существенном превышении концентрации охлаждающей жидкости и моторного топлива, краевой угол смачивания изменяется в незначительных пределах. Вследствие чего поставленный диагноз может быть ложным.

Для предотвращения постановки ложного диагноза, исследование краевого угла смачивания на поверхности субстрата, изготовленного из подшипника скольжения проводить не целесообразно.

Обсуждение и выводы(Discussion and Conclusion)

1. Диагностическим признаком наличия предельной концентрации охлаждающей жидкости является увеличение краевого угла смачивания до 20° ;

2. Определены критические значения краевого угла смачивания.

3. При превышении концентрации моторного топлива угол смачивания уменьшается в среднем до $5,36^\circ$ (что является граничным диагностическим признаком по концентрации моторного топлива);

4. Моторное масло считается работоспособным при краевом угле смачивания от 6 до 20° на стальных и медных субстратах.

Библиографический список

1. Балтенас Р. Моторные масла, Москва – СПб.: Альфа – Лаб, 2000 - 272 с.
2. К. Н. Войнов и др., Трибология: международная энциклопедия, Т. 5: Масла, смазки, присадки для подвижных трибосопряжений, герметизация и уплотнения, Санкт-Петербург, 2013. - 378 с.
3. О. Н. Петров, Методы контроля и диагностики эксплуатационных свойств смазочных масел, М-во образования и науки Рос. Федерации, Сиб. федер. ун-т. - Красноярск: СФУ, 2015. - 152 с.
4. Носырев Д. Я., Проблемы и перспективы применения смазочных материалов в локомотивном хозяйстве, М-во трансп. Рос. Федерации, Самар. гос. ун-т путей сообщ. - Самара: Издательство СамГУПС, 2016. - 183 с.
5. Кравцова Е. Г., Влияние сталей на процессы окисления и триботехнические свойства смазочных масел, М-во образования и науки Рос. Федерации, Сиб. федер. ун-т, [Ин-т нефти и газа]. - Красноярск :СФУ, 2015. - 141 с.
6. Г. В. Даровской, Исследование фрикционных свойств высокотяговых масел (2017), Росжелдор, Ростовский государственный университет путей сообщения. - Ростов-на-Дону : РГУПС, 2017. -87 с.
7. Крагельский И.В. Трение и износ, М.: Машиностроение, 1982 - 420 с.

8. Мышкин Н.К. Петроковец М. И. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии, М.: Физматлит, 2007 - 368 с.

9. Анисимов А.Г., Бадыштова К. М. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Справочник, М.: Издательский центр «Техинформ», 1999 - 596 с.

10. Авдудевский В. С. Трибология и надежность машин, М., Наука, 1990 - 144 с.

References

1. Baltenas R. Motor oils, Moscow - SPb .: Alfa - Lab, 2000 - 272 p.

2. KN Voinov et al., Tribology: international encyclopedia, Vol. 5: Oils, lubricants, additives for movable tribo couplings, sealing and seals, St. Petersburg, 2013. - 378 p.

3. ON Petrov, Methods of control and diagnostics of the operational properties of lubricating oils, Ministry of Education and Science, Ros. Federation, Sib. Feder. un-t. - Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2015 .-- 152 p.

4. Nosyrev D. Ya., Problems and prospects of the use of lubricants in the locomotive economy, M-in transport. Grew up. Federation, Samar. state un-t ways of communication. - Samara: SamGUPS Publishing House, 2016 .-- 183 p.

5. Kravtsova EG, Influence of steels on oxidation processes and tribotechnical properties of lubricating oils, Ministry of Education and Science Ros. Federation, Sib. Feder. un-t, [Institute of oil and gas]. - Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2015 .-- 141 p.

6.GV Darovskoy, Research of frictional properties of high-traction oils (2017), Roszheldor, Rostov State Transport University. - Rostov-on-Don: RGUPS, 2017. -87 p.

7. Kragelsky I.V. Friction and wear, Moscow: Mashinostroenie, 1982 - 420 p.

8. Myshkin N.K. Petrokovets M.I. Friction, lubrication, wear. Physical foundations and technical applications of tribology, Moscow: Fizmatlit, 2007 - 368 p.

9. Anisimov AG, Badyshтова KM Fuels, lubricants, technical liquids. Range and application: Handbook, Moscow: Tekhinform Publishing Center, 1999 - 596 p.

10. Avduevsky VS Tribology and reliability of machines, M., Nauka, 1990 - 144 p.

СУММАРНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ ВИБРОКОНТАКТНОГО ПРИНЦИПА ИЗМЕРЕНИЯ И ЕЕ МИНИМИЗАЦИЯ

Г.М. Тромпет¹, В.А. Александров¹, А.Д. Кольга¹, А.А. Баженов^{1*}, Т.В. Бедыч²

¹ ФГБОУ ВО Уральский ГАУ, Россия, Екатеринбург

² Костанайский инженерно-экономический университет им. М. Дулатова, Казахстан, Костанай

* E-mail: 333bazhenov333@gmail.com

Аннотация. Современные металлорежущие станки и комплексы являются сложной технологической системой, включающей в себя большое число узлов, которые в процессе обработки заготовки изменяют свои свойства, что влияет на точность деталей, качество их поверхностей и производительность механической обработки. Для систематического наблюдения за состоянием технологического процесса обработки заготовки и контроля применяются различные станочные измерительные средства. В работе рассматриваются приборы и оборудование, использующие виброконттактный принцип действия, включающие вибратор, генератор и отсчетно-командный блок. Для определения суммарной погрешности оборудования активного контроля виброконттактного принципа измерения в соответствии со структурной схемой устройства (системы) необходимо знать погрешности всех преобразующих звеньев прибора. Погрешности звеньев могут определяться различными способами: расчетным путем с использованием определенных методик, по результатам проведенных экспериментальных исследований, либо по справочным данным, если в схеме используются стандартные звенья.

В работе предложена методика расчета суммарной погрешности виброконттактного прибора с оценкой влияния ее составляющих, определена погрешность разработанного устройства, рассмотрены способы ее уменьшения (минимизации). Одним из условий минимизации погрешности является взаимная компенсация систематических погрешностей звеньев структурной схемы прибора (устройства) или введение добавочных компенсирующих звеньев. При рассмотрении выходного сигнала с второго звена (генератора) системы (ОАК ВПИ), определено, что основная погрешность возникает в процессе движения обрабатываемых и контролируемых изделий за счет ударов кромок прерывистых поверхностей изделий. Эти погрешности можно компенсировать использованием стержневого демпфированного виброгенераторного преобразователя.

Ключевые слова: активный контроль, преобразователь, контактный, вибрационный, щуп, подналадка, отсчетно-командный блок, индукция, амплитуда.

THE TOTAL ERROR OF THE EQUIPMENT FOR ACTIVE MONITORING OF THE VIBRATION CONTACT PRINCIPLE OF MEASUREMENT AND ITS MINIMIZATION

G.M. Trompet¹, V.A. Aleksandrov¹, A.D. Kolga¹, A.A. Bazhenov^{1*}, T.V. Bedych²

¹ FSBEI HE Ural SAU, Russia, Ekaterinburg

² Kostanay Engineering and Economic University Kostanay, Kazakhstan

* E-mail: 333bazhenov333@gmail.com

Abstract. Modern metal-cutting machines and complexes are a complex technological system that includes a large number of components that change their properties during the processing of the workpiece, which affects the accuracy of the parts, the quality of their surfaces and the productivity of mechanical processing. For systematic monitoring of the state of the technological process of processing the workpiece and control, various machine tools are used. The paper considers devices and equipment that use the vibro-contact principle of operation, including a vibrator, a generator and a reference and command unit. To determine the total error of the equipment for active monitoring of the vibration contact measurement principle in accordance with the structural diagram of the device (system), it is necessary to know the errors of all the converting links of the device. The errors of the links can be determined in various ways: by calculation using certain methods, based on the results of experimental studies, or by reference data, if the scheme uses standard links.

The paper proposes a method for calculating the total error of a vibration contact device with an assessment of the influence of its components, determines the error of the developed device, and considers ways to reduce (minimize) it. One of the conditions for minimizing the error is the mutual compensation of systematic errors in the links of the block diagram of the device (device) or the introduction of additional compensating links. When considering the output signal from the second link (generator) of the system (UAC VPI), it is determined that the main error occurs during the movement of the processed and controlled products due to the impact of the edges of the discontinuous surfaces of the products. These errors can be compensated by using a rod damped vibration generator converter.

Keywords: active control, transducer, contact, vibration, probe, adjustment, reporting and command unit, induction, amplitude.

Постановка проблемы (Introduction)

Одним из направлений совершенствования технологических процессов механической обработки и решения задачи повышения точности размеров деталей при такой обработке и производительности является контроль размеров и формы заготовок непосредственно в процессе

обработки или сразу после обработки и управление технологическим процессом по результатам этого контроля с обеспечением полной автоматизации изготовления детали [8].

Системы контроля в процессе измерения могут применяться, например, в круглошлифовальных станках. Они используются во время производственного процесса на станке для измерения деталей различных размеров. Для этого используются три различных метода измерения: пневматический, тактильный и оптический [1]. Чтобы гарантировать надежность процесса, системы контроля в процессе измерения автоматически компенсируют любые отклонения допусков, которые могут возникнуть, например, при износе шлифовальных дисков или в результате колебаний температуры. В таких случаях системы управления производственным процессом контролируют измеренные значения в режиме реального времени, таким образом непрерывно контролируя процесс обработки, пока не будет достигнут номинальный размер. Этот процесс помогает свести к минимуму брак деталей.

Разработаны также подналадчики для круглошлифовальных бесцентровых, токарных, сверлильно-фрезерно-расточных станков с ЧПУ, обрабатывающих центров, гибких модулей и систем, унифицированные по механической и электронной части с приборами активного контроля [2, 3]. Подналадчики обеспечивают контроль внутренних и наружных размеров при изготовлении деталей и выдачу в систему управления станками информации о необходимой подналадке оборудования.

Для механической обработки деталей на металлорежущих станках и комплексах в УрФУ им.первого президента России Б.Н.Ельцина и Уральском ГАУ разработана достаточно широкая номенклатура оборудования активного контроля, основанного на виброконтakтном принципе измерения (ОАК ВПИ) [4]. Одной из задач, которые решаются при разработке конструкций этих приборов и оборудования, является оценка точности (погрешности) оборудования.

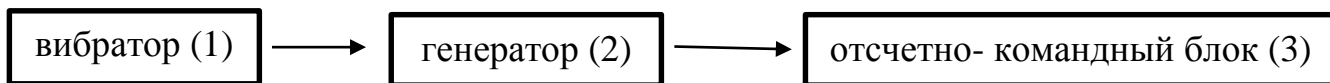
Методология и методы исследования (Methods)

В качестве общей методологической основы использован системный подход, заключающийся в анализе точности изделий как одной из основных проблем машиностроения.

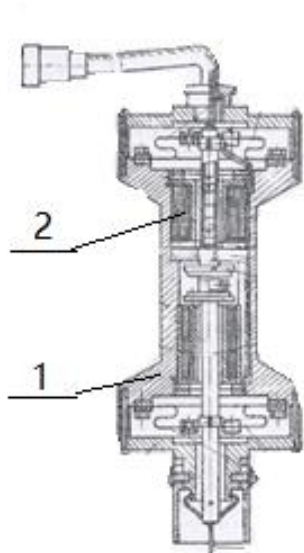
Теоретические исследования выполнены на основе теории математического моделирования.

Результаты (Results)

Минимизация предельных погрешностей оборудования активного контроля виброконтakтного принципа измерения сводится к выполнению двух условий. Первое условие заключается в сведении к нулю систематической погрешности. Это достигается путем взаимной компенсации систематических погрешностей звеньев структурной схемы (рис.1) или путем введения добавочных компенсирующих звеньев.



а)



б)



в)

а) - структурная схема ОАК ВПИ; б) – виброконтактный преобразователь;
 в) – отсчетно-командный блок

Рисунок 1 - Структурная схема ОАК ВПИ

Условием компенсации систематических погрешностей является равенство математического ожидания нулю [5]:

$$M_x = \sum_{i=1}^n x_i p(x_i),$$

где в число n входят также компенсирующие звенья, $p(x_i)$ – вероятность события.

Вторым условием является минимизация дисперсии D или среднего квадратического отклонения σ . Дисперсия суммарной погрешности системы определяется из выражения [4]:

$$D_x = \sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2 p(x_i)$$

Для определения суммарной погрешности ОАК ВПИ по структурной схеме (рис.1) необходимо знать погрешности всех его преобразующих звеньев. Погрешности звеньев могут быть определены различными способами [4]:

- расчетным путем по определенной методике;
- по результатам экспериментальных исследований образцов;
- по справочным данным, если используются стандартные звенья.

Методика расчета суммарной погрешности системы основана на следующем. Допустим, что измерительная система (ОАК ВПИ) содержит n звеньев (для нашего случая $n=3$), каждое из которых осуществляет определенное функциональное преобразование физических величин, причем звенья соединены между собой любым способом (последовательно, параллельно, встречно-параллельно или более сложным образом). Обозначим входной и выходной сигналы системы в целом через x и y , а выходные сигналы звеньев через y_1, y_2, \dots, y_n . Если бы звенья не имели погрешностей, то при установившемся режиме измерений выходной сигнал y системы был бы однозначной функцией x , а выходные сигналы звеньев y_1, y_2, \dots, y_n так же были бы однозначными функциями x .

В реальной системе сигналы звеньев y_1, y_2, \dots, y_n вследствие наличия у звеньев погрешностей получают независимые приращения $\Delta y_1, \Delta y_2, \dots, \Delta y_n$, которые в совокупности дают на выходе измененные сигналы на некоторую величину Δy_n , которая и является суммарной погрешностью системы. Величина относительной погрешности системы в линейном приближении равна линейной комбинации относительных погрешностей звеньев:

$$V = b_1 Y_1 + b_2 Y_2 + b_n Y_n = \sum_{i=1}^n b_i V_i, \quad (1)$$

где $V = \frac{\Delta y}{y}$ - относительная погрешность системы;

$V = \frac{\Delta y_i}{y_i}$ - относительная погрешность i -го звена;

b_i - коэффициент влияния i -го звена.

Из уравнения (1) следует, что суммарная погрешность складывается из n составляющих, каждая из которых порождается соответствующим звеном структурной схемы. Коэффициент влияния b_i представляет собой безразмерный множитель, на который нужно умножить относительную погрешность i -го звена, чтобы определить порождаемую ею составляющую суммарной относительной погрешности системы. С помощью тех же коэффициентов влияния можно выразить взаимосвязь между приведенными относительными погрешностями звеньев и системы:

$$Z = b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_n Z_n = \sum_{i=1}^n b_i Z_i, \quad (2)$$

где $Z = \frac{\Delta y}{y_d}$ - приведенная относительная погрешность системы (y_d - абсолютная величина диапазона измерения выходного сигнала системы);

$Z = \frac{\Delta y_i}{y_{di}}$ - приведенная относительная погрешность i -го звена (y_{di} - абсолютная величина диапазона измерения выходного сигнала i -го звена).

Выведем формулу, позволяющую определить коэффициенты влияния для конкретных структурных схем. Предположим, что все звенья, кроме i -го, абсолютно точны, а погрешность системы вызвана лишь влиянием i -го звена. Тогда относительная погрешность системы (коэффициент влияния):

$$b_i = \frac{\frac{\Delta y}{y}}{\frac{\Delta y_i}{y_i}} \quad (3)$$

Ограничимся случаем, когда все звенья имеют линейные характеристики [5]:

$$y_i = s_i x_i, \quad (4)$$

где s_i – чувствительность i -го звена;

x_i – входной сигнал i -го звена.

При установившемся режиме ($x_i = \text{const}$) малое приращение функции (4) можно выразить в виде:

$$\Delta y_i = \Delta s_i x_i \quad (5)$$

Разделив (5) на (4), получим:

$$\frac{\Delta y_i}{y_i} = \frac{\Delta s_i}{s_i} \quad (6)$$

Аналогично для системы в целом:

$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta S}{S}, \quad (7)$$

где S – чувствительность системы в целом.

Подставим (6) и (7) в (3):

$$b_i = \frac{\Delta S}{\Delta s_i} * \frac{s_i}{S} \quad (8)$$

Отношение малых приращений чувствительности можно заменить частной производной:

$$\frac{\Delta S}{\Delta s_i} \approx \frac{\partial S}{\partial s_i} \quad (9)$$

Частная производная берется потому, что рассматривается одна составляющая суммарной погрешности, вызванная влиянием i -го звена, а параметры остальных звеньев принимаются постоянными [4].

Подставляя (9) в (8), получим формулу для определения коэффициента влияния i -го звена:

$$b_i = \frac{\partial S}{\partial s_i} * \frac{s_i}{S} \quad (10)$$

По формуле (10) можно определить коэффициент влияния b для любой структурной схемы.

При последовательном соединении (см. рис.1) характеристики звеньев в общем случае 1, 2, ..., n выражены соответственно уравнениями:

$$y_1 = f_1(x);$$

$$y_2 = f_2(y_1);$$

$$y_{n-1} = f_{n-1}(y_{n-2}); \quad (11)$$

$$y = f_n(y_{n-1});$$

Результующая характеристика прибора (ОАК ВПИ) определяется совместным решением системы уравнений (11):

$$y = f_n\{f_{n-1} \dots \dots f_2[f_1(1)]\} \quad (12)$$

Найдем чувствительность прибора [6]:

$$S = \frac{dy}{dx}$$

Умножим и разделим правую часть данного равенства на $dy_1, dy_2 \dots \dots dy_{n-1}$ в общем случае получим:

$$S = \frac{dy_1}{dx} * \frac{dy_2}{dy_1} \dots \dots \frac{dy_n}{dy_{n-1}}$$

Для нашего случая (вибратор + генератор + отсчетно-командный-блок) (см. рис. 1) чувствительность СОАК ВПИ будет определяться:

$$S = \frac{dy_1}{dx} * \frac{dy_2}{dy_1} * \frac{dy_3}{dy_2}$$

Имея в виду, что $S = \frac{dy_1}{dx}, \frac{dy_2}{dy_1} = S_2; \dots \dots \frac{dy_n}{dy_{n-1}} = S_n$ получим окончательно:

$$S = S_1 * S_2 \dots \dots S_n = \prod_{i=1}^n S_i \quad (13)$$

Рассмотрев выходной сигнал (рис. 2) с второго звена (генератора) рассматриваемой системы (ОАК ВПИ), четко видно, что основная погрешность возникает в процессе движения обрабатываемых и контролируемых изделий – удары кромок прерывистых поверхностей изделий. Эти погрешности можно компенсировать использованием стержневого демпфированного виброгенераторного преобразователя [7].

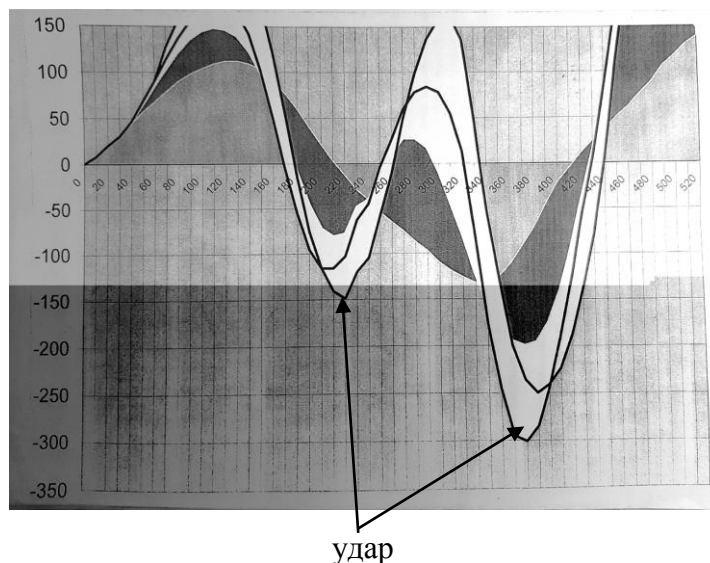


Рисунок 2. Влияние удара на выходной сигнал ОАК ВПИ

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, предложена методика расчета суммарной погрешности станочного оборудования, использующего виброконтактный принцип измерения, и способы ее минимизации.

Библиографический список

1. Industrial Metrology Systems for Monitoring Quality in Production Processes. <https://www.jenoptik.us/products/metrology> (дата обращения 06.06.2021 г.).
2. Ковальский М.Г. Современные средства контроля и измерений размеров изделий для машиностроения. <http://www.micron.ru/information/articles/1/> (дата обращения 06.06.2021 г.).
3. Автоматический размерный контроль на металлорежущих станках/ М. И. Этингоф – М. : АПР, 2016. – 336 с.
4. Александров В.А., Тромпет Г.М. Технологические и метрологические возможности станочного оборудования активного контроля в серийном производстве: монография. Екатеринбург: УрГАУ, 2014. 232с.
5. Солонин И.С. Математическая статистика в технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 1972. 216с.
6. Тромпет Г.М. Методы расчета условий эксплуатации систем управляющего контроля: монография. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2010. 226с.
7. Патент 2654947 Россия, МПК G01B7/34 Стержневой демпфированный виброгенераторный преобразователь / Г.М.Тромпет, В.А.Александров, Ю.А.Кирсанов, - №2015137298/28 заявлено 29.09.2017, опубл.23.05.2018.- Бюл. №15.
8. Рябков Г. О., Хомякова М. А. Электроэнергетика в мире цифровых технологий: вопросы правового регулирования // Аграрное образование и наука. 2021. № 1. С. 8.

References

1. Industrial Metrology Systems for Monitoring Quality in Production Processes. <https://www.jenoptik.us/products/metrology> (accessed 06.06.2021).
2. Kovalsky M. G. Modern means of control and measurement of dimensions of products for mechanical engineering. <http://www.micron.ru/information/articles/1/> (accessed 06.06.2021).
3. Automatic dimensional control on metal-cutting machines/ M. I. Etingof-M.: APR, 2016 – - 336 p.
4. Aleksandrov V. A., Trompet G. M. Technological and metrological capabilities of machine tools for active control in serial production: monograph. Yekaterinburg: Usue, 2014. 232s.
5. Solonin I. S. Mathematical statistics in mechanical engineering technology. Moscow: Mashinostroenie, 1972. 216s.
6. Trompet G. M. Methods for calculating the operating conditions of control control systems: monograph. Yekaterinburg: UGTU-UPI, 2010. 226с.

7. Patent 2654947 Russia, IPC G01B7/34 Rod damped vibration generator converter / G. M. Trompet, V. A. Alexandrov, Yu. A. Kirsanov, - No. 2015137298/28 declared on 29.091217, publ. 23. 05. 2018. - Byul. No. 15.

8. Ryabkov GO, Khomyakova MA Electric power in the world of digital technologies: issues of legal regulation // Agrarian education and science. 2021.No. 1.P. 8.

ДИНАМИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗВЕНЬЕВ АКТИВНЫХ СОЧЛЕНЕННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Е.Е. Баженов ^{1*}

¹ ФГБОУ ВО Уральский ГАУ, Россия, Екатеринбург.

* E-mail: st194@yandex.ru

Аннотация. В работе рассматривается специфика использования сочленённых транспортных систем в добывающих и сырьевых отраслях экономики и оборонном комплексе. Приведены варианты взаимодействия звеньев активной сочленённой многокомплектной транспортной системы. Определён критерий оценки взаимодействия элементов сочленённой транспортной системы. Приведена расчётная схема для активной секции многокомплектной транспортной системы. Установлено, что распределение силовых потоков между движителями сочленённой транспортной системы должно быть вариативным и зависеть от дорожных условий, в которых находится в данный момент времени каждый из элементов движителя.

Ключевые слова: сочленённая транспортная система, сочленённая машина, активный прицеп, активный автопоезд, звенья транспортной системы, активная секция, силовой поток, эффективность транспортной операции.

DYNAMIC LINK INTERACTION ACTIVE ARTICULATED TRANSPORT SYSTEMS

Bazhenov E. E.¹

¹ FSBEI HE Ural SAU, Russia, Yekaterinburg.

* E-mail: st194@yandex.ru

Abstract. The paper considers the specifics of the use of articulated transport systems in the extractive and raw materials sectors of the economy and the defense industry. The variants of interaction between the links of an active articulated multi-component transport system are presented. A criterion for evaluating the interaction of elements of an articulated transport system is defined. The calculation scheme for the active section of a multi-component transport system is given. It is established that the distribution of power flows between the propellants of an articulated transport system should be variable and depend on the road conditions in which each of the propellant elements is located at a given time.

Keywords: articulated transport system, articulated vehicle, active trailer, active road train, links of the transport system, active section, power flow, efficiency of the transport operation.

Постановка проблемы (Introduction)

Появление новых, более энергонасыщенных многооперационных машин позволяет механизировать большинство работ в отраслях лесного, сельского хозяйства, нефтегазового и горнодобывающего комплексов и других направлениях национальной экономики. Применение полноприводных транспортных систем на основе активизации прицепного состава и использование сочлененных транспортных и технологических машин является одним из перспективных направлений в решении многих задач, возникающих при эксплуатации транспортных и технологических комплексов в условиях зимних дорог, грунтовых дорог в период распутицы и в других специфических условиях.

Понятие «сочлененная транспортная система» (СТС) весьма широко и включает в себя целый спектр машин, имеющих как минимум, две секции, соединенные между собой шарниром с одной или более степенями свободы. Кроме того, некоторые СТС имеют специфическую конструкцию рулевого управления. В случае, когда движители прицепной секции имеют привод от силовой установки, СТС будет считаться активной, то есть АСТС. Как частный, но довольно широко распространенный, случай СТС следует рассматривать автопоезда с активными прицепами (ААП).

Применение ААП и СТС в отраслях сельского хозяйства, а также в отраслях лесного, нефтегазового комплексов и оборонном комплексе дает возможность создания широкого диапазона технологических и транспортных систем.

Таким образом, проблемы улучшения эксплуатационных свойств транспортных систем относятся к одним из основных в машиностроении, решение которых должно вестись по различным направлениям: увеличение производительности, повышение экономических и улучшение экологических показателей, повышение эксплуатационной надежности, усовершенствование и автоматизация систем управления транспортными системами и целый комплекс других работ теоретической и экспериментальной направленности.

Решение одного из важнейших вопросов в теории движения СТС – вопроса о рациональном распределении силового потока между ведущими мостами и секциями, подразумевает оценку взаимодействия между звеньями транспортной системы.

Методология и методы исследования (Methods)

Система (комплекс, взаимосвязанная совокупность) принципов и подходов в ходе получения и разработки знаний в рамках конкретной дисциплины рассматривается как методология. Иначе методология — это логическая организация исследования (постановка предмета и цели

исследования). Предмет исследования – проблема (научное противоречие). Важнейшая составляющая методологии – подход. Подход может быть эмпирическим, прагматическим и научным.

Проблемой данной работы является противоречие во взглядах на принцип распределения силовых потоков между движителями активной сочленённой транспортной системы. Решение проблемы распределения силовых потоков, в конечном счёте, влияет на эффективность транспортной или технологической операции, выполняемой технической системой.

Данная работа выполнена на основе научного системного подхода, рассматривающая техническую систему (сочленённая машина) как систему, состоящую из подсистем и элементов. Элементы характеризуются параметрами и структурой их соединения в системе.

Техническая система рассматривается с точки зрения двух показателей – показателей эффективности и качества.

В свою очередь техническая система тесно взаимодействует с внешней средой. Внешняя среда проявляется различными факторами, влияющими на техническую систему. Факторы характеризуются параметрами и характером воздействия на техническую систему. Фактор «опорная поверхность» для АСТС характеризуется двумя параметрами – коэффициент сцепления и коэффициент суммарного сопротивления движению. Коэффициент суммарного сопротивления зависит и от некоторых технических характеристик движителя.

Исходя из системного анализа, совершенствование существующих и создание новых, более совершенных машин, возможно только двумя путями – изменением (улучшением) параметров элементов или изменением структуры технической системы.

То есть, повышение показателей эффективности и качества технической системы (оптимизация) возможно параметрически и структурно.

Существующие транспортные системы традиционно выполнены по линейной схеме соединения элементов. Для наземных транспортных систем такая схема является наиболее рациональной, обеспечивающей минимальное использование подсистем и элементов. Рассмотрение рационального распределения силовых потоков целесообразно проводить комбинированно – изменяя одновременно параметры элементов и вводя дополнительные элементы в структуру, позволяющие реализовать техническое решение.

Результаты (Results)

Рассмотрим взаимодействие звеньев транспортной системы, имеющей привод на прицепное звено (АСТС).

Перемещение активной секции при обособленном движении для случая равномерного прямолинейного движения возможно тогда, когда тягово-ое звено воздействует на него с силой, величина которой не меньше сум-мы всех сил сопротивления движению секции (рис. 1)

$$F_R = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n F_{ij} + G \cdot \sin \tau + P_{кр} \cdot \cos \theta}{\cos \lambda}, \quad (1)$$

где F_R – сила взаимодействия между секциями АСТС;

F_{ij} – равнодействующая элементарных касательных реакций в зоне пятна контакта движителя с опорной поверхностью;

G – вес секции АСТС;

τ – вертикальная составляющая силы взаимодействия секции АСТС с последующим прицепным звеном;

$P_{кр}$ – сила взаимодействия секции АСТС с последующим прицепным звеном;

θ – угол подъёма/спуска секции АСТС;

λ – продольный угол между силой взаимодействия секции АСТС с предыдущей секцией или тягачом.

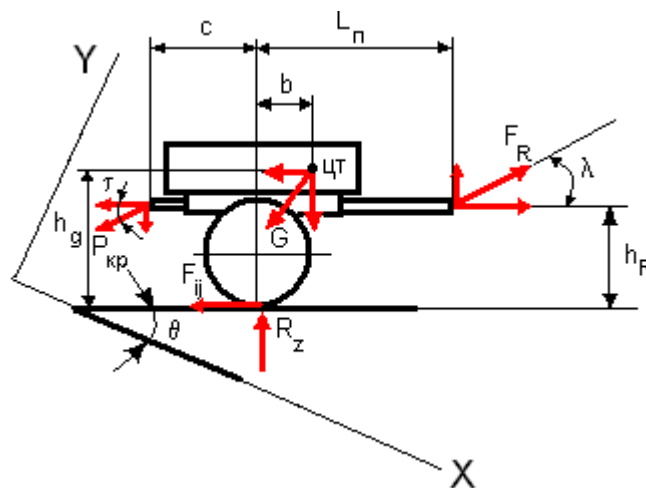


Рисунок 1 - Схема сил, действующих на активную секцию СТС

Большое значение имеет знак силы F_{ij} . Соотношение величины и знака этой силы с аналогичной силой на движителе тягача в определённых условиях будет снижать эффективность транспортной операции и приводить к диссипативным потерям в приводе движителей.

Проведённые теоретические и экспериментальные исследования показали [1], что использование привода прицепных секций целесообразно только на опорных поверхностях, имеющих либо низкую несущую способность, либо имеющих коэффициент сцепления с движителем ниже 0,3 (обледенелая дорога, снежная целина, мокрая грунтовая дорога и т.п.).

Сочленённые машины, как правило, имеют базу, значительно большую, чем одиночные машины. В этом случае возможно возникновение ситуации, когда тягач будет находиться на

опорной поверхности, характеристики которой отличаются от характеристик опорной поверхности прицепного звена. Если либо сцепные свойства движителей, либо тяговые возможности одной из секций не смогут реализовать движение АТС, то вторая секция, тяговые и сцепные возможности которой удовлетворяют условиям движения, способна реализовать перемещение транспортной системы.

Эти обстоятельства заставляют применять специальные технические устройства (электрические, гидравлические, механические), позволяющие распределять силовой поток от энергетической установки таким образом, чтобы движители, имеющие возможность перемещать транспортную систему, получали оптимальные значения силового потока.

Критериями оптимальности в этом случае выступают значения сил сцепления и сопротивления. При этом должно выполняться следующее неравенство

$$P_{\psi} \leq P_{\kappa} \leq P_{\varphi},$$

где P_{ψ} – суммарная сила сопротивления движению АТС;

P_{φ} – суммарная сила сцепления колес АТС с опорной поверхностью;

P_{κ} – сумма элементарных касательных реакций в зоне контакта ведущих колес с опорной поверхностью.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, повышение эффективности транспортной операции транспортно-технологических машин и комплексов тесно связано с использованием коммутаторов распределения силовых потоков в зависимости от параметров дорожного покрытия и грунтовых условий.

Библиографический список.

1. Баженов Е.Е. Сочленённые транспортные и технологические системы/Е.Е. Баженов. - Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2009. – 174 с.
2. Баженов Е.Е. Основы теории сочленённых транспортных систем/Е.Е. Баженов, С.К. Буйначев, И.Н. Кручинин – Екатеринбург. УрФУ, 2010. – 257 с.
3. Bazhenov, E. E. Using the simulation modeling with stochastic estimation of trafficability of forest transport systems / E. E. Bazhenov, S. K. Buynachev, D. O. Chernyshev // Journal of Physics: Conference Series, Nizhny Novgorod, 28 августа 2018 года. – Nizhny Novgorod: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012001. – DOI 10.1088/1742-6596/1177/1/012001.
4. Баженов, Е. Е. Основы теории эксплуатационных свойств автомобилей и тракторов / Е. Е. Баженов, И. В. Чупров. – Екатеринбург : федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уральский государственный лесотехнический университет", 2013. – 113 с.

References

1. Bazhenov E.E. Articulated transport and technological systems / E.E. Bazhenov. - Yekaterinburg: USTU - UPI, 2009. -- 174 p.

2. Bazhenov E.E. Fundamentals of the theory of articulated transport systems / E.E. Bazhenov, S.K. Buynachev, I.N. Kruchinin - Yekaterinburg. UrFU, 2010. - 257 p.

3. Bazhenov, E. E. The use of simulation modeling with stochastic assessment of the passability of forest transport systems / E. E. Bazhenov, S. K. Buynachev, D. O. Chernyshev // Physics journal: Conference Series, Nizhny Novgorod, August 28, 2018 of the year. - Nizhny Novgorod: IFI, 2019. -- P. 012001. - DOI 10.1088 / 1742-6596 / 1177/1/012001.

4. Bazhenov, EE Fundamentals of the theory of operational properties of cars and tractors / EE Bazhenov, IV Chuprov. - Yekaterinburg: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education of Professional Education "Ural State Forestry University", 2013. - 113 p.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАСЛО-ДИЗЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Л.В. Денежко¹, Л.А. Новопашин¹, Ю.В. Панков^{1*}, А.А. Садов¹

¹ ФГБОУ ВО Уральский ГАУ, Россия, Екатеринбург.

* E-mail: pankov334@gmail.com

Аннотация. На кафедре технологических и транспортных машин Уральского ГАУ проводятся исследования физико-химических свойств масло-дизельных смесей, как альтернативных видов топлива и их влияние на работу дизельных двигателей.

Целью статьи является оценка физико-химических свойств смесей с использованием соевого масла и кукурузного масла (без этерификации) с дизельным топливом с последующим определением оптимальных концентраций элементов.

При исследовании использовались методы экспериментальной проверки правомочности принятых допущений и выдвинутых гипотез, ранее опубликованных авторами.

На основании произведенных исследований можно сделать вывод, что применение смесей дизельного топлива с растительными маслами без проведения реакции этерификации в интервалах концентраций биоконпонента (до 50...60% масла) обоснованы так как по своим физико-химическим свойствам близки к нефтяным. Это указывает на возможность использования смесей без этерификации масла как замена чистому дизельному топливу.

Ключевые слова: смесевое топливо, автотракторная техника, ДВС, физико-химические показатели.

PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF OIL-DIESEL MIXTURES

Denejko L.V.¹, Novopashin L.A.¹, Pankov Yu.V.^{1*}, Sadov A.A.¹

¹ FSBEI HE Ural SAU, Russia, Yekaterinburg.

* E-mail: pankov334@gmail.com

Abstract. At the Department of Technological and Transport Machines of the Ural State Agrarian University, studies are being carried out on the physical and chemical properties of oil-diesel mixtures as alternative types of fuel and their influence on the operation of diesel engines.

The aim of the article is to evaluate the physicochemical properties of mixtures using soybean oil and corn oil (without esterification) with diesel fuel, followed by determination of the optimal concentrations of elements.

The study used the methods of experimental verification of the validity of the assumptions and hypotheses put forward, previously published by the authors.

Based on the studies carried out, it can be concluded that the use of mixtures of diesel fuel with vegetable oils without carrying out the esterification reaction in the concentration ranges of the biocomponent (up to 50 ... 60% of oil) are justified since they are close to petroleum in their physicochemical properties. This indicates the possibility of using blends without esterification of oil as a replacement for pure diesel fuel.

Keywords: mixed fuel, automotive equipment, internal combustion engines, physical and chemical indicators.

Постановка проблемы (Introduction)

Заграничными учеными в большом количестве исследований предполагается применение биодизеля (растительного масла после проведения реакции переэтерификации) в качестве биологической добавки к дизельному топливу. Применение биодизеля несет в себе такие недостатки как: частичные переход растительного компонента при проведении реакции переэтерификации в глицерин который не используется в качестве добавки (до 30%); повышение стоимости биологической добавки в сравнении с чистым растительным маслом это связано с проведением энергоемкой химической реакции.

Однако основной проблемой применения чистых масел как источника биоконпонента в смесях является плохая смешиваемость с нефтепродуктами, которая подтверждается проводимыми исследованиями авторов [1,2,3].

В связи с этим возникает цель работы в оценке физико-химических свойств смесей с использованием соевого масла и кукурузного масла (без этерификации) с дизельным топливом с последующим определением оптимальных концентраций элементов

Методология и методы исследования (Methods)

В соответствии с выбранной целью исследований программа исследований была направлена на проверку ранее опубликованных теоретических зависимостей, раскрывающих влияние применения смесей с содержанием соевого кукурузного масла без проведения реакции этерификации.

Программа исследований включает в себя: определение плотности, вязкости, низкотемпературных и коррозионных свойств получаемых смесей; оценка воспламеняемости; влияние состава на технико-экономические показатели.

Виды топлив, исследуемых в работе: Смеси кукурузного масла с летним дизельным топливом марки Л в соотношении 25:75, 50:50, 75:25 и смеси соевого масла с арктическим дизельным топливом марки А в соотношении 25:75, 50:50, 75:25

Результаты (Results)

Определение плотности смесей проводилось с помощью нефтенденсиметров. При исследовании плотность топливо-масляных смесей по величине занимают промежуточные значения между плотностью масла и дизельного топлива. Плотность возрастает с увеличением доли масла в системе масло-топливо. При плотности кукурузного масла 919 кг/м^3 , дизельного топлива (Л) 860 кг/м^3 у смеси системы 50:50 и 75:25 плотность составила соответственно 873 и 890 кг/м^3 при температуре 20°C (рисунок 1).

При плотности соевого масла 905 кг/м^3 и дизельного топлива (А) 827 кг/м^3 плотность смеси 25:75 составила 829 кг/м^3 , а смеси 75:25 составила 870 кг/м^3 при температуре 20°C .

Следует обратить внимание на то, что плотность смесей на базе соевого масла меньше, чем на основе кукурузного масла. Это объясняется меньшей плотностью исходных компонентов масла и дизельного топлива.

Максимальное значение плотности смесей, соответствует по ГОСТу для дизельных топлив 860 кг/м^3 (при 20°C), что соответствует масло – дизельной смеси на основе содержания до 60% соевого масла и 40% дизельного топлива (ДТ) в смеси [4, 5].

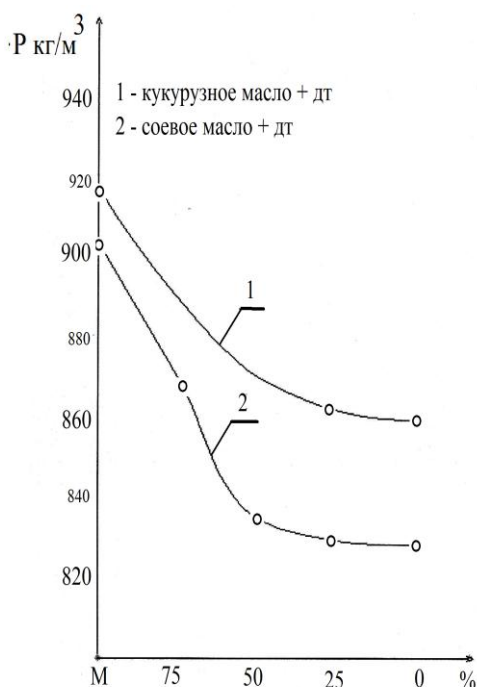


Рисунок 1 - Зависимость плотности системы от состава масло - дизельных смесей

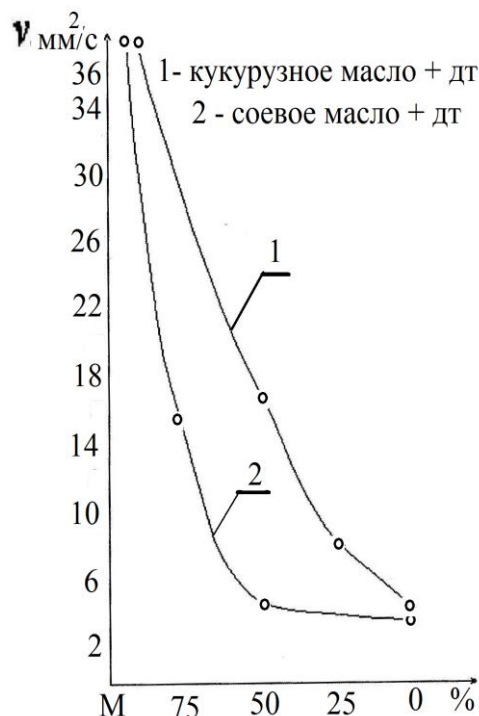


Рисунок 2 - Зависимость вязкости системы от состава масла - дизельных смесей

Плотность топливомасляных смесей зависит от температуры.

Таблица 1 Физико-химические характеристики системы кукурузное масла + дизельное топливо (Л) полученные экспериментально

Показатели	Кукурузное масло	Кукурузное масло+диз. топливо смеси %			DTL
		75+25	50+50	25+75	
Плотность, кг/дм ³	0,919	0,89	0,873	0,8665	0,86
Вязкость, мм ² /с	62	29,3	16,4	11	5,6
Цетановое число	27	29	31,5	37,7	43,9
Температура помутнения, °С	-15	-12	-11	-8	-5
Температура застывания, °С	-21	-25	-20	-15	-10
Температура вспышки, °С	93,4	82,4	74,4	57,2	40
Кислотность, КОН мг/100см ³	6,7	6,16	5,6	5,32	5,04
Содержание водорастворимых кислот, щелочей	Отс.	Отс.	Отс.	-	Отс.
Испытание на медной пластинке	Выд.	Выд.	Выд.	-	Выд.

Эта зависимость в исследуемом диапазоне температур имеет прямолинейных характер. Близким к дизельному топливу по плотности являются смеси системы с содержанием масла до 50%.

Таблица 2 Физико-химические характеристики системы соевое масла + дизельное топливо (А) полученные экспериментально

Показатели	Соевое масло	Соевое масло-дизельные смеси %			DTA
		75+25	50+50	25+75	
Плотность, кг/дм ³	0,905	0,87	0,834	0,829	0,827
Вязкость, мм ² /с	56,4	15,4	4,2	3,65	3,34
Цетановое число	28	36,5	45	48,5	51
Температура помутнения, °С	-10	-16	-18	-21	
Температура застывания, °С	-17	-24	-25	-31	-55
Температура вспышки, °С	88,4	61,4	54,4	47,4	41
Кислотность, КОН мг/100см ³	6,7	6,16	5,6	5,32	5,04
Содержание водорастворимых кислот, щелочей	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.
Испытание на медной пластинке	Выд.	Выд.	Выд.	Выд.	Выд.

Вязкость – один из важнейших показателей, влияющий на качество распыла, а следовательно, на полноту сгорания топливной смеси. *Вязкое* поведение вещества сопровождается диссипацией энергии (потерей энергии на внутреннее трение), следовательно, оно необратимо. В простейшем случае, если к вязкой жидкости мгновенно приложить сдвиговое напряжение, даже чрезвычайно малое, это заставляет жидкость течь, т.е. происходит процесс деформации. Деформационный сдвиг является потоком слоя жидкости. Поток характеризуется скоростью течения. Кинематическая вязкость определялась с помощью капиллярного вискозиметра Освальда-Пинкевича по ГОСТ Согласно полученным данным вязкость топливных смесей возрастает с увеличением доли масла в составе системы.

В соответствии с полученными данными вязкость смесей возрастает с увеличением доли масла в смеси. Так, у смесей 50:50 вязкость при температуре 20⁰С составила 4,2 сСт, на основе соевого масла и 16,4 сСт на смеси кукурузного масла и диз. топлива (рисунок 2).

Если сравнивать допустимо максимальное значение вязкости диз. топлива марки Л по ГОСТу 305-82 как 6сСт при температуре 20⁰С, то этот уровень вязкости соответствует смесям с содержанием масла до 60% для соевого масла и до 15% на основе кукурузного масла.

Закономерность изменения вязкости смесей от температуры общеизвестна и подтверждается исследованиями [6, 7, 8, 9] (рисунок 3). Однако характер изменения вязкостно-температурных кривых различен: более крутой у смесей с повышенным содержанием масла и более пологий с меньшим содержанием масла в смесях системы.

Вязкостно-температурная характеристика смеси 25:75 наиболее близка к кривой дизельного топлива, что соответствует высокой разрозненности молекул масла в системе топливной смеси и где не происходит структурирования масла т.е. значительного влияния масла на вязкость. Сравнивая характеристики изменения вязкости от температуры смесей, можно отметить, что вязкостно-температурная характеристика смесей на основе кукурузного масла крутая, чем у смесей на основе соевого масла.

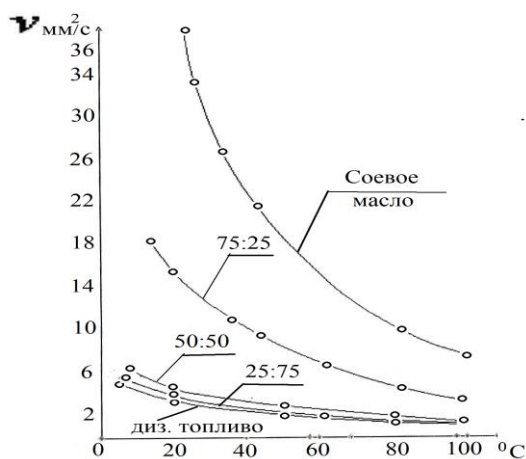


Рисунок 3 - Зависимость вязкости смеси соевого масла + диз. топлива от температуры

Так в диапазоне температур от 100⁰С до 20⁰С изменение вязкости составило для смесей 50:50 от 4,3 до 1,4 сСт на основе соевого масла и от 16,4 до 2,9 сСт на основе кукурузного масла т.е. в 3 раза и 5 раз соответственно.

Цетановое число смесевых топлив определялось по дизельному индексу, который в свою очередь находили по анилиново точке и рассчитывали по формуле:

$$ДИ = (1,8 \cdot A + 32) \cdot \left(\frac{1,415}{p_{15}} - 1,315 \right). \quad (1)$$

Как показывают экспериментальные исследования, с увеличением содержания масла в смеси цетановое число уменьшается с 51 у дизельного топлива, до 28 у соевого масла. У смесей 75:25 оно составило 36,5 в тоже время у смесей 50:50 составляет 45, а у смесей 25:75 это число 48,5, что отмечается на рисунке 4. В топливных смесях на основе кукурузного масла цетановое число было ниже, чем у соевого масла. В частности, этот показатель в смесях 50:50 на основе соевого масла составляет 45, а на основе кукурузного масла это число составляет 31,5.

Если придерживаться литературных данных, цетановое число ниже 38...40 приводит к жесткой работе и затрудненному запуску двигателя. Поэтому, ориентируясь на полученные значения цетановых чисел, можно утверждать, что смеси с содержанием масла (соевого) выше 60...70% имеют цетановое числа ниже рекомендуемых. А в смесях на основе кукурузного масла нижний предел этого показателя наблюдается при содержании в них масла выше 15...20%.

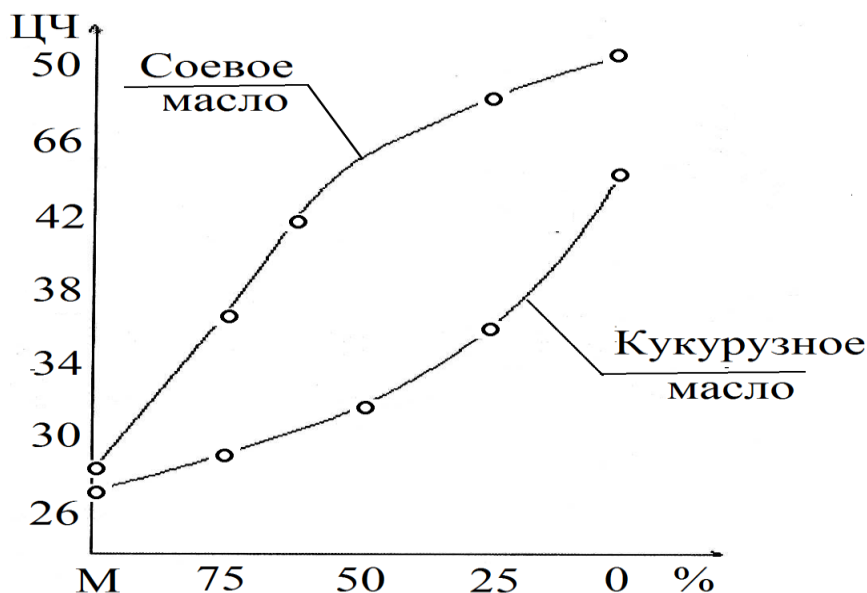


Рисунок 4 - Зависимость цетанового числа от состава смесей

Коррозионные свойства топлив оценивались значением кислотности, содержанием водорастворимых (минеральных) кислот и щелочей, а также испытаниями на медной пластинке.

Показатель кислотности, оценивающий содержание органических кислот в топливе был близким к значениям по ГОСТ 305-82 и составляет 5,04 мг КОН/100 мл топлива. С увеличением доли масла в смеси кислотность увеличилась и составила 6,616 мг/100 при концентрации соевого масла 75% и 5,32 мг/100 мл при концентрации масла 25%. А у соевого масла этот показатель был равен 6,7 мг КОН/100 мл. Это указывает на увеличение коррозионного воздействия на двигатель при применении масло-топливных смесей. Значения этого показателя для смесей на основе кукурузного масла были близки к смесям на основе соевого масла. Анализ пробы на нейтральность показал, что водорастворимые (минеральные) кислотности и щелочи в смесях отсутствуют. Испытания на медную пластинку все пробы смесей топлива и масел выдерживают. Это подтверждает отсутствие в пробах серы.

Низкотемпературные свойства исходных компонентов и их смесей характеризуют поведение их при низких температурах. Температура помутнения указывает на температурный предел, до которого можно применять смеси масла и дизельного топлива. Согласно экспериментально полученных данных температура помутнения изменяется в зависимости от состава топливной системы. Так температуры помутнения лежат в интервале от минус -10°C у соевого масла до -55°C у дизельного топлива (марки А) и от минус -15°C у кукурузного масла до -5°C у летнего дизельного топлива. При этом следует отметить, что использование зимнего и арктического топлива понижает температуру помутнения топливных смесей. Результаты исследований указывают на возможность использования масляно-топливных смесей при температурах $-15^{\circ}\text{C} \dots -20^{\circ}\text{C}$ в зимний период.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

На основании произведенных исследований можно сделать вывод, что смесевые системы топлива в определенных маслах и рекомендуемых интервалах концентраций (до 50...60% масла) по своим свойствам близки к нефтяным. Это указывает на возможность использования исследованных смесей без этерификации растительного масла как в качестве топлива для ДВС.

Библиографический список

1. Кнотэ Г. Метилловые эфиры растительных масел с гидроксигирными кислотами: Сравнение метиловых эфиров лескереллы и касторового масла / Г. Кнотхе, С.С. Чермак, Р.Л. Евангелиста // Топливо - №96 - 2012. - С. 535-540
2. Новопашин Л.А. Растительные масла, жирные кислоты, биодизель: учебное пособие / Л. А. Новопашин, Ю. В. Панков, Л. В. Денежко, С. Е. Щеклеин, А. М. Дубинин, А. А. Садов. - 2-е изд., Доп. - Екатеринбург: изд-во Уральского ГАУ, 2020. - 192 с.
3. Садов А.А. Физико-химическая оценка использования дизельного композиционного топлива на основе рицинового масла и биоэтанола в качестве топлива для дизельной электростанции / А.А. Садов, Л.А. Новопашин, Л.В. Денежко, Ю.Б. Черкасов // 3S Web of Conf. Том

222, 2020 Международная научно-практическая конференция «Развитие АПК в условиях роботизации и цифровизации производства в России и за рубежом» (DAIC 2020)

4. Кузнецов, А. В. Топливо и смазочные материалы / А. В. Кузнецов. – М. : КолосС, 2013. – 199 с.

5. ГОСТ 305-2013 «Топливо дизельное. Технические условия». – М. : Стандартинформ, 2019. – 23 с.

6. Asli, U. Catalytic Monoliths for Biodiesel Production: A thesis is submitted for the degree of Doctor of Philosophy University of Bath Department of Chemical Engineering [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://researchportal.bath.ac.uk/en/studentTheses/catalytic-monoliths-for-biodiesel-production>

7. Марков, В. А. Оптимизация состава смесевых биотоплив на основе растительных масел для дизельных двигателей / В. А. Марков, В. В. Маркова, В. М. Сивачёв, С. М. Сивачёв // NBI-technologies. – 2014. – № 4. – С. 86–98.

8. Марков, В. А. Оптимизация состава смесей нефтяного дизельного топлива с растительными маслами / В. А. Марков, С. Н. Девянин, С. И. Каськов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2016. – № 7 (676). – С. 28–44.

9. Уханов, А. П. Нетрадиционные биоконпоненты дизельного смесевоего топлива: монография / А. П. Уханов, Д. А. Уханов, Е. А. Сидоров, Е. Д. Година. – Пенза: РИО ПГСХА, 2013. – 114 с.

References

1. Knothe G. Methyl esters of vegetable oils with hydroxy fatty acids: Comparison of methyl esters of lesquerella and castor oil / G. Knotkhe, S.S. Chermak, R.L. Evangelista // Fuel - №96 - 2012. - P. 535-540

2. Novopashin L.A. Vegetable oils, fatty acids, biodiesel: a tutorial / L. A. Novopashin, Yu. V. Pankov, L. V. Denezhko, S. E. Scheklein, A. M. Dubinin, A. A. Sadov. - 2nd ed., Supplement. - Yekaterinburg: publishing house of the Ural State Agrarian University, 2020. -- 192 p.

3. Sadov A.A. Physicochemical assessment of the use of composite diesel fuel based on ricin oil and bioethanol as fuel for a diesel power plant. Sadov, L.A. Novopashin, L.V. Denezhko, Yu.B. Cherkasov // 3S Web of Conf. Volume 222, 2020 International scientific-practical conference "Development of the agro-industrial complex in the conditions of robotization and digitalization of production in Russia and abroad" (DAIC 2020)

4. Kuznetsov, A. V. Fuel and lubricants / A. V. Kuznetsov. - М.: KolosS, 2013. -- 199 p.

5. GOST 305-2013 "Diesel fuel. Technical conditions ". - М.: Standartinform, 2019. -- 23 p.

6. Asli, U. Catalytic Monoliths for Biodiesel Production: A thesis is submitted for the degree of Doctor of Philosophy University of Bath Department of Chemical Engineering [Electronic resource].

Access mode: <https://researchportal.bath.ac.uk/en/studentTheses/catalytic-monoliths-for-biodiesel-production>

7. Markov, VA Optimization of the composition of blended biofuels based on vegetable oils for diesel engines / VA Markov, VV Markova, VM Sivachev, SM Sivachev // NBI-technologies. - 2014. - No. 4. - P. 86–98.

8. Markov, VA Optimization of the composition of mixtures of petroleum diesel fuel with vegetable oils / VA Markov, SN Devyanin, SI Kaskov // Proceedings of higher educational institutions. Mechanical engineering. - 2016. - No. 7 (676). - S. 28–44.

9. Ukhanov, A. P. Non-traditional biocomponents of mixed fuel diesel: monograph / A. P. Ukhanov, D. A. Ukhanov, E. A. Sidorov, E. D. Godina. - Penza: RIO PGSKhA, 2013. -114 p.

