

3. Решетников, С.М., Решетников И.С. Анатомия горения / С.М. Решетников, И.С. Решетников. — М.: НГСС, 2014. — 247 с.

4. Ямпольский, Ю. П. Элементарные реакции и механизм пиролиза углеводородов / Ю.П. Ямпольский. — М.: Химия, 1990. — 216 с.

Сведения об авторах

Лиханов Виталий Анатольевич, доктор технических наук, академик РАТ, профессор, заведующий кафедрой тепловых двигателей, автомобилей и тракторов, Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 610017, Кировская область, г. Киров, Октябрьский проспект, 133; e-mail: lihanov.va@mail.ru, тел. 8(8332)57-43-07;

Россохин Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов, Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 610017, Кировская область, г. Киров, Октябрьский проспект, 133; e-mail: rossokhin.dvs@mail.ru, тел. 8-912-727-08-74.

REDUCTION OF SOOT CONTENT IN EXHAUST GASES OF DIESELS THROUGH APPLICATION OF ALTERNATIVE FUELS

V.A. Likhanov, A.V. Rossokhin
Vyatka State Agricultural Academy
610017, Kirov, Russian Federation

Abstract. *The article deals with the ways of reducing soot content in exhaust gases of automotive diesels through application of alternative fuel – compressed natural gas. The impact of these fuels on the performance of the combustion process and soot content for diesel D-245.12C (turbocharged, liquid cooling) is studied. The results of experimentation and theory research give the possibility to make a conclusion about efficiency and expediency of application of the given fuel.*

Key words: *diesel, gas diesel, soot, soot content, smokiness, performance indicators, exhaust gases.*

References

1. Baturin, S.A. Fysical bases and mathematical modeling of soot emission processes and heat radiation in diesel engines: Abstract of thesis ...of Doctor of Technical Sciences /S. A. Baturin. Leningrad, 1982, - 443 p.
2. Yampol'skij, Yu. P. Elementary reactions and mechanism of hydrocarbon pyrolyse/ Moscow, Khimiya Publ., 1990, - 216 p.
3. Reshetnikov, S.M., Reshetnikov I.S. Anatomy of burning. Moscow, NGSS Publ., 2014,- 247 p.
4. Razleytsev N.F. Modelling and optimization of burning process in diesel engines. Kharkov, Vysshaya shkola Publ., 1980, - 169 p.

Information about authors

1. **Likhanov Vitaly Anatolyevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Heat Engines, Automobiles and Tractors, Vyatka State Agricultural Academy, 610017, Kirovskaya region, Kirov, Oktyabrsky prospect, 133, tel. 8(8332)57-43-07;

2. **Rossokhin Aleksey Valeryevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Heat Engines, Automobiles and Tractors, Vyatka State Agricultural Academy, 610017, Kirovskaya region, Kirov, Oktyabrsky prospect, 133, tel. 8-912-727-08-74.

УДК 619:637.12

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ, ЭРГОНОМИЧЕСКИЕ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЛАГО-ПОЧВООХРАННОЙ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕРНА И КОРМОВ

Н. К. Мазитов^{1,2,3)}, А. П. Акимов²⁾, Н. Т. Сорокин¹⁾, А. Е. Макушев²⁾, Л.З. Шарафиев³⁾

¹⁾Всероссийский научно-исследовательский институт механизации и информатизации агрохимического обеспечения сельского хозяйства, 390025, г.Рязань, Российская Федерация

²⁾ФГБОУ ВО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия»
428003, Чебоксары, Российская Федерация

³⁾Казанский государственный аграрный университет, 420015, г.Казань, Российская Федерация

Аннотация. *Назначение техники в сельском хозяйстве – выполнение технологии возделывания конкретной сельскохозяйственной культуры, а технологии призваны обеспечить выполнение всех биологических требований, предъявляемых к возделыванию сельскохозяйственных культур. Результат их*

использования – получение экологически чистой, рентабельной и конкурентоспособной продукции растениеводства и в последующем – животноводства.

В результате многолетних исследований нам удалось разработать, обосновать, провести сравнительные производственные и государственные испытания влаго-почвоохранной техники для производства зерна и кормов, обеспечивших повышение урожайности, производительности труда и рентабельности производства при снижении удельного расхода топлива и потребной мощности, удельной металлоемкости по сравнению с лучшими мировыми аналогами [1–6].

Ключевые слова: влагоаккумуляция, экологическая эргономическая безопасность, энергосохранение, рентабельность, производительность, металлоемкость, аэрация, экономическая целесообразность.

Введение. Зарубежные почвообрабатывающие посевные комплексы хорошо приспособлены лишь для своих почвенно-климатических условий (там сеют в основном на глубину 2-3 см, так как в данных климатических зонах часто идут дожди, выпадает роса), а для наших условий они не адаптированы (у нас сеют на 4-5 см, так как дожди идут редко, роса отсутствует), вследствие чего зарубежные комплексы машин не оправдали своих рекламных показателей, что привело к свертыванию аграрного производства, к необходимости обязательной закупки зарубежной продукции растениеводства и животноводства.

Широкое применение зарубежной, не адаптированной к почвенно-климатическим условиям России техники, не прошедшей предварительную проверку, привело к следующим негативным явлениям:

- высоким энергозатратам из-за использования тяжелой прицепной техники;
- массовому засорению полей из-за невыполнения принятых агротехнических приемов;
- массовому размножению грызунов;
- необходимости увеличения расходов на использование гербицидов и пестицидов в связи с тем, что перестали применять требуемые нормативами агроприемы, по этой причине произошло постепенное увеличение расходов на производство продукции сельского хозяйства, резкое ухудшение ее качества;
- нарушению экологического равновесия агроландшафта из-за эрозии почвы;
- высокой себестоимости аграрной продукции из-за снижения урожайности и высокой цены на технику (амортизационных отчислений);
- сокращению промышленного и аграрного производства в России из-за настойчивого внедрения зарубежной техники, что приводит к уменьшению рентабельности производства;
- ограничению трудовой занятости населения из-за закрытия заводов и банкротства хозяйств;
- уменьшению налоговых поступлений в бюджет за счет сокращения собственного производства;
- сокращению прироста населения России и ее трудовых ресурсов, что приводит к неминуемой потере лидерства России;
- угрозе экономической и продовольственной независимости России.

В связи с постоянным изменением почвенно-климатических условий и совершенствованием технологий техника также последовательно модернизируется.

Цель этих модернизаций – обеспечение экологического равновесия в природе, то есть сохранение и увеличение плодородия почвы благодаря устранению причин, способствующих ее размыванию, энерго- и ресурсосбережение, улучшение качества, долговечности, эргономичности техники и снижению ее стоимости.

Исходя из заявленных целей техническая и технологическая модернизация должна состоять в следующем: необходимо получить максимально дешевую экологически чистую продукцию растениеводства и животноводства и извлечь максимальную прибыль с гарантированным внедрением импортозамещения, то есть с освобождением от технологической зависимости.

Материалы и методы. Разработка конкурентоспособной технологии с использованием комплекса принципиально новой техники влияет на развитие аграрного производства и предусматривает решение важных задач жизнеобеспечения населения:

- безупречное экологическое качество продукции без использования ГМО и химикатов;
- исключение влияния экологических катаклизмов (например, наводнений и последующего смыва гумуса) при использовании технологий обработки почвы);
- эргономическая безопасность техники;
- максимальное сокращение удельных затрат топлива и потребной мощности при существенном повышении производительности и снижении металлоемкости.

Экономическую основу решения проблемы составили низкая себестоимость продукции и высокая рентабельность растениеводства при производстве зерна и кормов как основы последующего развития животноводства, внедрение зонально адаптированной, надежной и недорогой техники, способной произвести гарантированное, необходимое для потребления количество зерна по 1 т на человека. Решение вышеперечисленных глобальных функционально взаимосвязанных показателей потребовало осуществить как техническую, так и технологическую модернизацию техники.

1. Техническая модернизация осуществлялась следующим образом:

- повышение производительности;
- снижение массы машин (общей и удельной на метр захвата);
- снижение тягового сопротивления (общего и удельного на метр захвата);
- снижение потребной тяговой мощности, расхода топлива, тягового класса трактора и его массы;

- унификация выполняемых операций;
- удобство перевода в рабочее и транспортное положения (ни один зарубежный почвообрабатывающий посевной агрегат не отвечает требованиям безопасности дорожного движения при транспортировке по автомобильным дорогам: их транспортные габариты составляют более 4,4 метров по ширине);
- снижение стоимости (амортизационные отчисления на зарубежные комплексы составляют, в среднем, до 45% на тонну зерна, при этом не может быть рентабельного производства зерна и кормов).

2. Технологическая модернизация обязательно предусматривала:

- снижение степени воздействия на почву при обеспечении высокого качества агротехнических работ, исключающих деградацию почвы;
- максимальное влагонакопление и влагосохранение;
- обеспечение оптимального микрорельефа и тепло-влажно-воздушного режима для семян и корневой системы всходов растений как зерновых, так и кормовых культур;
- резкое сокращение или исключение применения химикатов и минеральных удобрений за счет биологизации земледелия.

Вышеуказанные направления технической и технологической модернизации стали возможны благодаря принципиально новому методу конструирования почвообрабатывающих и посевных машин: рабочих органов, пакетов рабочих органов, модулей из пакетов, блоков из модулей, полной функционально блочно-модульной машины (в России уже получено 36 патентов на изобретения, что обеспечило унификацию машин, равную 98 %). Такая компоновка обеспечила оптимальную загрузку тяговых средств класса от 0,6 до 7,0, включая все зарубежные и российские модели.

Универсальность машин по почвенно-климатическим зонам была обеспечена сменными зональными рабочими органами в системе органического земледелия, обоснованного во Всероссийском научно-исследовательском институте механизации и информатизации агрохимического обеспечения сельского хозяйства (г. Рязань). В качестве машин для основной обработки почвы используются плуг Всероссийского научно-исследовательского института механизации (г. Москва), семейство плугов-рыхлителей «Зубр» и «Бизон» производственной компании «Ярославич» (г. Ярославль) (рис. 1), комплекс механизмов, состоящих из ротационного плуга РР-2, подпокровных рыхлителей РП-1,7, пружинного кротователя ПК-2, разработанных в Чувашской государственной сельскохозяйственной академии.

Комплекс машин, используемых для поверхностной и предпосевной обработки почвы для всех почвенно-климатических зон, составил более 30 моделей блочно-модульных культиваторов, выпускаемых производственной компанией «Ярославич» Ярославской области (рис. 2).

Комплекс посевных машин СПБМ-8, СПБМ-16, КСК-4 (рис. 3) производится обществом с ограниченной ответственностью «Варнагромаш» (г. Челябинск).

Сравнительные испытания лучших зарубежных комплексов проводились в Республиках Татарстан, Башкортостан, Чувашской республике, в Кировской, Новосибирской, Ярославской, Волгоградской, Липецкой областях, в Ставропольском и Краснодарском краях Российской Федерации.



Рисунок 1а. Машина для основной обработки почвы – «Зубр»



Рисунок 16. Машина для основной обработки почвы – «Бизон».



КБМ-8 ПС-К. Культиватор блочно-модульный, прицепной (передний опорный каток, пружинная стойка, 3 ряда рабочих органов, планочно-зубовый выравниватель и роторный каток).



КБМ-9,6 ПС-4Д. Культиватор блочно-модульный прицепной (облегченный, узкая пружинная стойка со стрельчатой лапой в 4 ряда, ширина лапы 105 мм, планочно-зубовый выравниватель, двойной роторный каток).



КБМ-10,8 ПС-4. Культиватор блочно-модульный (пружинная стойка, 4 ряда рабочих органов, планочно-зубовый выравниватель и роторный каток).



КБМ-14,4 П «Весенний». Культиватор блочно-модульный прицепной (пружинная стойка, 3 ряда рабочих органов, планочно-зубовый выравниватель и роторный каток).



КБМ-14,4 ПС «Универсальный». Культиватор блочно-модульный прицепной (усиленная пружинная стойка со стрельчатой лапой, 120 рабочих органов в 3 ряда, планочно-зубовый выравниватель и роторный каток).



КБМ-14,4 ПС-4 «Урожайный». Культиватор блочно-модульный прицепной (стрельчатая лапа, 120 рабочих органов в 4 ряда и роторный каток).



КБМ-14,4 ПС-Д «свекловичный». Культиватор блочно-модульный прицепной (стрельчатая лапа, 120 рабочих органов в 3 ряда, планочно-зубовый выравниватель, сдвоенный роторный каток, 14 опорных колес).



КБМ-14,4 ПС-4Д «скоростной». Культиватор блочно-модульный прицепной (стрельчатая лапа, 120 рабочих органов в 4 ряда, сдвоенный роторный каток, 14 опорных колес).



КБМ-14,4 ПС-4П «паровой». Культиватор блочно-модульный прицепной (стрельчатая лапа, 160 рабочих органов в 4 ряда, 10 опорных колес и роторный каток).

Рисунок 2. Комплекс блочно-модульных культиваторов КБМ.



Рисунок 3. Блочно-модульные сеялки: сверху – СПБМ-8; снизу – СПБМ-16.

Результаты исследований и их обсуждение. На первом этапе исследований мы провели сравнительные испытания отечественных и зарубежных машин, а также разработанного нами культиватора КБМ (рис. 2). Полевые испытания показали, что общепринятые к использованию в России культиваторы КПС-4 и зарубежные культиваторы типа «Horsch» (рис. 4) не могут обеспечить выполнение всех условий, необходимых для успешной заделки семян, их всхожести, дальнейшего развития растений, из-за высокой гребнистости поля после предпосевной обработки почвы и потери запасов влаги. Эти недостатки невозможно исправить дополнительными приемами. Они могут быть устранены блочно-модульными культиваторами КБМ. Их сравнительная техническая и технологическая характеристика по результатам государственных испытаний представлена в таблице 1.

На втором этапе применили влагоаккумулирующую технологию обработки почвы (рис. 5), при которой итоговую операцию влагосохранения выполняли блочно-модульные культиваторы серии КБМ. Результаты их сравнительной характеристики с российскими и зарубежными аналогами представлены на рисунках 6-8.



Рисунок 4. Культиватор «Horsch».

Таблица 1 – Результаты государственных испытаний культиваторов на Поволжской машиностроительной станции (г. Усть-Кинельский, Самарская область, Россия).

Культиваторы	Блочно-модульные культиваторы Татарстана			2КПС-4+4БЗСС-1	КПЗ-9,7	Компактор	Синхрожерм
	КБМ-8,4Н	КБМ-10,5П	КБМ-15П	Россия	Россия	Германия	Франция
Ширина захвата, м	8,4	10,5	15	8	9,7	6	4
Удельное тяговое сопротивление, кН/м	3,1	2,86	2,72	3,38	3,2	7,33	10,75
Удельный расход топлива, кг/га	2,8	2,6	2,5	3,6	3,3	4,5	7,8
Удельная металлоемкость, кг/м	250	350	340	350	330	750	1050
Производительность, га/ч	7,2	9,1	12,9	6,4	7,8	4,6	3,0
Удельная стоимость работ, тыс. руб./га	43,6	43,2	39,2	44,4	43,9	158,0	149,6
Вынос влажного слоя почвы, %		2,5		12,3	9,1	6,4	5,4
Эрозионно-опасные частицы, %		-0,3		-0,5		12,3	
Гребнистость поверхности поля, см		0,0		4,4	4,7	1,5	2,5
Рабочая скорость, км/ч		9,6		8,2	8,3	7,6	8,3
Поверхностное прикатывание	-	-	-	-	-	+	+
Поверхностное прикатывание на глубине посева	+	+	+	-	-	-	-
Возможность ранневесенней культивации	+	+	+	-	-	-	-

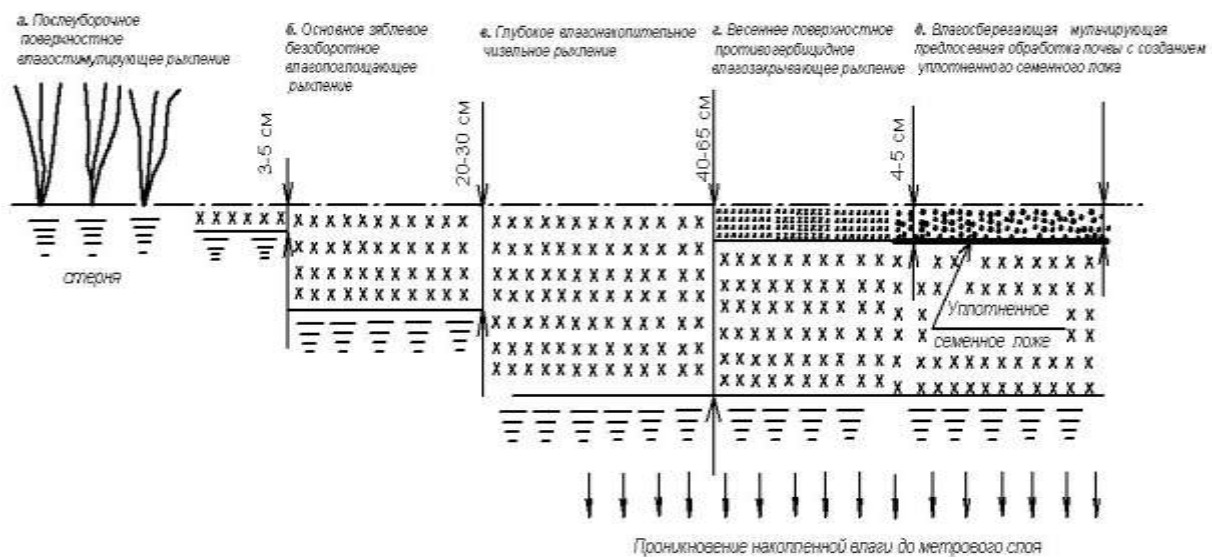


Рисунок 5. Операции влагоаккумулирующей противозасушливой экологической технологии обработки почвы.

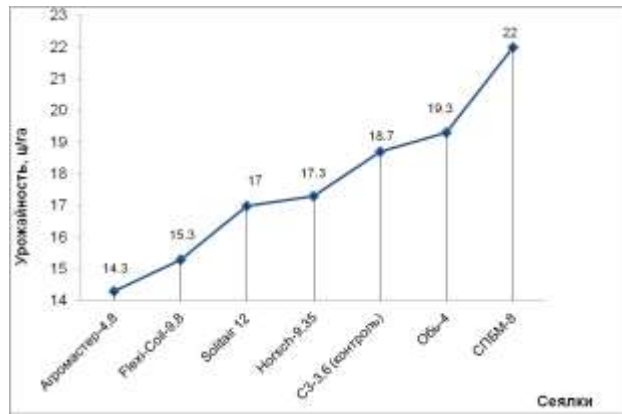


Рисунок 6. Урожайность яровой пшеницы в засушливом 2008 г. (50,9мм) в с.Кузайкино Альметьевского р-на Республики Татарстан при посеве различными сеялками

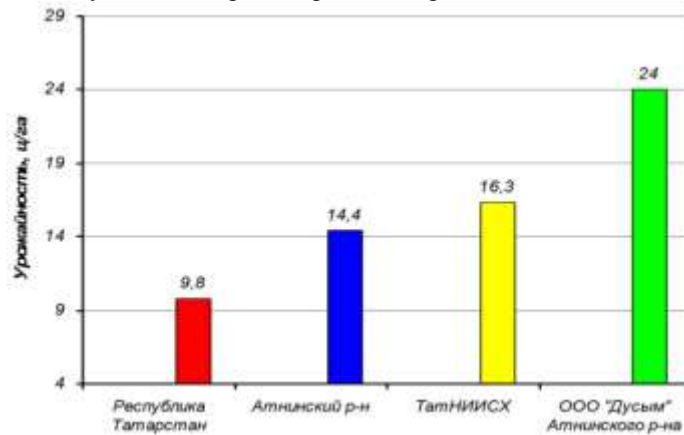
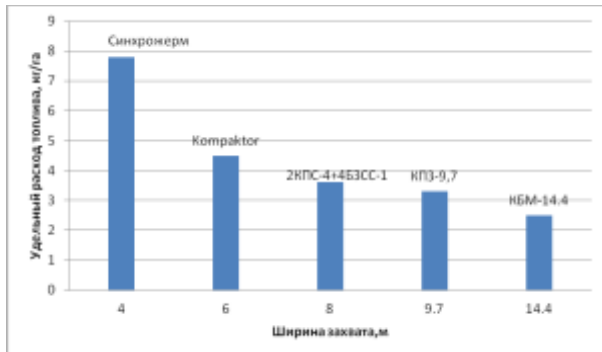


Рисунок 7. Урожайность ячменя в Республике Татарстан в засушливом 2010 г..



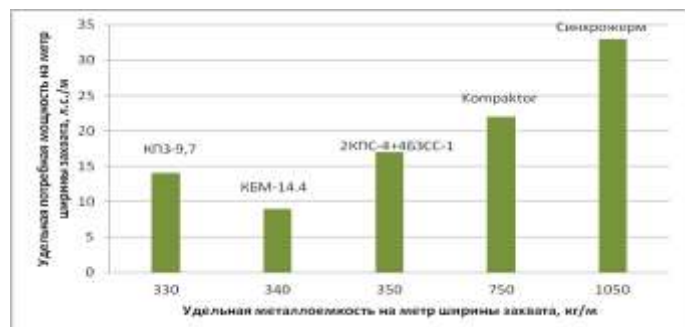
а) Удельный расход топлива сравниваемых культиваторов в зависимости от ширины захвата



б) Удельная потребляемая мощность сравниваемых культиваторов в зависимости от ширины захвата



в) Удельная потребляемая мощность культиваторов в зависимости от производительности агрегата



г) Удельная потребляемая мощность сравниваемых культиваторов в зависимости от их удельной металлоемкости

Рисунок 8. Удельные технико-экономические показатели культиватора КБМ-14,4 в сравнении с отечественным и зарубежными аналогами.

Культиватор «Horsch» оставляет за собой глыбистую, гребнистую (до 11 см) поверхность, недопустимую по агротехническим показателям возделывания зерновых культур в России, и удаляет запасы влаги и тепла из почвы как радиаторная поверхность, что приводит к значительному снижению урожайности зерновых культур.

Нами также были проведены мероприятия по улучшению состояния природных кормовых угодий путем обработки дернины аэрационными боронами типа ПБЛ-10, что привело к изменениям водно-воздушного режима почвы и повлияло на мобилизацию питательных веществ дернины, при этом сохранились вегетативные органы размножения, обеспечивающие ботаническое разнообразие исходного травостоя, являющегося биологически полноценным кормом (таблица 2 и 3).

Таблица 2 – Урожайность естественного пастбища

Способ улучшения травостоя	Урожай зеленой массы, ц/га				Прибавка в урожае	
	1 год	2 год	3 год	Среднее за 3 года	ц/га	%
Естественное пастбище без улучшения	25,0	37,5	35,0	32,5	-	-
Подкормка N60P60K60 (фон)	51,0	62,3	64,7	59,3	26,8	82,6
Фон+боронование БЗТС-1,0	62,0	71,2	76,2	69,8	37,3	114,8
Фон+аэрационная обработка ПБЛ-10	73,0	95,0	125,0	97,7	65,2	200,5

Таблица 3 – Изменение химического состава почвы при различных способах обработки дернины на сеяных травах. В числителе – на глубине 0-10 см, в знаменателе – 0-40см.

№ п/п	Варианты опыта	Легкогидро- лизуемый азот, мг/кг	pH	K ₂ O мг/100 почвы	P ₂ O ₅ мг/100 почвы	Гумус
1	Контроль	135,8/130,4	6,2/6,3	32,3/26,8	28,0/25,8	5,37/5,40
2	БЗТС-1,0	131,6/128,4	6,0/5,8	25,9/16,1	31,2/22,8	5,36/5,34
3	БИГ-3,0	135,1/136,4	6,0/6,0	17,3/11,8	23,5/16,0	5,40/5,36
4	ПБЛ-10	175,0/151,2	6,4/6,4	16,3/11,1	21,9/15,5	5,57/5,51

Выводы

1. Технологии производства зерна и кормов должны быть экологически чистыми, эргономически безопасными, экономически целесообразными и соответствовать всем требованиям возделывания культурных растений.

2. Почвообрабатывающая и посевная техника должна быть адаптирована к местным условиям. Ее применение в разных почвенно-климатических условиях без предварительных испытаний и апробации недопустимо, так как не подтверждаются их высокие технико-экономические показатели, заявленные производителями, что подрывает престиж заводов-изготовителей, а также приводит к резкому снижению уровня экономических показателей регионов.

3. Создана универсальная влагоаккумулирующая противозасушливая экологическая технология обработки почвы, основанная на модульно-блочном комплектовании тракторов всех тяговых классов, обеспечивающая значительное повышение урожайности, производительности и рентабельности производства при снижении удельных расходов топлива, потребной мощности и удельной металлоемкости.

Литература

1. Влагоаккумулирующая технология и техника восстановления сенокосов и пастбищ / А. Ю. Измайлов [и др.] // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. М., – 2014. – № 4. – С. 59-62.
2. Импортзамещающий комплекс машин для влагоаккумулирующей энергосберегающей технологии обработки почвы / Н. К. Мазитов [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2013. – № 1. – С. 2-4.
3. Итоги многолетних сравнительных испытаний и внедрения новой техники для обработки почвы и посева / Н. К. Мазитов [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – №8. – С.91-93.
4. Пат. 2457651 Российская Федерация, МПК7 А01В 59/04. Способ обработки почвы / Н. К. Мазитов, Л. З. Шарафиев, А. Ю. Измайлов, Р. Л. Сахапов, И. Р. Рахимов и др.; заявл. 16.02.2011; опубл. 10.08.2012; Бюл. № 22. – 8 с.

5. Почвообрабатывающий и посевной комплекс для энерго-, ресурсосберегающего производства продукции растениеводства: рекомендации к применению / Ю. Ф. Лачуга [и др.] – М.: ООО «Столичная типография», 2008. – 120 с.

6. Результаты экспериментов по разработке технологии и техники производства продукции растениеводства в условиях засухи / Н. К. Мазитов [и др.] // Доклад Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2012. – № 1. – С. 56-59.

Сведения об авторах

1. **Акимов Александр Петрович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой транспортно-технологических машин и комплексов, Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29, e-mail: akimov_mechfak@mail.ru, тел. 8-909-301-25-03;

2. **Макушев Андрей Евгеньевич**, кандидат экономических наук, ректор, Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29, e-mail: main@academy21.ru, тел. 8-(8352)-62-23-34.;

3. **Мазитов Назиб Каюмович**, главный научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института механизации и информатизации агрохимического обеспечения сельского хозяйства, 390025, Рязанская обл., г. Рязань, ул. Щорса, 38/11, e-mail: mazitov.nazib@yandex.ru, Телефон: 8-(4912)-92-46-31;

4. **Сорокин Николай Тимофеевич**, доктор экономических наук, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт механизации и информатизации агрохимического обеспечения сельского хозяйства, 390025, Рязанская обл., г. Рязань, ул. Щорса, 38/11, e-mail: n.sorokin.vnims13@yandex.ru, Телефон: 8-(4912)-98-56-89;

5. **Шарафиев Ленар Зуфарович**, кандидат экономических наук, докторант, Казанский государственный аграрный университет, 420015, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К.Маркса, 65), Телефон: 8-(951)-89-38-091.

EKOLOGO-, ERGONOMIKO-, POWER - ECONOMIC BASES OF THE MOISTURE-SOIL-SAVING COMPETITIVE PRODUCTION TECHNOLOGY OF GRAIN AND FORAGES

N.K. Mazitov^{1,2,3)}, A.P. Akimov²⁾, N.T. Sorokin¹⁾, A.E. Makushev²⁾, L.Z. Sharafiyev³⁾

¹⁾*Russian Research Institute of Mechanization and Informatization of Agrochemical Support of Agriculture*
390025, Ryazan, Russian Federation

²⁾*Chuvash State Agricultural Academy*
428003, Cheboksary, Russian Federation

³⁾*Kazan State Agrarian University,*
420015, Kazan, Russian Federation

Abstract. Purpose of the equipment in agricultural industry – accomplishment of technology of cultivation of a specific crop, and technology – full implementation of biological requirements of these cultures. Result of use of the equipment and the technology which is carried out by it – obtaining environmentally friendly, profitable and competitive products of crop production and in subsequent – livestock production.

Our long-term researches allowed to develop, prove, carry out comparative production and state testing of moisture-soil-saving technology and the technology of production of grain and forages which provided increase in productivity, performance and profitability in case of decrease in a specific fuel consumption and need capacity, specific metal consumption – in comparison with the best world analogs.

Key words: Moisture accumulation, ecological ergonomic safety, power preserving, profitability, performance, metal consumption, aeration, economic expediency.

References

1. A soil-cultivating and sowing complex for power - resource-saving production of crop production (the Recommendation to application) / Yu. F. Lachuga, N. K. Mazitov, V. V. Blednykh, R. L. Sakhapov, and others. – М.: LLC Capital Typography, 2008. - 120 p.

2. Moisture heat-sink technology and technology of recovery of haymakings and pastures / A.Yu. Izmaylov, N. K. Mazitov, S.Yu. Dmitriyev, I. R. Rakhimov, L. Z. Sharafiyev and other//Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2014. No. 4. - Pp. 59-62.

3. Patent No. 2457651 of the Russian Federation, MPK7 A01V 59/04. Method of handling of the soil / N. K. Mazitov, L. Z. Sharafiyev, A. Yu. Izmaylov, R. L. Sakhapov, I. R. Rakhimov, and other – It is declared 16.02.2011. Opubl. 10.08.2012. Bulletin 22.

4. An import-substituting complex of machines for a moisture heat-sink energy-saving technology of handling of the soil / N. K. Mazitov, R. L. Sakhapov, S.Yu. Dmitriyev, L. Z. Sharafiyev, etc.//Mechanization and electrification of agricultural industry. 2013. No. 1. - Pp. 2-4.

5. Results of experiments on development of technology and technology of production of crop production in a drought / N. K. Mazitov, R. L. Sakhapov, R. S. Rakhimov, Yu. B. Chetyrkin, F. M. Sadriyev, S.Yu. Dmitriyev, N. E. Garipov//the Report of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2012. No. 1. - Pp. 56-59.

6. Results of long-term comparative testing and implementation of the new equipment for handling of the soil and crops / N. K. Mazitov, R. L. Sakhapov, Ya. P. Lobachevsky, I. R. Rakhimov, L. Z. Sharafiyev, S.Yu. Dmitriyev and others//Achievements of science and technology of agrarian and industrial complex. 2016. No. 8. - Pp. 91-93.

Information about authors

1. **Akimov Alexander Petrovitch**, Doctor of Technical Sciences, professor, Head of Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marx str., 29, e-mail: akimov_mechfak@mail.ru, tel. 8-909-301-25-03;

2. **Makushev Andrey Evgenievitch**, Candidate of Economic Sciences, Rector, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marx street, 29, e-mail: main@academy21.ru, tel. 8- (8352) -62-23-34 ;

3. **Mazitov Nazib Kayumovitch**, Chief Researcher of the Russian Research Institute of Mechanization and Informatization of Agrochemical Support of Agriculture, 390025, Ryazan Region, Ryazan, Shchors Street, 38/11, e-mail: mazitov.nazib@yandex.ru, Phone: 8-(4912)-92-46-31;

4. **Sorokin Nikolai Timofeevitch**, Doctor of Economics, Director of the Russian Scientific Research Institute of Mechanization and Informatization of Agricultural Agrochemical Support, 390025, Ryazan Region, Ryazan, Shchors Street, 38/11, e-mail: n.sorokin.vnims13 @ Yandex.ru, Phone: 8- (4912) -98-56-89;

5. **Sharafiev Lenar Zufarovitch**, Candidate of Economic Sciences, Doctoral Student of Kazan State Agrarian University, 420015, Republic of Tatarstan, Kazan, K. Marx street, 65, Phone: 8- (951) -89-38-091.

УДК: 539.3

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ИЗ СЫПУЧЕЙ СРЕДЫ

А.Н. Максимов

*Чувашская государственная сельскохозяйственная академия
428003, Чебоксары, Российская Федерация*

Аннотация. В статье приведено подробное решение задачи определения компонент напряжений в упругой и пластической областях для одного из трех случаев, удовлетворяющих условию полной пластичности для сжимаемого пространства, ослабленного полостями.

Ключевые слова: напряжения; пластичность; упругость; полость.

В практике горного дела, строительной механике и других смежных областях важное место имеет определение напряженного и деформированного состояния массива вокруг полостей и выемок. Свойства массива могут быть самыми разнообразными от хрупких и упругих свойств скальных пород до сред с различными реологическими свойствами, характеризующимися изменениями свойств среды во времени и т.п.

Целью работы является исследование напряженного состояния идеальнопластического сжимаемого массива, ослабленного полостью. Впервые задача о трехосном растяжении несжимаемого упругопластического пространства со сферической полостью рассмотрена Т. Д. Семькиной [10]. Позднее это решение обсуждалось в монографии Б. Д. Аннина и Г.П. Черепанова [1]. В. Г. Ефремов [2], [5] и А. Н. Максимов [5] рассмотрели пространство со сферической и эллипсоидальной полостями в случае несжимаемого упругопластического материала.

В задаче рассматривается массив из сыпучей среды, обладающей свойствами внутреннего трения и сцепления. Условие предельного состояния сыпучей среды выбрано в виде [9]. В постановке задачи массив ослаблен полостью. Давление внутри полости отсутствует, а на бесконечности приложены взаимно-перпендикулярные усилия. При решении задачи использован метод малого параметра. Задача решена в сферической системе координат, в безразмерных единицах длины (величины, имеющие размерность длины отнесены к радиусу сферической полости ρ_0).

Для решения задачи используем уравнения равновесия [3]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_\rho}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{\rho\theta}}{\partial \theta} + \frac{1}{\rho \sin \theta} \frac{\partial \tau_{\rho\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{1}{\rho} (2\sigma_\rho - \sigma_\theta - \sigma_\varphi + \tau_{\rho\theta} \operatorname{ctg} \theta) &= 0, \\ \frac{\partial \tau_{\rho\theta}}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial \theta} + \frac{1}{\rho \sin \theta} \frac{\partial \tau_{\theta\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{1}{\rho} ((\sigma_\theta - \sigma_\varphi) \operatorname{ctg} \theta + 3\tau_{\rho\theta}) &= 0, \\ \frac{\partial \tau_{\rho\varphi}}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{\theta\varphi}}{\partial \theta} + \frac{1}{\rho \sin \theta} \frac{\partial \sigma_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{1}{\rho} (3\tau_{\rho\varphi} + 2\tau_{\theta\varphi} \operatorname{ctg} \theta) &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$