

Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

*Нижегородский государственный
инженерно-экономический институт*

ISSN 2227-9407

ВЕСТНИК НГИЭИ

Научный журнал
Издается с ноября 2010 года

№ 10 (29)

Октябрь
2013 г.

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Серия основана в ноябре 2010
Выходит один раз в два месяца

Редакционный совет:

А. Е. Шамин, д.э.н., проф.
(главный редактор),
Н. В. Проваленова, к.э.н., доц.
(зам. главного редактора),
С. А. Суслов, к.э.н., доц.
(ответственный редактор),
А. В. Мартьянычев, к.с.-х.н.,
А. С. Серебряков, д.т.н., проф.,
Н. В. Оболенский, д.т.н., проф.,
Н. Н. Кучин, д.с.-х.н., проф.,
В. Л. Осокин, к.т.н.,
Е. В. Королев, к.т.н., доц.,
Н. А. Лиманская, к.т.н., доц.,
С. Ю. Булатов, к.т.н.

Корректор:
Т. А. Быстрова

Технический редактор:
Н. А. Шуварина

Перевод
на английский язык:
Н. Н. Игнатьева

Компьютерная верстка:
К. Е. Миронов

СОДЕРЖАНИЕ

БУЛАТОВ С. Ю., СВИСТУНОВ А. И. Анализ технологий получения кормов с вы- соким содержанием белков из малоценных сырьевых ресурсов и отходов производства	3
БУЛАТОВ С. Ю., СМЕРНОВ Р. А. Ана- лиз факторов, влияющих на рабочий про- цесс измельчителя корнеплодов	15
ВУЖИЦКИЙ А. В., КОВАЛЬ Д. Н., КУЦЕНКО Ю. Н., НЕСТЕРЧУК Д. Н., ЯКОВЛЕВ В. Ф. Планирование экспери- ментов по определению калия в почве	24
ГОЕВА В. В., ГРИШИН Н. Е., КАЗАКОВ С. С., КОЧЕНОВ В. А. Модерни- зация производства, форсирование ДВС, долговечность и износостойкость деталей	40
ГРИШИН Н. Е., КОТИН А. И., ЛОПОТКИН А. М. Влияние кривизны в плане на изменение значений коэффициен- тов аэродинамических сил	47
ЖАМАЛОВ Р. Р., КОРОЛЕВ Е. В., КОТИН А. И. Влияние изменения геомет- рии плановой проекции масштабной моде- ли легкового автомобиля на аэродинамиче- ские характеристики	53

Адрес редакции, издателя, типографии: 606340, Россия, Нижегородская область, город Княгинино, улица Октябрьская, дом 22а Сайт http://www.ngiei.ru Е-mail: provalenova@ngiei.ru ngieiipc@gmail.ru Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, ин- формационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетель- ство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-52336 от 25.12.2012 г. Подписано в печать 31.10.2013 г. по графику 16:00 фактически 15:00 Формат 60х90, 1/16 Усл. печ. л. 7,39. Уч.-изд. л. 4,26. Тираж 1 000 экз. Заказ 53. Цена свободная. © Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, 2013	ЗОНОВ А. В. Скоростные характери- стики изменения содержания токсичных ком- понентов в отработавших газах дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения час- тоты вращения коленчатого вала 58 ЗОНОВ А. В., ПОЛЕВЩИКОВ А. С. Рас- четно-теоретическое исследование физиче- ских свойств альтернативного топлива (этанола) и характеристик впрыскивания и распыливания в дизеле 2Ч10,5/12,0 63 КОСОЛАПОВ В. В., КОСОЛАПОВА Е. В. Обоснование оптимального значения загрузки МТА 71 КРАЙНОВ Ю. Е. Технология получения биогаза из отходов и сырья в сельскохозяй- ственном производстве 81 МИРОНОВ Е. Б. Определение зависимо- стей теплового потока и эффективности оребрения от параметров ребра МИНЖС 86 НАЗАРЕНКО И. П. Сепарация слабopro- водящих суспензий в бегущем электриче- ском поле 93 НЕЧАЕВ В. Н., РОМАНЫЧЕВ М. А. Оп- ределение оптимального радиуса кривизны лопаток ротора-вентилятора при измельче- нии зерна 100 СВИСТУНОВ А. И. Классификация спо- собов ферментации и ферментеров 109
--	--

С. Ю. БУЛАТОВ, А. И. СВИСТУНОВ

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ КОРМОВ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ БЕЛКОВ ИЗ МАЛОЦЕННЫХ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ И ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

Ключевые слова: бактерии, закваска, корм, способ, технология, ферментация.

Аннотация. Проведен анализ существующих технологий получения кормов с высоким содержанием белков из малоценных сырьевых ресурсов и отходов производства. Определены их преимущества и недостатки, предложена наиболее оптимальная технология для внедрения в сельскохозяйственные организации.

Одна из важных проблем животноводческой отрасли – недостаток протеина и несбалансированность существующих кормовых рационов по белку и легкопереваримым углеводам. В последнее время во многих странах мира занимаются поиском новых эффективных способов получения кормового белка. Одним из наиболее перспективных путей его получения является микробиологический синтез [39].

Наиболее простой способ получения кормосмеси с высоким содержанием белка – применение заквасок. Суть приготовления корма сводится к тому, что создается питательная среда с необходимыми условиями, в нее добавляется закваска и в течение некоторого времени проводится ферментация, в результате которой из малоценного продукта получается насыщенный белками корм. Однако некоторые из них требуют длительную выдержку до 15 суток [3] с незначительным увеличением питательности корма с 0,3 кормоединицы до 0,42, а некоторые [13, с. 21] предусматривают большой расход закваски – 200 г на 1 т сырья.

В изобретении Леснова П. А. [26] названные недостатки устранены тем, что закваска готовится в виде сухого высокоактивного порошкообразного препарата разового пользования. Её вносят из

расчета 5 г на 1 т сырья при влажности сырья 45...75 %, температуре 48...80 °С и выдерживают 6...12 ч.

Автор предлагает несколько способов использования закваски:

1. Приготовление кормов для жвачных животных, лошадей, кроликов.

2. Способ приготовления кормов для свиней, птицы и как кормовых добавок для жвачных животных, лошадей, кроликов.

3. Приготовление корма при использовании эффекта автолиза. Этот способ можно использовать при обработке зерносмесей или других кормов с высоким содержанием крахмала и низким (4...7%) содержанием клетчатки.

4. Способ приготовления витаминизированных кормосмесей для жвачных животных, свиней, птицы, лошадей, кроликов.

К недостаткам названных способов можно отнести следующие:

1. Во всех способах использования закваски необходима первичная ферментация с выдержкой жидкой рабочей закваски при температуре воздуха в помещении 10... 30 °С.

2. При третьем способе получения корма в свежем виде его опасно раздавать животным, так как существует вероятность накопления в нем токсинов, кислот и нуклеотидов, которые могут вызвать поражение центральной нервной системы у животных и даже влиять на генетическую структуру[26].

Изобретение Леснова П. А. используется в других технологиях получения кормов и концентратов.

Так, например, способ производства комбинированного кормового концентрата [33] включает сбор молочной сыворотки и вторичных сырьевых ресурсов пивоваренной промышленности, составление и сгущение смеси, внесение просеянных зерновых и гранулирование. Смесь пивной дробины и белкового отстоя подвергают ферментативному гидролизу закваской Леснова П. А. По мнению авторов [33], данная технология позволяет улучшить функциональные свойства концентрата и удешевить его производство за счет щелочной изомеризации лактозы в сгущенной молочной сыворотке и имеет преимущества перед аналогичными способами получения концентратов из вторичных сырьевых ресурсов молочной и пивоваренной промышленности [2, 23, 25], недостатками которых является высокая потребительская стоимость и сравнительно невысокая кормовая ценность из-за несбалансированного аминокислотного состава [33].

Калдин Р. Ю. и Голубев А. И. [35] отмечают невысокую питательную ценность получаемых продуктов, несбалансированность корма по питательным веществам, получаемым с помощью закваски Леснова П. А., а также ряда изобретений других авторов [24, 28, 30].

Калдин Р. Ю. и Голубев А. И. предлагают получать корм на основе белкового гидролизата из растительного и животного сырья. Технология получения корма заключается в следующем. Измельчают рыбопродукты либо отходы их переработки, либо шрот с водным дрожжевым субстратом или спиртовой бардой, производят их смешивание в ферментаторе, вносят морские водоросли и нагревают смесь при непрерывном перемешивании. В полученную массу вносят ферменты. Ферментация ведется при непрерывном перемешивании до получения гидролизата. Добавляют бентонитовую глину и смешивают до получения однородной массы с ранее приготовленной измельченной лузгой, обработанной гумивитом и закваской Леснова П. А. По мнению авторов, осуществление этого способа позволяет получить корм, сбалансированный по химическому составу и питательным веществам с высокой усвояемостью. Авторы [35] отмечают преимущества своего способа получения гидролизатов перед аналогичным [17], недостатком которого является получение готового продукта с невысокими питательными свойствами.

Белково-витаминные корма для животных можно получать из различных сырьевых материалов, отходов производства пищевой промышленности, сельского хозяйства и т. д.

Известен способ получения белково-витаминного корма путем инкубации микроорганизмов на питательной среде, содержащей минеральные соли и источник углерода в виде отхода производства по переработке природного сырья [27]. В качестве отходов производства в этом способе используют зерно, которое предварительно измельчают, подвергают ферментативному гидролизу, получая ферментолитат, из которого готовят питательную среду для выращивания дрожжей *Saccaromycescerevisiae*. Полученную биомассу добавляют в корм.

Поскольку дрожжи выращивают в аэробных условиях, то требуются значительные энергозатраты на подачу воздуха в среду для их инкубации. Кроме того, для использования полученной биомассы корм необходимо подвергнуть термической обработке с целью прекращения жизнедеятельности дрожжей, что приводит к увеличению энергозатрат и сопровождается разрушением части биологически активных компонентов корма. Вследствие чего такой корм не содержит живых клеток, способных поселяться в желудочно-кишечном тракте животного и улучшать его работу.

В способе [20] в качестве отходов производства по переработке природного сырья также используют молотое зерно и отходы мукомольного производства, которые подвергают термической обработке, после чего проводят совместное выращивание дрожжей рода *Candida* и бактерий, продуцирующих амилалитические ферменты, которые осуществляют ферментативный гидролиз молотого сырья и отходов мукомольного производства.

Недостатком данного способа является использование для получения белкового корма дрожжей рода *Candida*, которые являются условно-патогенными, что требует дополнительного процесса термоллиза и специального оборудования, а также сложной системы очистки стоков и воздушных выбросов. К существенным недостаткам этого способа следует также отнести большой расход воздуха и теплоэнергоресурсов, потребность в высокопроизводительном, сложном и энергоемком оборудовании и значительный расход вспомогательных материалов.

Способ приготовления белково-витаминного корма [29] отличается от предыдущих тем, что зерно и мукомольные отходы подвергают тонкому измельчению, разведению водой и последующему развариванию, охлаждению с обработкой комплексом ферментных препаратов целлюлолитического и амилалитического действия.

Недостатками способа [29] являются: многостадийность подготовки зернового сырья; недостаточное образование простых углеводов для последующего процесса ферментации; неспособность регулирования состава углеводной части корма для получения благоприятного соотношения белков и углеводов.

Названные недостатки устранены в способе получения белково-витаминного корма [37], сущность которого заключается в разработке технологии безотходного производства, предусматривающего получение биомассы микроорганизмов путем их инкубации на питательной среде, содержащей минеральные соли и источник углерода с применением микроорганизмов родов *Lactobacillus* и *Propionibacterium* для ферментации питательной среды.

Ценность микроорганизмов, используемых в изобретении [37], состоит в том, что в процессе культивирования они синтезируют, кроме биомассы, витамины, аминокислоты, комплексы ферментных систем, бактериоцины, обладающие защитными и профилактическими свойствами. В результате получают белковый корм, обогащенный биологически активными компонентами, пребиотиками, а также защитными веществами, обеспечивающими длительное хранение корма в сыром виде.

Недостатком этого способа является большая длительность процесса получения корма.

Известен способ получения кормовой белковой добавки, включающей приготовление питательной среды, содержащей в качестве источника питания отходы мукомольного производства – ржаные, пшеничные отруби и дополнительного источника растительного происхождения – виноградные, плодовоовощные выжимки, обрезки лозы, отходы производства чайных напитков, эфирно-масличного или крахмального производства, засев штаммом дрожжей *Endomycopsis fibuligera* C-4 с последующим проведением твердофазной ферментации и высушиванием готового продукта [1].

Однако известный способ [1] получения кормовой белковой добавки недостаточно производителен, а конечный продукт содержит недостаточное количество белка.

Ряд авторов [19] предлагают свой способ получения кормовой белковой добавки, предусматривающий приготовление питательной среды, охлаждение, засев штаммом дрожжей с последующим проведением ферментации и высушиванием готового продукта, причем перед сушкой полученный продукт подвергают термообработке при 95...98 °С в течение 1...3 ч. В качестве штамма дрожжей используют дрожжи рода *Candida*.

Способ получения кормов для животных из зеленых растений состоит в следующем. Получают сок зеленых растений, выделяют растительный белок, к жидкой фракции добавляют предварительно обработанные целлюлозосодержащие материалы во влажном или высушенном виде, т.е. солому, древесную кору, хвою, опилки, и проводят аэробное культивирование целлюлолитических микроорганизмов рода *Tridroderma* или *Aspergillus*, вводят культуру дрожжей, например, *Trichosporoncutaneum*, ассимилирующих продукты разложения целлюлозы [4].

Недостаток способа [4] состоит в том, что используется зеленое растение с малым содержанием сахара, вследствие чего требуется дополнительно вводить источник углеводов и микроорганизмы, расщепляющие целлюлозу до простых сахаров, что значительно усложняет способ.

Цугкиев Б. Г. предлагает пастеризовать корм при 75...90 °С и тем самым исключить дополнительное введение измельченных целлюлозосодержащих материалов, либо использовать зеленое растение с большим содержанием сахара [21].

Широко распространены способы получения кормов из отходов спиртового производства.

С целью повышения содержания в корме легкоусвояемых углеводов, упрощения технологического процесса, снижения себестоимости продукта и содержания воды в продукте Ижболдина С. Н., Куртергин Г. А., Руденок В. А., Груздев Ю. И. предлагают способ получения корма для жвачных животных [32], включающий нейтрализацию барды до pH 6,5...7,0, отличающийся тем, что для нейтрализации используют сухую композицию, состоящую из барды, окиси кальция и глюкозы.

ООО «ФМТ» и ООО «СПС-Наладка» разработан способ переработки барды. Однако ряд оппонентов [36] отмечают недостатки данного способа (необходимость использования дорогостоящих ферментных препаратов для осуществления гидролиза целлюлозосодержащих компонентов барды; сложность аппаратурно-технологической схемы; в качестве питательной среды используется только фугат барды, что снижает производительность технологических линий, реализующих данный способ) и предлагают свою технологию приготовления корма из барды.

В качестве питательной среды используют нативную барду, а ассимиляцию компонентов барды и деструкцию целлюлозосодержащих компонентов осуществляют одновременно путем аэробного культивирования бактерий *Cellulomonas effuse*.

Технология приготовления корма состоит из нескольких этапов. Горячая барда поступает из бардоприемника на теплообменник для охлаждения. Охлажденная нативная барда поступает в ферментер, куда одновременно подают необходимые для роста микроорганизмов питательные соли, воздух для аэрации и перемешивания.

После доведения pH и температуры культуральной среды до оптимального для микроорганизмов уровня добавляют инокулят и проводят аэробное культивирование в течение времени, необходимого для достижения концентрации клеток бактерий. После этого начинают процесс культивирования бактерий в режиме отъема-долива [36].

В процессе культивирования микроорганизмы утилизируют как растворенные, так и целлюлозосодержащие компоненты барды. Далее полученную биомассу сгущают и сушат.

Способ [36] имеет ряд преимуществ перед аналогичными:

1. При использовании этого способа нет необходимости в дорогостоящих ферментах, так как их получают в процессе культивирования самих микроорганизмов.
2. Повышенное содержание белка в кормопродукте.
3. Отсутствие аппаратов ферментативного гидролиза и декантерных центрифуг.

Известны также способы получения кормовых продуктов из отдельных видов отходов, таких как: пивной дробины [8, с. 102; 12, с. 95; 14, с. 18; 15, с. 20; 31]; пивных дрожжей и лагерных осадков [7, с. 25; 9, с. 56]; солодовых ростков [6, с. 76; 11, с. 14; 16, с. 859]; белкового отстоя [10; с. 21].

Недостатками переработки отдельных видов отходов является многооперационность, сложность создания безотходного производства.

Известен способ комплексной переработки отходов пивоварения: пивной дробины, солодовых ростков, сплава, зерновых отходов, отработанных пивных дрожжей с использованием термической обработки в вакуумном котле в течение часа при температуре 100 °С с последующей сушкой в этом же котле до содержания влаги 8...10 %. Однако данная технология длительна и может привести к денатурации белка.

Если дробину предварительно смешать с белковым отстоем, подвергнуть обезвоживанию до влажности не ниже 65 % с последующим смешением со сплавом и сушкой при температуре не выше 70 °С до влажности 10...13 %; высушенные дробину и сплав подвергнуть помолу, размолоть также солодовые ростки и зерновые отходы; размолотые твердые отходы смешать с жидкими отходами до получения тестообразной массы влажностью до 55 %, то данные недостатки устраняются [38].

Линд Р.М. разработал ряд технологий приготовления корма [22] с добавлением концентрата лактатов из молочных сывороток [5, с. 18]. Однако данный процесс получения корма очень длителен и требует множество различных компонентов [22].

Вопросами получения ферментированных кормов также занимаются японские ученые [34]. Они предлагают изобретение, целью которого является обеспечение способа ферментации и культивирования, в котором иммуностимулятор может быть получен недорого и эффективно, используя безопасные материалы.

Способ ферментации растительного материала и культивирования бактерий предусматривает приготовление питательной среды, содержащей растительный материал, ферментацию растительного материала с анаэробной бактерией и одновременное культивирование бактерии на среде с получением экстракта ферментированного растительного материала. При этом экстракцию осуществляют водой или солевым буфером. В качестве растительного материала используют съедобный растительный материал, содержащий углеводы.

Недостатками данного способа можно назвать проведение процесса в анаэробной среде, что требует дополнительного оборудования и процесса подачи воздуха, и то, что бактерия существует в симбиозе только с указанным растительным материалом[34].

Выводы

1. Существует множество способов получения качественного корма с высоким содержанием белка из малоценного сырья. Однако одни требуют наличия сложных машин, растворов, добавок, другие длительны по времени.

2. Наиболее приемлемой, простой и дешевой, на наш взгляд, является технология получения корма с высоким содержанием белка с помощью заквасок. Данный способ прост в осуществлении, не требует от сельхозпроизводителей специального дорогостоящего оборудования и протекает за относительно короткий промежуток времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. 1507787 СССР, А 23 К 1/165. Способ получения кормовой белковой добавки /Микеладзе Г. Г., Багашвили Б. З., Бравова Б. Г., Борисенко Е. Г.; Тбилисский государственный университет Заявл. 10.04.1987. Опубл. 15.09.1989 г.

2. А. с. 1542519 СССР, А23С 21/00. Способ получения концентрата молочной сыворотки/ Храмцов А. Г.; Лодыгин А. Д.; Кунижев С. М.; Евдокимов И. А.; Шуваев В. А., Панова Н. М.; Заяв. 28.12.1987; Опубл. 15.02.1990, Бюл. № 6.

3. А. с. 1813399 СССР, А 21 К 1/16. Способ приготовления корма/П. А. Леснов; Заяв. 16.05.91; Опубл. 07.05.93, Бюл. № 17.

4. А. с. 692599 СССР, А 23 К 1/14. Способ получения белкового корма/ М. Е. Бекер, М. Ф. Калниня, У. Э. Виестур, А. А. Упит, Т. М. Салмане, С. Э. Селга, Я. Я. Лауксевиц, Ю. Ю. Каткевич, И. А. Янсон, Г. А. Криеван; Институт микробиологии имени Августа Кирхенштейна А.Н. Латвийской ССР; Заяв. 09.11.1978; Опубл. 30.10.1979, Бюл. № 39.

5. Заявка на патент РФ № 93-032044/13, МПК А 23 К 1/08. Известен также способ получения концентрата лактатов из молочных сывороток путем их сбраживания и нейтрализации водным раствором аммиака / Р. М. Линд Заявл. 06.07.1993.

6. Денщиков М. Т. Использование отходов пищевой промышленности. М.: Пищевая промышленность, 1959. 151 с.

7. Колпакчи А. П., Алёнова Д. Ж. О развитии пивоваренной отрасли. // Пищевая промышленность. 1989. № 3. С. 25

8. Колпакчи А. П., Голикова Н. В., Андреева О. В. Вторичные материальные ресурсы пивоварения. М.: Агропромиздат, 1986. 159 с.

9. Колпакчи А. П., Мелентьев А. Е., Кошкина И. А. Применение дрожжевого автолизата в производстве пивного сусла. // Известия вузов. Пищевая технология. 1982. № 4. С. 55 – 57.

10. Колпакчи А. П. Стахее И. В. Белковый отстой – средство для повышения питательной ценности пищевых продуктов. // Ферментная и спиртовая промышленность. 1976. № 8. С.20–22.

11. Колпакчи А. П. Фертман Г. И., Исакова Э. И. Использование отходов солодовенного производства. М.: ЦНИИТЭИ пищепром, 1967. 28 с.

12. Колунянц К. А. Химия солода и пива. М.: Агропромиздат, 1990.175 с.

13. Комбикормовая промышленность. 1995. № 6, с. 21

14. Коротаев В. М., Балашов В. Е., Александрова И. Ф. Исследование процесса гранулирования солодовой дробины скатыванием. ЦНИИТЭИ пищепром.1980. Вып. 4. с.18–20.

15. Коротаев В. М., Балашов В. Е., Чернов М. Е. Сушка гранулированной пивной дробины на вибросушилках. ЦНИИТЭИ пищепром, 1980. Вып. 5. С.20–22.

16. Олейникова Т. А. Использование солодовой вытяжки и ростков в качестве источника азота при непрерывном культивировании дрожжей *Candida utilis*. // Прикладная биохимия и микробиология. 1975. Т.11. Вып.6. С. 857–861.

17. Патент 1559466 РФ, МПК А 23 J 1/04. Способ получения гидролизатов / А. Г. Мугиленов, А. В. Тимофеева, Ю. А. Бойков, С. П. Резвая, Б. А. Антипов, А. О. Серажутдинов; Заявл. 10.02.88. Оpubл. 27.10.96. Бюл. № 30.

18. Патент 1831292 РФ, МПК А 23 К 1/08. Способ получения концентрата лактатов для кормления сельскохозяйственных животных / Р. М. Линд; Заявл. 17.04.1991.Оpubл. 30.07.1993.

19. Патент 2054881 РФ, МПКА23К1/165. Способ получения кормовой белковой добавки / Коваленко Ю.Ф.; Зеленков Г. П.; Вагичев А. И.; Соболев Н. Н.; Грахов В. А.; Миловидов Ю. В.; Акционерное общество открытого типа «Кстовский опытно-промышленный завод белково-витаминных концентратов»; Заявл. 29.06.1995.Оpubл. 27.02.1996.

20. Патент 2055881 РФ, МПК А23К 1/165. Способ получения белково-витаминного продукта / Игнатова В.Н.; Открытое акционерное общество «Туласпирт»; Заявл. 22.09.2000. Оpubл. 20.06.2002 г.

21. Патент 2066959 РФ, МПКА23К1/00. Способ получения белкового корма из зеленой массы растений / Цугкиев Б. Г.; Горский аграрный университет. Заявл. 15.08.1993. Оpubл. 27.09.1996 г.

22. Патент 2084175 РФ, МПКА23К1/08. Способ приготовления корма и способ кормления животных / Линд Р. М.; Заявл. 27.01.1995. Оpubл. 20.07.1997.

23. Патент 2086144 РФ, МПК А23К 1/06. Композиционный корм для сельскохозяйственных животных и способ его приготовления/ Чекрыгин А. А., Евтушенко О. Я., Ниниченко А. П.; Арендное предприятие «Криворожский пивоваренный завод»; Заявл. 14.05.1992; Оpubл. 10.08.1997 г.

24. Патент 2088104 РФ, МПК А23J 3/34. Способ получения белковых гидролизатов из белоксодержащего сырья/ Козловская Э. П.; Артюков А. А.; Альшевская Е. К.; Козловский А. С.; Балаганский А. П.; Корниенко В. Г.; Заявл. 30.04.1996; Оpubл. 27.08.1997.

25. Патент 2098977 РФ, МПК А23С 21/10. Способ производства сухой молочной сыворотки. Храмцов А. Г./ Лодыгин А. Д.; Рябцева С. А.; Евдокимов И. А.; Журба Л. Н. / Ставропольский государственный технический университет; Заявл. 18.01.1996; Оpubл. 20.12.1997.

26. Патент 2122330 РФ, МПКА23К1/12. Способ использования закваски в кормосмеси, закваска Леснова для приготовления кормов / Леснов П. А; Заявл. 10.02.1997; Оpubл. 27.11.1998.

27. Патент 2183666 РФ, МПК С12F 3/10, С12Р 7/06, А23К 1/06. Способ получения белково-витаминного продукта / Сенченко И. Н.; Гостев Е. Ф.; Макушин Б. И.; Воробьев А. С.; Игнатова В. Н.; Открытое акционерное общество «Туласпирт»; Заявл. 22.09.200. Оpubл. 20.06.2002 г.

28. Патент 2215425 РФ, А23J 1/04. Способ получения ферментативных белковых гидролизатов из морских гидробионтов для микробиологических и/или кормовых целей / Новиков В. Ю., Мухин В. А., Макин А. А; Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича; Заявл. 04.06.2001; Оpubл. 27.05.2003.

29. Патент 2243678 РФ, МПК С1 А23К 1/06, С12N 1/16, С12Р 21/00. Способ получения белково-витаминного корма / Галкина Г. В., Илларионова В. И., Куксова Е. В., Горбатова Е. В., Волкова Г. С.; Общество с ограниченной ответственностью «Биотех-Инжиниринг»; Заявл. 02.07.2003. Оpubл. 10.01.2005, бюл. № 1.

30. Патент 2312516, А23К 1/00, А23К 1/10. Кормовое средство для кур-несушек / Рахимов А. А., Андросова Л. Ф., Ткаченко О. В.; Заявл. 16.05.2005; Оpubл. 20.12.2007.

31. Патент 2333387 ФРГ. / Barclay Ron. Upgrading spent grains / Brewers Guardian. Оpubл. 1982. Бюл. №7.

32. Патент 2341101 РФ, МПКА23К1/00, А23К1/06.Способ получения корма для жвачных животных/ Ижболдина С. Н., Кутергин Г. А., Руденок В. А., Груздев Ю. И. Заявл. 04.05.2007.Оpubл. 20.12.2008.

33. Патент2352138 РФ, МПКА23К1/00, А23К1/06.Способ производства комбинированного кормового концентрата / Храмов А. Г., Абилов Б. Т., Лодыгин Д. Н., Лодыгин А. Д., Крючков П. Г.; Государственное научное учреждение Ставропольский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства Российской академии сельскохозяйственных наук;Заяв. 23.07.2007; Оpubл. 20.04.2009.

34. Патент 2370532 РФ, МПКС12N1/20, А23L1/105, А61К35/7.Способ ферментации растительного материала и культивирования бактерий, экстракт ферментированного растительного материала, порошок экстракта ферментированного растительного материала и их применение / СОМА Ген-Итиро, КОХТИ Тие, ИнагаваХироюки, НисизаваТакаси, Такахаси Юкинори; Заявл. 10.11.2007.Оpubл. 20.10.2009.

35. Патент 2372790 РФ, МПК А23К1/00. Способ получения корма на основе белкового гидролизата / Калдин Р. Ю., Голубев А. И.; Заявл. 08.05.2008; Оpubл. 20.11.2009.

36. Патент 2384203 РФ, МПКА23N1/20, А23К1/06.Способ переработки барды в кормопродукт/ Тулякова Т. В., Сергеева А. В., Пасхин А. В., Мордвинова Е. М. Заявл. 24.03.2008.Оpubл. 27.09.2009.

37. Патент 2391859 РФ, МПКА23К1/14, А23К1/16.Способ получения белково-витаминного корма / Честнов С. Н.; Заявл. 21.12.2007.Оpubл. 27.06.2009.

38. Патент 2396006 РФ, МПКА23К1/06. Способ производства белково-витаминного кормового продукта из отходов пивоварения/ Виноградова А. В., Корепанов С. Б., Токписев С. В.; Горшков В. А. Заявл; 20.09.2007.Оpubл. 10.08.2010.

39. Получение сбалансированного белково-углеводного кормопродукта(БУК), (дата обращения 11.08.2013),
URL: <http://sergey-osetrov.narod.ru/Projects/DDGS/buk.htm>

ANALYSIS OF TECHNOLOGIES FOR RECEIVING FEED WITH HIGH PROTEIN CONTENT OF INFERIOR RAW MATERIAL RESOURCES AND WASTE PRODUCTS

Keywords: *bacteria, ferment, food, way, technology, fermentation.*

Annotation. *Article contains analysis of existing technologies for producing fodder with a high protein content of inferior raw materials and waste. It also Determines their advantages and disadvantages, defines the most optimal one for the introduction in agricultural organizations*

БУЛАТОВ СЕРГЕЙ ЮРЬЕВИЧ – кандидат технических наук, доцент кафедры механики и сельскохозяйственных машин, Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (bulatov_sergey_urevich@mail.ru).

BULATOV SERGEI YUR'EVICH – candidate of technical sciences, the senior lecturer of chair of mechanics and agricultural cars, the Nizhny Novgorod state engineering-economic institute, Russia, Knyaginino, (bulatov_sergey_urevich@mail.ru).

СВИСТУНОВ АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ – аспирант, Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (kng_almas@mail.ru).

SVISTUNOV ALEXANDER IVANOVICH – aspirant, Nizhny Novgorod State Engineering and Economic Institute, Russia, Knyaginino, (kng_almas@mail.ru).

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ КОРНЕПЛОДОВ

Ключевые слова: график, измельчитель, корнеклубнеплоды, критерии оптимизации, факторы, эксперимент.

Аннотация. Проведен анализ факторов, влияющих на рабочий процесс измельчителя корнеклубнеплодов. Представлены методика проведения эксперимента и его результаты.

Обоснование актуальности. Известно, что преимуществами корнеклубнеплодов перед другими кормами являются: высокая удельная объемная энергия; высокая урожайность; хорошая усваиваемость.

Животными переваривается до 80...90 % находящихся в корнеплодах питательных веществ [2, с. 158]. При смешивании кормовых корнеклубнеплодов повышается поедаемость животными других видов кормов [2, с. 148]. Однако чтобы питательные вещества более полно усваивались животными, необходимо провести правильную подготовку их к скармливанию, одной из операций в которой является измельчение.

Процесс измельчения корнеклубнеплодов требует достаточно больших затрат энергии и до конца не исследован, несмотря на большое количество работ, посвященных данной тематике. Особое значение подготовки корнеклубнеплодов связано с формированием малых фермерских предприятий и личных подсобных хозяйств, где требуются машины с невысокой производительностью, низким энергопотреблением и малыми габаритами.

Поэтому задача по созданию новых и совершенствованию существующих измельчителей корнеклубнеплодов, обеспечивающих необходимое качество измельчения, является актуальной и имеет большое значение для экономики.

Цель исследований. Целью исследования является определение наиболее эффективной конструкции режущего диска измельчителя и анализ факторов, влияющих на процесс измельчения.

Методика проведения исследований, приборы. Для изучения процесса измельчения нами был разработан опытный образец измельчителя корнеплодов [1, с. 40].

На первом этапе экспериментальных исследований изучался вопрос о работоспособности измельчителя корнеклубнеплодов при использовании различных вариантов режущего диска и определении наиболее перспективной конструктивно-технологической схемы.

При проведении экспериментальных исследований регистрировали следующие параметры: частоту вращения режущего диска n ; полезную мощность на привод P ; размер измельченных частиц l ; пропускную способность Q .

Испытывались следующие варианты режущих дисков (рис. 1): с двумя горизонтальными ножами (режущий диск № 1, угол резания составлял 110°), с одним горизонтальным ножом (режущий диск № 2, угол резания 70°). Угол резания вертикальных ножей на обоих дисках составлял 45° . Расстояние между вертикальными ножами выбирали, исходя из зоотехнических требований, и оно составляло 20 мм.

Испытания проводили на картофеле, диаметр клубней которого составлял 43...45 мм. Частоту вращения режущего диска задавали равной 1150 мин^{-1} , 1128 мин^{-1} , 880 мин^{-1} , 711 мин^{-1} , что соответствовало линейной скорости 12, 11,8, 9 и 7,5 м/с соответственно.

Эксперимент проводили в следующей последовательности. Устанавливали необходимые конструктивные и технологические параметры, включали электродвигатель, засыпали в бункер заранее взвешенную навеску массой 10 кг, засекали время, за которое произойдет измельчение клубней, и подсчитывали пропускную способность измельчителя по известной формуле:

$$Q = \frac{3,6 \cdot G}{t}, \quad (1)$$

где G – масса навески, кг; t – время опыта, с.

С целью определения энергоемкости процесса измельчения во время проведения опытов с помощью прибора MastechMS2203 фиксировали по приборам следующие показатели: мощность холостого хода, мощность на привод режущего диска при установившемся режиме работы.

Эффективную и полезную мощности определяли по следующим выражениям:

$$W_{эф} = W_{эл} \cdot \eta_{рх} \cdot \eta_p \cdot \eta_{рем}, \quad (2)$$

$$W_{пол} = (W_{эл} \cdot \eta_{рх} - W_{ххэл} \cdot \eta_{хх}) \cdot \eta_p \cdot \eta_{рем}, \quad (3)$$

где $W_{эл}$ – мощность на привод режущего диска при установившемся режиме работы, замеренная по приборам, кВт; $W_{ххэл}$ – мощность холостого хода двигателя, замеренная по приборам, кВт; $W_{эф}$ – эффективная мощность на валу измельчителя, кВт; $W_{пол}$ – полезная мощность на валу измельчителя, кВт; $\eta_{рх}$ – КПД электродвигателя при рабочем режиме; η_p – КПД редуктора ($\eta_p = 0,97$); $\eta_{рем}$ – КПД ременной передачи ($\eta_{рем} = 0,95$); $\eta_{хх}$ – КПД электродвигателя при холостом ходе.

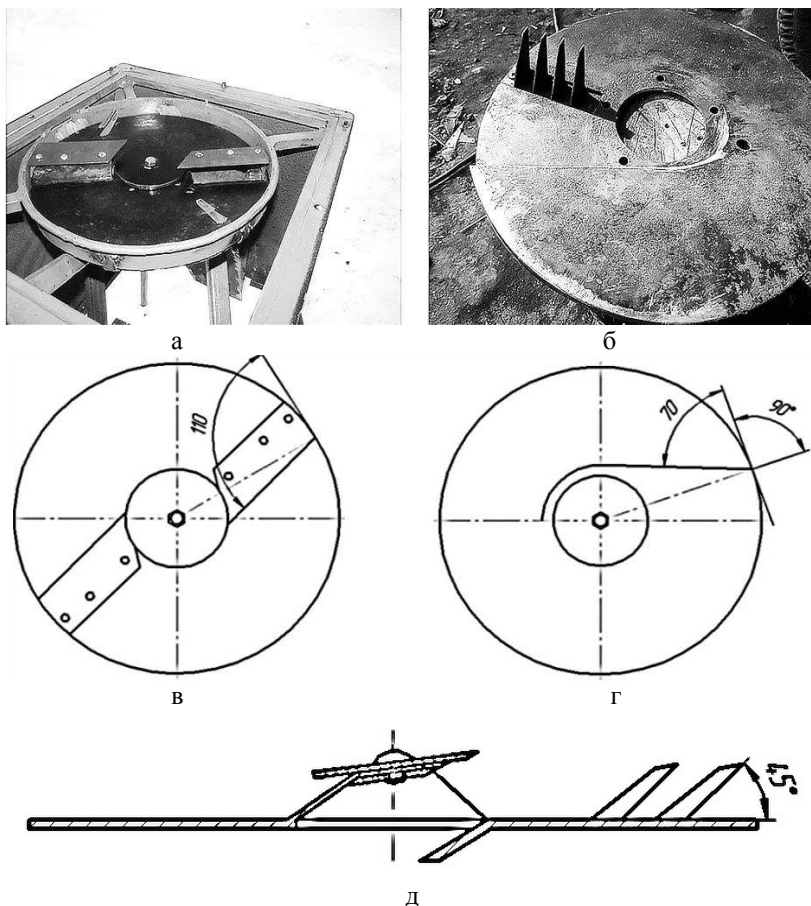


Рисунок 1 – Режущие диски: а, в – с двумя ножами (угол резания 110°); б, г – с одним ножом (угол резания 70°); д – разрез диска вдоль оси

Энергоемкость процесса измельчения или удельные энергозатраты, отнесенные к единице массы готового продукта, определяли по формуле:

$$\mathcal{E}_{эл} = \frac{W_{эл}}{Q}, \quad (4)$$

где Q – пропускная способность измельчителя, т/ч; $\mathcal{E}_{эл}$ – удельные энергозатраты, отнесенные к единице массы готового продукта, кВт·ч/т.

Удельные затраты эффективной и полезной мощности, отнесенные к единице массы готового продукта, определялись по формулам:

$$\mathcal{E}_{эф} = \frac{W_{эф}}{Q}, \quad (5)$$

$$\mathcal{E}_{пол} = \frac{W_{пол}}{Q}, \quad (6)$$

где $\mathcal{E}_{эф}$ – удельные затраты эффективной мощности, кВт·ч/т;
 $\mathcal{E}_{пол}$ – удельные затраты полезной мощности, кВт·ч/т.

Удельные затраты, отнесенные к степени измельчения, находили по выражениям:

$$\mathcal{e}_{эл} = \frac{\mathcal{E}_{эл}}{\lambda}, \quad (7)$$

$$\mathcal{e}_{эф} = \frac{\mathcal{E}_{эф}}{\lambda}, \quad (8)$$

$$\mathcal{e}_{пол} = \frac{\mathcal{E}_{пол}}{\lambda}, \quad (9)$$

После окончания опыта из готового продукта отбирали навеску, разделяли ее на фракции, каждую из которых взвешивали на весах ВК-300.01 с точностью до 0,01 г, и подсчитывали их процентное соотношение по массе. Фракции имели следующие размерности (мм): до 15; от 15,1 до 20; от 20,1 до 30; свыше 30.

Разделение на фракции производили с помощью ручного классификатора. Затем определяли средний размер частиц согласно общепринятой методике:

$$l_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i l_{cp_i}}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (10)$$

где l_{cp} – средний размер частиц, мм; l_{cpi} – размер частиц фракции, мм; m_i – масса частиц фракции, г.

Так как привод рабочего органа можно осуществить различными способами, то с целью сравнения конструкции рабочих органов различных измельчителей основным критерием оптимизации нами принят показатель, характеризующий полезные затраты мощности, отнесенные к единице массы готового продукта с учетом степени измельчения и определяемые по выражению (9).

Однако только удельные энергозатраты, отражающие эффективность процесса измельчения, не могут выступать в качестве критериев работы машины. Кроме того готовый корм должен соответствовать зоотехническим требованиям, согласно которым толщина ломтиков должна быть 5...12 мм, ширина 10...50 мм. Поэтому нами предложен показатель, оценивающий процентное содержание частиц размером 5...15 мм в общей массе готового продукта. Расчет его производится по следующему выражению:

$$\Theta = \frac{m_{5...15}}{\sum m_i} \cdot 100, \quad (11)$$

где Θ – процентное содержание частиц размером 5...15 мм, %;
 $m_{5...15}$ – масса частиц размером 5...15 мм, г; $\sum m_i$ – масса частиц всех фракций (масса навески), г.

Вторым критерием оптимизации приняли процентное содержание фракции размером 5...15 мм.

Немаловажное значение имеет пропускная способность измельчителя. Она учитывается при проектировании технологической линии приготовления кормов, а также необходима для определения показателей дозирования. На основании этого третьим критерием оптимизации приняли пропускную способность измельчителя корнеклубнеплодов.

Результаты эксперимента. В таблицах 1...5 приведены результаты эксперимента. Анализируя данные (табл. 1), можно отметить стабильную работу агрегата при использовании режущего диска № 1: происходит равномерное возрастание пропускной способности с 0,5 до 0,7 т/ч при увеличении частоты вращения диска с 711 мин⁻¹ до 1150 мин⁻¹.

Резкий скачок пропускной способности измельчителя с 0,3 до 0,55 т/ч с режущим диском № 2 (табл. 2) при незначительном возрастании его частоты вращения с 1128 до 1150 мин⁻¹ говорит о том, что агрегат вошел в номинальный режим работы.

В ходе испытаний была отмечена нестабильная работа измельчителя с режущим диском № 2 при его частоте вращения ниже

1000 мин⁻¹, а при частоте вращения ниже 800 мин⁻¹ происходило заби-
вание камеры измельчения и остановка агрегата. Поэтому пропускная
способность машины на низких частотах в несколько раз ниже, чем
при использовании режущего диска № 1 (табл. 2), который показывал
стабильную работу в данных диапазонах частоты вращения.

Таблица 1 – Энергетические показатели работы измельчителя
корнеклубнеплодов (режущий диск № 1 с 2 ножами)

Частота вращения режущего диска, мин ⁻¹	1150	1128	880	711
Скорость резания, м/с	12	11,8	9	7,5
Потребляемая мощность $W_{эф}$, кВт	0,14	0,13	0,11	0,07
Мощность холостого хода $W_{ххэп}$, кВт	0,1	0,08	0,05	0,04
Полезная мощность $W_{пол}$, кВт	0,04	0,05	0,06	0,03
Пропускная способность измельчителя, кг/ч	0,72	0,684	0,648	0,484
Удельные энергозатраты $\mathcal{E}_{эф}$, кВт·ч/т	0,194	0,190	0,170	0,145
Удельные затраты полезной мощности $\mathcal{E}_{пол}$, кВт·ч/т	0,056	0,073	0,093	0,06
Удельные энергозатраты с учетом степени измельчения $\mathcal{E}_{эф}$, кВт·ч/(т·ед.ст.изм)	0,08	0,098	0,113	0,097
Удельные затраты полезной мощности с учетом степени измельчения $\mathcal{E}_{пол}$, кВт·ч/(т·ед.ст.изм)	0,023	0,038	0,062	0,042

Таблица 2 – Энергетические показатели работы измельчителя
корнеклубнеплодов (режущий диск № 2 с 1 ножом)

Частота вращения режущего диска, мин ⁻¹	1150	1128	880
Скорость резания, м/с	12	11,8	9
Потребляемая мощность $W_{эф}$, кВт	0,15	0,10	0,09
Мощность холостого хода $W_{ххэп}$, кВт	0,1	0,07	0,05
Полезная мощность $W_{пол}$, кВт	0,05	0,03	0,04
Пропускная способность измельчителя, т/ч	0,54	0,327	0,154
Удельные энергозатраты $\mathcal{E}_{эф}$, кВт·ч/т	0,28	0,31	0,58
Удельные затраты полезной мощности $\mathcal{E}_{пол}$, кВт·ч/т	0,093	0,061	0,260
Удельные энергозатраты с учетом степени измельчения $\mathcal{E}_{эф}$, кВт·ч/(т·ед.ст.изм)	0,111	0,123	0,229
Удельные затраты полезной мощности с учетом степени измельчения $\mathcal{E}_{пол}$, кВт·ч/(т·ед.ст.изм)	0,043	0,047	0,165

Удельные энергозатраты с учетом степени измельчения $\varepsilon_{пол}$ напрямую зависят от пропускной способности измельчителя и степени измельчения материала. С увеличением частоты вращения происходит возрастание данных параметров, и это ведет к снижению энергозатрат. При использовании режущего диска № 1 энергозатраты в 1,5...3 раза ниже, чем при использовании режущего диска № 2, что свидетельствует о преимуществе данной конструкции.

Таблица 3 – Зоотехнические показатели работы измельчителя корнеклубнеплодов (режущий диск № 1 с 2 ножами)

Показатель	Значение			
Частота вращения режущего диска	1150	1128	880	711
Культура	картофель			
Процентное содержание измельченных частиц по фракциям, %:				
до 15 мм	54	40	16	8
15...20 мм	18	6	16	20
20...30 мм	20	32	26	40
30...40 мм	8	20	42	32
Средневзвешенный размер частиц, мм	18,2	22,8	29,4	29,6
Степень измельчения	2,41	1,93	1,5	1,48

Таблица 4 – Зоотехнические показатели работы измельчителя корнеклубнеплодов (режущий диск № 2 с 1 ножом)

Показатель	Значение		
Частота вращения режущего диска	1150	1128	880
Культура	картофель		
Процентное содержание измельченных частиц по фракциям, %:			
До 15 мм	50	32,1	30
15...20 мм	11,1	17,9	0
20...30 мм	22,2	44,6	30
30...40 мм	16,7	5,4	40
Средневзвешенный размер частиц, мм	20,56	22,33	28
Степень измельчения	2,14	1,97	1,57

Анализ таблиц 3 и 4 показывает, что максимальное содержание фракции до 15 мм получается при измельчении на максимальной частоте. При ее снижении наблюдается резкое снижение содержания

данной фракции в продукте и увеличение средневзвешенного размера. При этом наиболее выровненный состав получается при измельчении режущим диском с двумя горизонтальными режущими ножами.

Выводы

Анализ проведенных исследований позволил определить наиболее предпочтительную конструкцию режущего диска с количеством горизонтальных ножей не менее двух. Такая конструкция обеспечивает наиболее стабильную работу измельчителя при низких частотах, большую пропускную способность, меньшие энергозатраты, а также более выровненный гранулометрический состав готового продукта. Поэтому дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию конструктивных факторов режущего диска № 1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савиных П. А., Булатов С. Ю., Смирнов Р. А. Измельчитель корнеклубнеплодов // Сельский механизатор. Москва: ОАО «Кострома», 2013. Вып. 8. С. 40–41.
2. Сысуев В. А., Алешкин А. В., Савиных П. А. Кормоприготовительные машины. Теория, разработка, эксперимент. В 2-х томах. Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока. 2008. Т. 1. 640 с.

ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE WORKING PROCESS OF POUNDING ROOTS

Keywords: *graphic, chopper, Root crops, optimization criteria, factors, experiment.*

Annotation. *Article analyses The factors affecting the work of pounding root crops. It presents, methodology of the experiment and its results.*

БУЛАТОВ СЕРГЕЙ ЮРЬЕВИЧ – кандидат технических наук, доцент кафедры механики и сельскохозяйственных машин, Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (bulatov_sergey_urevich@mail.ru).

BULATOV SERGEI YUR'EVICH – candidate of technical sciences, the senior lecturer of chair of mechanics and agricultural cars, the Nizhny Novgorod state engineering-economic institute, Russia, Knyaginino, (bulatov_sergey_urevich@mail.ru).

СМИРНОВ РОМАН АЛЕКСАНДРОВИЧ – аспирант, Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (triamur@mail.ru).

SMIRNOV ROMAN ALEKSANDROVICH – aspirant, Nizhny Novgorod State Engineering and Economic Institute, Russia, Knyaginino, (triamur@mail.ru).

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КАЛИЯ В ПОЧВЕ

Ключевые слова: калий, потенциал, почва, эксперимент, электрическое поле.

Аннотация. В статье приводится методика планирования и проведения полнофакторного эксперимента по определению количества калия в почве с учетом потенциалов электрического поля электродной системы. Показано, что наиболее значимым фактором является концентрация калия, результаты опытов являются достоверными и повторяемыми.

Поскольку в начале исследования вид аппроксимирующей функции неизвестен, то рекомендуется применять планы первого порядка. В планах первого порядка значения переменных варьируются, изменяются на двух уровнях, то есть каждая переменная может принимать только два значения. Верхний уровень обозначается +1, а нижний –1. Такая процедура представления переменных известна, как кодирование факторов. Всевозможные взаимодействия уровней факторов, при которых реализуются исследования, являются планом полнофакторного эксперимента (ПФЭ). [1, с. 10; 2, с.162; 3, с. 254; 4, с. 38].

Построение планов ПФЭ, как и всех других, начинается с выбора основного уровня и интервалов варьирования (интервалов изменения переменных). Основной уровень – это точка в факторном пространстве, окружение которой подлежит экспериментальному исследованию.

На величину разности потенциалов $\Delta U_{\text{вим}}$ между измерительным электродом, который находится в геометрическом центре электродной системы, и соединенными параллельно электродами, которые создают постоянное электрическое потенциальное поле и находятся под знаком «-», оказывают влияние следующие факторы:

- величина напряжения U , подводимого к системе электродов, создающих электрическое поле внутри почвенного образца;

- концентрация вносимого калийного удобрения в почвенном образце C ;
- относительная влажность почвы W , оказывающая существенное влияние на удельное сопротивление почвенного образца;
- расстояние между электродами b .

Другие параметры остаются неизменными. Во-первых, необходимо задаться основным уровнем по каждой независимой переменной: по величине напряжения U , по концентрации внесенного калийного удобрения C , при относительной влажности грунта W и по расстоянию между электродами b . Значение основного уровня обозначим как «0». После этого необходимо задаться интервалами варьирования ΔU , $\Delta \theta$, ΔW , Δb соответственно. Тогда верхний уровень факторов будет равняться: для величины напряжения $U_0 + \Delta U$; для концентрации удобрения $C_0 + \Delta C$; для относительной влажности почвы $W_0 + \Delta W$; для расстояния между электродами $b_0 + \Delta b$. Нижний уровень этих факторов (–)соответственно будет определяться как $U_0 - \Delta U$, $\theta_0 - \Delta \theta$, $W_0 - W$ и $b_0 - \Delta b$. Также введем числовые значения для всех описанных выше величин и представим эту информацию в таблице 1.

Таблица 1 – Значения факторов эксперимента и интервал варьирования

Фактор	Числовое значение фактора и интервал варьирования			
	-1	0	+1	Δ
x_1 – величина напряжения, В	20	25	30	$\Delta U = 5$
x_2 – концентрация калийного удобрения, о.е.	0,5	1	1,5	$\Delta C = 0,5$
x_3 – относительная влажность почвы, %	14	20	26	$\Delta W = 6$
x_4 – расстояние между электродами, см	10	12	14	$\Delta b = 2$

Все возможные взаимодействия уровней факторов в кодированных и натуральных величинах представлены в таблице 2. Каждая строка таблицы 2 определяет условия проведения опытов. Так, например, первый опыт проведем при поданном напряжении 20 В, концентрации калийного удобрения 0,5 о.е., при относительной влажности почвы 14%, при расстоянии между электродами 10 см. Следующий опыт – при поданном напряжении 30 В, при концентрации калийного удобрения 0,5 о.е., при относительной влажности почвы 14%, при расстоянии между электродами 10 см. Для двух факторов для $k = 4$ коли-

чество опытов в полнофакторном эксперименте будет составлять $2^4 = 16$.

Таблица 2 – Взаимодействия уровней факторов в кодированных и натуральных величинах

Номер опыта	Напряже- ние		Концентрация калийного удобрения		Относи- тельная влажность почвы		Расстояние между электродами	
	U, В	x_1	C, о.е.	x_2	W, %	x_3	b, см	x_4
1	20	-	0,5	-	14	-	10	-
2	30	+	0,5	-	14	-	10	-
3	20	-	1,5	+	14	-	10	-
4	30	+	1,5	+	14	-	10	-
5	20	-	0,5	-	26	+	10	-
6	30	+	0,5	-	26	+	10	-
7	20	-	1,5	+	26	+	10	-
8	30	+	1,5	+	26	+	10	-
9	20	-	0,5	-	14	-	14	+
10	30	+	0,5	-	14	-	14	+
11	20	-	1,5	+	14	-	14	+
12	30	+	1,5	+	14	-	14	+
13	20	-	0,5	-	26	+	14	+
14	30	+	0,5	-	26	+	14	+
15	20	-	1,5	+	26	+	14	+
16	30	+	1,5	+	26	+	14	+

В дальнейшем будем обозначать факторы, взятые в кодированных переменных, через x_1 , x_2 и т.д. Составив таким образом таблицу для данного числа факторов, мы механически нашли все возможные взаимодействия уровней факторов. Если представить значение факторов только в кодированной форме, то получим матрицу планирования, в которой условия проведения опытов обозначены взаимодействием плюсов и минусов по строкам [4, с. 41].

Математическая модель (уравнение регрессии) рассчитана на основе результатов, полученных при реализации плана ПФЭ для $k = 4$,

будет иметь следующий вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4, \quad (1)$$

где b_1, b_2, b_3, b_4 – коэффициенты при линейных членах регрессии;
 $b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{23}, b_{24}, b_{34}$ – коэффициенты, которые характеризуют взаимодействие первого порядка.

Такая модель является моделью неполного второго порядка. Перед расчетами коэффициентов составим расчетную матрицу для $k = 4$, которая представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Расчетная матрица для определения коэффициентов

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_1x_2	x_1x_3	x_1x_4	x_2x_3	x_2x_4	x_3x_4	$x_1x_2x_3x_4$
1	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+
2	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-
3	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	-
4	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+
5	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-
6	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+
7	+	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	+
8	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-
9	+	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-
10	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+
11	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+
12	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-
13	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+
14	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-
15	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Основой расчетной матрицы является матрица планирования. Столбики при x_1, x_2, x_3, x_4 представляют собой матрицу планирования для $k = 4$. Столбики при $x_1x_2, x_1x_3, x_1x_4, x_2x_3, x_2x_4, x_3x_4$ и $x_1x_2x_3x_4$, полученные умножением соответствующих кодированных значений факторов в строках матрицы. Ни одна из строк не повторяется, а количество

верхних и нижних уровней факторов (т.е. плюсов и минусов в строках) всегда одинаково.

Приведенные признаки являются необходимыми условиями ортогональности расчетных матриц, поэтому сам план является ортогональным. Использование ортогональных планов имеет целью упрощение последующих вычислений и получение коэффициентов, которые не зависят друг от друга, т.е. ковариации между коэффициентами в планах ПФЭ равны нулю. Это означает, что замена нулем любого коэффициента в уравнении модели не меняет значений других коэффициентов.

Расчет планов ПФЭ заключается в определении коэффициентов в уравнении регрессии и в определении значимости этих коэффициентов, а также в решении вопроса, адекватно ли полученное эмпирическое уравнение описывает опытные данные. Для этого необходимо воспользоваться матрицей планирования и условиями проведения опытов. При реализации опытов были получены результаты, характеризующие выходной параметр (разницу потенциалов между измерительным электродом и электродами системы, которые создают электрическое поле), которые приведены в таблице 4.

Значение y_1 , y_2 – это экспериментальные данные параллельных опытов (в планах ПФЭ опыты принято дублировать). Значение y является среднеарифметическим параллельных опытов. Дублирование опытов необходимо для определения дисперсии воспроизводимости. В дополнение к матрице таблицы 3 в таблице 4 приведены результаты опыта в центре плана (т.е. в условиях нулевого уровня). Следует отметить, что в большинстве случаев проведение такого опыта является необходимым.

После реализации плана, в первую очередь, необходимо оценить экспериментальные данные на воспроизводимость. Прежде всего, рассчитывается порядковая дисперсия S_n^2 по выражению:

$$S_n^2 = \sum_{l=1}^l (y_{ln} - \bar{y}_n)^2, \quad (2)$$

где l – номер параллельного опыта.

Для первой строки в таблице:

$$S_n^2 = (11,9 - 11,75)^2 - (11,6 - 11,75)^2 = 0,045.$$

Для других строк расчет производится аналогично.

После вычисления порядковых дисперсий определяется сумма квадратов ошибок S_{Σ} .

$$S_{\Sigma} = \sum_{n=1}^n S_n^2 . \quad (3)$$

Дисперсия воспроизводимости (дисперсия ошибок наблюдений) вычисляется отношением суммы квадратов ошибок S_{Σ} на количество степеней свободы f_2 и на количество параллельных опытов γ , т.е.:

$$S^2 = \frac{S_{\Sigma}}{f_2 \cdot \gamma} . \quad (4)$$

Таблица 4 – Таблица расчета планов ПФЭ

Номер опыта	x_1	x_2	x_3	x_4	y_1	y_2	$\bar{y}$	S_n^2
1	-	-	-	-	11,9	11,6	11,75	0,045
2	+	-	-	-	15	14,6	14,8	0,08
3	-	+	-	-	12,5	12,6	12,55	0,005
4	+	+	-	-	12,1	11,6	11,85	0,125
5	-	-	+	-	11,6	12,7	12,15	0,605
6	+	-	+	-	14,6	15,7	15,15	0,605
7	-	+	+	-	12,6	10,4	11,5	2,42
8	+	+	+	-	11	10,1	10,55	0,405
9	-	-	-	+	12,3	12,3	12,3	0
10	+	-	-	+	15,5	15,6	15,55	0,005
11	-	+	-	+	10,5	10,4	10,45	0,005
12	+	+	-	+	9,9	9,5	9,7	0,08
13	-	-	+	+	12,2	11,7	11,95	0,125
14	+	-	+	+	13,5	13,4	13,45	0,005
15	-	+	+	+	11,5	11,5	11,5	0
16	+	+	+	+	13	12,8	12,9	0,02
17	0	0	0	0	12,3	11,9	12,1	-
$S_{\Sigma}=4,53$								

Количество степеней свободы дисперсии воспроизводимости в плане ПФЭ при дублировании опытов в строках плана одинаковое число раз всегда рассчитывается следующим образом:

$$f_2 = N(\gamma - 1), \quad (5)$$

где N – количество строк матрицы, для данного опыта $N=16$.

$$f_2 = 16(2 - 1) = 16 ,$$

$$S^2 = \frac{4,53}{16 \cdot 2} = 0,142 ,$$

Зная порядковые дисперсии и их сумму S_{Σ} , можно дать оценку воспроизводимости опытов. При планировании эксперимента по плану ПФЭ, в котором опыты дублировались одинаковое количество раз, проверка воспроизводимости осуществляется обычно с использованием критерия Кохрена [2, с. 137]:

$$G = \frac{S_{\max}^2}{S_{\Sigma}} \leq G_{\alpha}(\gamma-1, N) , \quad (6)$$

где $G_{\alpha}(\gamma-1, N)$ – табличное значение критерия Кохрена при уровне значимости α (принимается $\alpha=0,05$), для данного случая $G_{0,05} = 0,68$ [2, с. 258], тогда: $G = \frac{2,42}{4,53} = 0,534 < 0,68$.

Поскольку значение критерия Кохрена по опытным данным не превышает его критического значения, полученного из таблиц, можно сделать вывод, что опыты достаточно хорошо воспроизводимы. В противном случае пришлось бы исключить из рассмотрения опыт с максимальной дисперсией. Выяснив, что опыты в точках плана воспроизводятся довольно хорошо, т.е. ряд порядковых дисперсий однородный, рассчитывают коэффициенты уравнения регрессии. Для облегчения процедуры вычислений коэффициентов используется матрица плана ПФЭ (табл. 3). Столбики таблицы заполняются значениями произведений i , где индексом n обозначается номер опыта – таблица 5. Каждая из строк таблицы 5 заполнен одними теми же числами, однако знаки при этих числах разные, они меняются в соответствии с правилом чередования знаков расчетных матриц. После составления расчетной матрицы числа в столбцах суммируются с учетом знаков и заполняют строку для сумм. Для расчета коэффициентов уравнения регрессии в плане ПФЭ достаточно разделить суммы соответствующих столбцов на количество опытов $N = 16$. Тогда значение коэффициента b_0 определяется как частное от деления суммы чисел столбца $\bar{Y}$ на 16, т.е.:

$$b_0 = \frac{\sum_{n=1}^N \bar{y}_n}{N} , b_0 = \frac{198,1}{16} = 12,381 . \quad (7)$$

Таблица 5 – Расчет коэффициентов уравнения регрессии

	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	№ опыта
	+15,55	-12,3	+10,55	-11,5	+15,15	-12,15	+11,85	-12,55	+14,8	-11,75	$x_1\bar{y}$
	-15,55	-12,3	+10,55	+11,5	-15,15	-12,15	+11,85	+12,55	-14,8	-11,75	$x_2\bar{y}$
	-15,55	-12,3	+10,55	+11,5	+15,15	+12,15	-11,85	-12,55	-14,8	-11,75	$x_3\bar{y}$
	+15,55	+12,3	-10,55	-11,5	-15,15	-12,15	-11,85	-12,55	-14,8	-11,75	$x_4\bar{y}$
	-15,55	+12,3	+10,55	-11,5	-15,15	+12,15	+11,85	-12,55	-14,8	+11,75	$x_1x_2\bar{y}$
	-15,55	+12,3	+10,55	-11,5	+15,15	-12,15	-11,85	+12,55	-14,8	+11,75	$x_1x_3\bar{y}$
	+15,55	-12,3	-10,55	+11,5	-15,15	+12,15	-11,85	+12,55	-14,8	+11,75	$x_1x_4\bar{y}$
	+15,55	+12,3	+10,55	+11,5	-15,15	-12,15	-11,85	-12,55	+14,8	+11,75	$x_2x_3\bar{y}$
	-15,55	-12,3	-10,55	-11,5	+15,15	+12,15	-11,85	-12,55	+14,8	+11,75	$x_2x_4\bar{y}$
	-15,55	-12,3	-10,55	-11,5	-15,15	-12,15	+11,85	+12,55	+14,8	+11,75	$x_3x_4\bar{y}$
	15,55	12,3	10,55	11,5	15,15	12,15	11,85	12,55	14,8	11,75	$\bar{y}$

Продолжение таблицы 5

11	-10,45	+10,45	-10,45	+10,45	-10,45	+10,45	-10,45	+10,45	-10,45	+10,45	-10,45	+10,45
12	+9,7	+9,7	-9,7	+9,7	+9,7	-9,7	+9,7	-9,7	+9,7	-9,7	+9,7	9,7
13	-11,5	-11,5	+11,95	+11,95	+11,95	-11,5	-11,5	-11,5	-11,5	+11,95	+11,95	11,95
14	+13,45	-13,45	+13,45	+13,45	-13,45	+13,45	+13,45	-13,45	-13,45	+13,45	+13,45	13,45
15	-11,5	+11,5	+11,5	+11,5	-11,5	-11,5	-11,5	+11,5	+11,5	+11,5	+11,5	11,5
16	+12,9	+12,9	+12,9	+12,9	+12,9	+12,9	+12,9	+12,9	+12,9	+12,9	+12,9	12,9
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–
$\sum_{j=1}^N$	9,8	-16,1	0,2	-2,5	-11,8	0,1	1	3,6	-1,3	3,4	198	
b_{ij}	0,613	-1,006	0,012	-0,156	-0,738	0,006	0,062	0,225	-0,081	0,213	12,381	

Аналогично определяются коэффициенты $b_1, b_2, b_3, b_4, b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{23}, b_{24}, b_{34}$. В общем виде для вычисления их в плане ПФЭ используются следующие расчетные формулы:

$$b_i = \frac{\sum_{n=1}^N x_{in} \bar{y}_n}{N}, b_{ij} = \frac{\sum_{n=1}^N x_{in} x_{jn} \bar{y}_n}{N}. \quad (8)$$

Уравнение регрессии с рассчитанными коэффициентами будут выглядеть таким образом:

$$y = 12,381 + 0,613 \cdot x_1 - 1,006 \cdot x_2 + 0,012 \cdot x_3 - 0,156 \cdot x_4 - 0,738 \cdot x_1 x_2 + 0,006 \cdot x_1 x_3 + 0,062 \cdot x_1 x_4 + 0,225 \cdot x_2 x_3 - 0,081 \cdot x_2 x_4 + 0,213 \cdot x_3 x_4 . \quad (9)$$

По абсолютной величине коэффициентов можно в дальнейшем судить о силе влияния различных факторов на протекание процессов. По полученным уравнениям было установлено, что наибольшее влияние на разность потенциалов осуществляет концентрация калийного удобрения в почвенном образце, причем при увеличении концентрации разность потенциалов будет уменьшаться, поскольку знак при x_2 отрицательный. Вместе с тем значимость воздействия при двойном взаимодействии напряжения и относительной влажности почвы можно поставить под сомнение, поскольку коэффициент при $x_1 x_3$ имеет существенно меньшее значение.

Значимость коэффициентов определяется по величине дисперсий S_i^2 , S_j^2 .

$$S_i^2 = S_j^2 = \frac{S^2}{N} , \quad (10)$$

где S^2 – дисперсия воспроизводимости выходного параметра.

Тогда:

$$S_i^2 = S_j^2 = \frac{0,142}{16} = 0,0089 .$$

В планах ПФЭ дисперсии коэффициентов при линейных членах и тех, что характеризуют взаимодействие различных порядков, равны между собой.

Коэффициенты b_i ; b_{ij} считаются значимыми, если:

$$|b_i; b_{ij}| \geq t_{кр} \sqrt{S_i^2} , \quad (11)$$

где $t_{кр}$ – критическое значение распределения критерия Стьюдента для заданного уровня значимости α и f_2 степеней свободы,

$$t_{кр} = 2,12 [4, \text{с. 115}].$$

Тогда:

$$t_{кр} \sqrt{S_i^2} = 2,12 \sqrt{0,0089} = 0,2 .$$

Все коэффициенты уравнения (9), которые превышают это значение, являются значимыми и они остаются для проверки полученной модели на адекватность. Те коэффициенты, которые меньше, счи-

таются такими, которые могут быть сравнены с ошибкой опыта, поэтому они исключаются из уравнения.

С учетом значимости коэффициентов уравнение регрессии принимает такой вид:

$$y = 12,381 + 0,613 \cdot x_1 - 1,006 \cdot x_2 - 0,738 \cdot x_1 x_2 + 0,225 \cdot x_2 x_3 + 0,213 \cdot x_3 x_4. \quad (12)$$

Проверка уравнения на адекватность осуществляется при помощи критерия Фишера [2, с. 170]:

$$F = \frac{S_{\text{д}} : f_1}{S_{\Sigma} : f_2} = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_{\text{вводмв}}^2}, \quad (13)$$

где $S_{\text{ад}}^2$ – дисперсия адекватности; $S_{\text{вводмв}}^2$ – дисперсия воспроизводимости (опыта).

При вычислениях используется расчетная матрица при условии исключения столбиков для x_3 , x_4 , $x_1 x_3$, $x_1 x_4$, $x_2 x_4$. Столбики x_1 , x_2 и т.д. в расчетной матрице заполняются произведениями кодированных значений факторов и их взаимодействий на соответствующие значения коэффициентов при них – таблица 6.

Таблица 6 – Расчетная матрица проверки математической модели на адекватность

Номер опыта	$b_0 x_0$	$b_1 x_1$	$b_2 x_2$	$b_{12} x_1 x_2$	$b_{23} x_2 x_3$	$b_{34} x_3 x_4$	$\hat{y}_n$	$\bar{y}_n$	$(\hat{y}_n - \bar{y}_n)^2$
1	12,381	-0,613	+1,006	-0,738	+0,225	+0,213	12,474	11,75	0,524
2	12,381	+0,613	+1,006	+0,738	+0,225	+0,213	15,176	14,8	0,141
3	12,381	-0,613	-1,006	+0,738	-0,225	+0,213	11,488	12,55	1,128

Продолжение таблицы 6

13	12	11	10	9	8	7	6	5	4
12,381	12,381	12,381	12,381	12,381	12,381	12,381	12,381	12,381	12,381
-0,613	+0,613	-0,613	+0,613	-0,613	+0,613	-0,613	+0,613	-0,613	+0,613
+1,006	-1,006	-1,006	+1,006	+1,006	-1,006	-1,006	+1,006	+1,006	-1,006
-0,738	-0,738	+0,738	+0,738	-0,738	-0,738	+0,738	+0,738	-0,738	-0,738
-0,225	-0,225	-0,225	+0,225	+0,225	+0,225	+0,225	-0,225	-0,225	-0,225
+0,213	-0,213	-0,213	-0,213	-0,213	-0,213	-0,213	-0,213	-0,213	+0,213
12,024	10,812	11,062	14,75	12,048	11,262	11,512	14,3	11,598	11,238
11,95	9,7	10,45	15,55	12,3	10,55	11,5	15,15	12,15	11,85
0,005	1,237	0,375	0,640	0,064	0,507	0,0001	0,722	0,305	0,375

Продолжение таблицы 6

14	12,381	+0,613	+1,006	+0,738	-0,225	+0,213	14,726	13,45	1,628
15	12,381	-0,613	-1,006	+0,738	+0,225	+0,213	11,938	11,5	0,192
16	12,381	+0,613	-1,006	-0,738	+0,225	+0,213	11,688	12,9	1,469
$S_{\Sigma}=9,3111$									

Количество степеней свободы f_1 , необходимое для расчета дисперсии адекватности, определяется как:

$$f_1 = N - q, \quad (14)$$

где N – количество опытов, q – количество значимых коэффициентов с учетом свободного члена b_0 .

$$f_1 = 16 - 6 = 10.$$

Тогда значение критерия Фишера равно:

$$F = \frac{9,3111:10}{4,53:16} = 3,31.$$

Критическое значение $F_{кр}$ для данного уровня значимости ($\alpha = 0,05$, $f_1=10$, $f_2=16$) равняется 2,49. Расчетное значение критерия Фишера превышает табличное значение для принятого уровня значимости.

Необходимо выполнить проверку на значимость квадратичных эффектов. Для этого используется соотношение:

$$|\bar{y}_0 - b_0| \leq t_{кр} S \sqrt{\frac{n_0 + \lambda N}{n_0 N}}, \quad (14)$$

где $\bar{y}_0$ – среднее арифметическое значение выходного параметра в центре плана, полученное по экспериментальным данным; b_0 – значение свободного члена в уравнении регрессии; $t_{кр}$ – критическое значение

ние распределения Стьюдента, при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и количестве степеней свободы $f_2 = 16$ $t_{кр} = 2,12$; $S = \sqrt{S^2} = \sqrt{4,53} = 2,13$ – среднеквадратическая ошибка наблюдений; n_0 – количество опытов в центре плана; γ – количество параллельных опытов в точках плана; N – количество опытов плана, кроме центральных.

$$|12,1 - 12,381| = 0,281 < 2,12 \cdot 2,13 \sqrt{\frac{2 + 2 \cdot 16}{2 \cdot 16}} = 4,65.$$

Таким образом, разница $|\bar{y}_0 - b_0|$ незначительно отличается от нуля и квадратичные члены в модель можно не включать. Полученное уравнение регрессии можно использовать для описания процесса.

Выводы

1. На величину разности потенциалов $\Delta U_{\text{вим}}$ между измерительным электродом, который находится в геометрическом центре электродной системы, и соединенными параллельно электродами, которые создают постоянное электрическое потенциальное поле и находятся под знаком «-», оказывают влияние следующие факторы: величина напряжения U , подводимого к системе электродов, создающих электрическое поле внутри почвенного образца; концентрация вносимого калийного удобрения в почвенном образце C ; относительная влажность почвы W , оказывающая существенное влияние на удельное сопротивление почвенного образца; расстояние между электродами b .

2. На основании этих данных составлен план полнофакторного эксперимента.

3. Поскольку наибольший коэффициент регрессии (1,006) стоит при факторе, которым закодирована концентрация калийного удобрения, то этот фактор является наиболее значимым.

4. Опыты достаточно хорошо воспроизводимы, поскольку:

$$G = \frac{2,42}{4,53} = 0,534 < 0,68.$$

5. Проверка по критерию Фишера показала, что расчетное значение критерия Фишера (3,31) превышает табличное значение для принятого уровня значимости (2,49), однако эта разница незначительно отличается от нуля и квадратичные члены в модель можно не включать. Полученное уравнение регрессии можно применять для описания процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. ДСТУ 4290:2004 Якість ґрунту. Методи визначення валового фосфору і валового калію в модифікації ННЦ ІГА ім. О. Н Соколовського. К.: Держспоживстандарт України, 2005. III, 10 с.

2. Лавров В.В. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента/В.В. Лавров, Н.А. Спирин. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУУПИ, 2004. 257 с.

3. Лапач С. Н. Статистика в науке и биологии /С.Н. Лапач, А. В. Чубенко, П.Н. Бабич П. Н. /К.: МОРИОН, 2002. 640 с.

4. Мухачев В.А. Планирование и обработка результатов эксперимента. Учебное пособие/В.А. Лапач. Томск: Томский государственный университет управления и радиоэлектроники, 2007. 118 с.

PLANNING EXPERIMENT TO DETERMINE SOIL POTASSIUM

Keywords: *experiment, potassium, electric field, potential, soil*

Abstract. *The article provides a method of planning and carrying out full factorial experiment to determine the amount of a potassium in the soil given the potential of the electric field electrode system. It is shown that the most important factor is the concentration of potassium; the results of the experiments are of reliable and repeatable.*

ВУЖИЦКИЙ АНАТОЛИЙ ВИКТОРОВИЧ – инженер-энергетик, ассистент кафедры электроснабжения сельского хозяйства, Таврический государственный агротехнологический университет, Украина, Мелитополь, (vuzhitsku@gmail.com).

VUZHITSKY ANATOLIY VIKTOROVICH – electrical engineer, assistant, Tavria State Agrotechnical University, Ukraine, Melitopol, (vuzhitsku@gmail.com).

КОВАЛЬ ДМИТРИЙ НИКОЛАЕВИЧ – инженер-энергетик, ассистент кафедры электроснабжения сельского хозяйства, Таврический государственный агротехнологический университет, Украина, Мелитополь, (kvldmitry@rambler.ru).

KOVAL DMITRI NIKOLAEVICH – electrical engineer, assistant, Tavria State Agrotechnical University, Ukraine, Melitopol, (kvldmitry@rambler.ru).

КУЦЕНКО ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедры автоматизированного электропривода, Таврический государственный агротехнологический университет, Украина, Мелитополь, (kucenko2010@gmail.com).

KUTSENKO YURIY NIKOLAEVICH – candidate of technical sciences, lecturer, Head of Department of automated electric, Tavria State Agrotechnical University, Ukraine, Melitopol, (kucenko2010@gmail.com).

НЕСТЕРЧУК ДИНА НИКОЛАЕВНА – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и общей электротехники, Таврический государственный агротехнологический университет, Украина, Мелитополь, (dina-nesterchuk@mail.ru).

NESTERCHUK DINA NIKOLAEVNA – candidate of technical sciences, lecturer of Theoretical and general electrical engineering, Tavria State Agrotechnical University, Ukraine, Melitopol, (dina-nesterchuk@mail.ru).

ЯКОВЛЕВ ВАЛЕРИЙ ФЁДОРОВИЧ – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедры электротехнических систем в АПК и физики, Сумской национальный аграрный университет, Украина, Сумы, (dekanatitf@ukr.net).

YAKOVLEV VALERY FEDOROVICH – candidate of technical sciences, professor, head of the department of electrical systems in agriculture and physics, Sumy National Agrarian University, the Ukraine, Sumy, (dekanatitf@ukr.net).

В. В. ГОЕВА, Н. Е. ГРИШИН, С. С. КАЗАКОВ, В. А. КОЧЕНОВ.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА, ФОРСИРОВАНИЕ ДВС, ДОЛГОВЕЧНОСТЬ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ДЕТАЛЕЙ

Ключевые слова: *интенсивность износа, погрешности проектирования и производства, степень сжатия, форсирование, частота вращения коленчатого вала.*

Аннотация. *Анализируется зависимость долговечности и износостойкости деталей от технических возможностей производства и форсирования ДВС.*

Целью исследования является оценка долговечности и износостойкости деталей от технических возможностей двигателестроения, обусловливаемых погрешностями проектирования и производства и уровнем форсирования ДВС. Взаимосвязь форсирования, производства, долговечности и износостойкости анализируется по динамике развития ДВС автомобилей, отраженной в показателях технической характеристики двигателей ГАЗ и ЗМЗ [3, с. 39], зависимости изнашивания от газовых и инерционных нагрузок и геометрии трущихся поверхностей деталей [4, с. 60], эмпирических [1, с. 41; 2, с. 53] и прогнозируемых [4, с. 60] данных долговечности и износостойкости деталей кривошипно-шатунного механизма и цилиндропоршневой группы.

Развитие двигателестроения характеризует форсирование ДВС – степень сжатия ε и частота вращения коленчатого вала на режиме максимального крутящего момента n_M , погрешности проектирования и производства Π . Погрешности включают зазор и соответствие микро- и макрогеометрии трущихся поверхностей деталей своим оптимальным, приработанным параметрам. Для обеспечения работоспособности, сохранения и улучшения долговечности и износостойкости деталей при форсировании ДВС погрешности уменьшаются.

Используя технические характеристики двигателей [3, с. 39], эмпирические данные погрешностей проектирования и производства Π_γ [1, с. 42], рассчитываем коэффициент пропорциональности

$K_{II} = P_{\Sigma} \varepsilon n_M$; теоретическую погрешность проектирования и производства P_T (табл.1).

По аналогии с расчетом предельного износа [4, с. 60], теоретическая погрешность проектирования и производства определится по следующей формуле:

$$P_T = K_{II} / \varepsilon n_M ,$$

где K_{II} – коэффициент пропорциональности.

Таблица 1 – Прогнозирование предельного износа
и ресурса деталей двигателей

Показатель.	ГАЗ 51	ГАЗ 69	ЗМЗ 21	ЗМЗ 53	ЗМЗ 24	ЗМЗ 402	ЗМЗ 406	Ср. зн.
Год пр-ва	1945	1947	1960	1963	1970	1982	1996	
ε	6,2	6,7	7,15	7,6	8,2	8,2	9	
n_M , мин ⁻¹	1500	2000	2100	2200	2400	2600	4000	
Коренные шейки коленчатого вала								
P_{Σ} , мкм	20	45,7	55	32	28,8	12,5	18,8	
$K_{II} \cdot 10^4$	19	61	83	54	57	27	68	52
P_T , мкм	56	39	35	31	26	24	14	
Шатунные шейки коленчатого вала								
P_{Σ} , мкм	46,7	46,7	0	21,7	7,25	3,33	5	
$K_{II} \cdot 10^4$	43	63	0	36	14	7	18	26
P_T , мкм	28	19	17	16	13	12	7	
Цилиндры								
P_{Σ} , мкм	55	60	42	80	58	64	67	
$K_{II} \cdot 10^4$	51	80	63	133	114	136	241	117
P_T , мкм	126	87	78	70	59	55	33	
Тепловой зазор в замке первого компрессионного кольца								
P_{Σ} , мм		0,25	0,06	0,15	0,11	0,05	0,04	
K_{II}		3350	901	2508	2164	1066	1440	1905
P_T , мм		0,14	0,13	0,11	0,10	0,09	0,05	

Считаем, что для исследования аналитического типа получено высокое соответствие теоретических и эмпирических, эксплуатационных данных.

Погрешности проектирования и производства трущихся поверхностей деталей отражают свойства трибосопряжений, непосредственно влияя на их долговечность и износостойкость. Кроме этого, влияние погрешностей на изнашивание выражается через технические возможности двигателя и машины. С модернизацией производства и уменьшением погрешностей техническая характеристика и двигателя и машины улучшается. Пример связи двигателя и автомобиля приводится в таблице 2.

Таблица 2 – Величины, характеризующие связь двигателя с автомобилем

Параметр	Модель автомобиля		
	ГАЗ 51А	ГАЗ 53А	ГАЗ 66
Тип двигателя	Р-6	V-8	V-8
Ход поршня, мм	110	80	80
Радиус качения колеса, мм	440	463	507
Передаточное отн. заднего моста	6,67	6,83	6,83
Число об. колеса на 1 км пути	362	344	314
Число об. двигателя на 1 км пути	2415	2350	2145
Путь поршня на 1 км пути автомобиля на прямой передаче, м	531	376	343
Мощность на 1 т полной массы автомобиля, кВт·ч	9,9	11,7	15,4

Форсирование и повышение мощности двигателя увеличивает энерговооруженность и передаточное отношение трансмиссии автомобиля, уменьшает вероятность езды на пониженных передачах, уменьшает путь трения деталей двигателя на 1 км пути, что увеличивает долговечность и износостойкость.

На основании данных прогнозируемого предельного износа и ресурса деталей [3, с. 39]:

$$H_{2T} = \frac{K_H}{\varepsilon n_M},$$

$$\tau_{2T} = K_\tau \varepsilon n_M.$$

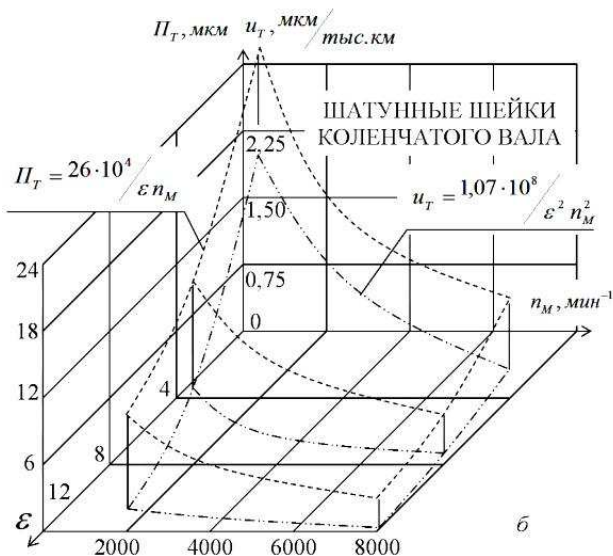
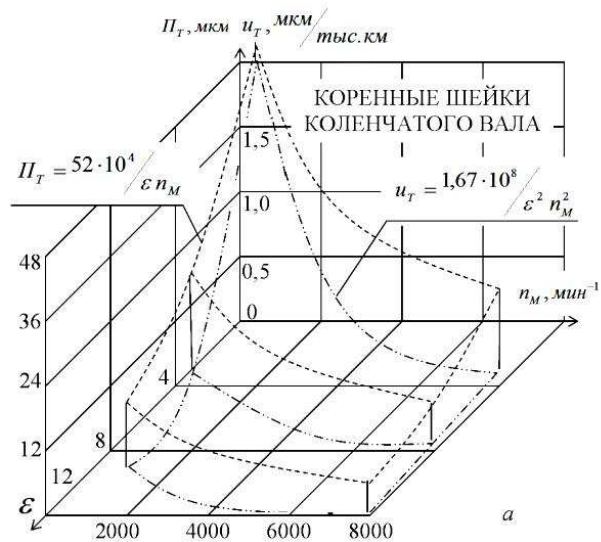


Рисунок 1 – Зависимость погрешностей проектирования и производства и интенсивности износа коренных а и шатунных б шеек коленчатого вала

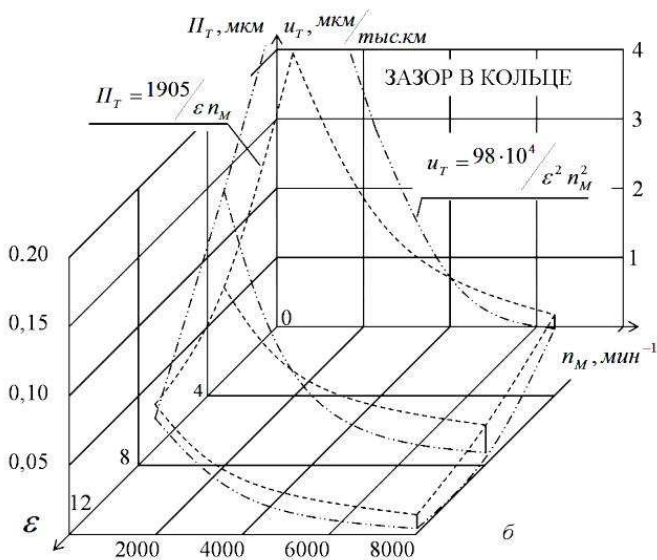
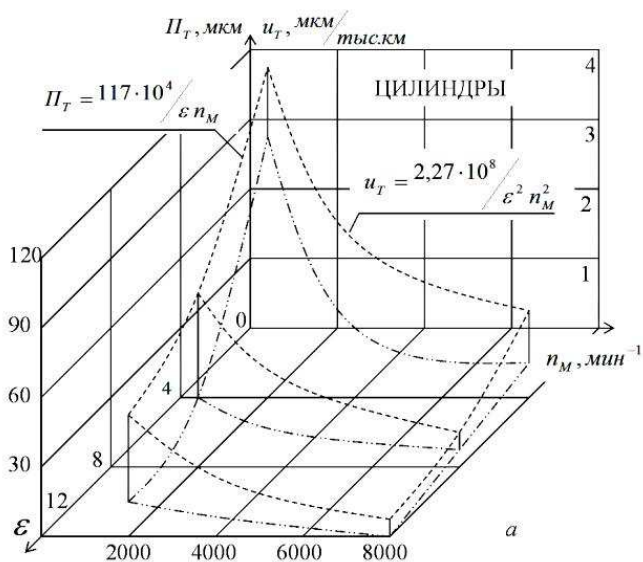


Рисунок 2 – Зависимость погрешностей проектирования и производства и интенсивности износа цилиндров a и поршневых колец $б$

Определим интенсивность износа:

$$u_T = \frac{H_{2T}}{\tau_{2T}} = \frac{K_u}{\varepsilon^2 n_M^2}.$$

где $K_u = \frac{K_u}{K_\tau}$ – коэффициент пропорциональности.

На рис. 1, 2 представлены зависимости погрешностей проектирования и производства и интенсивности износа деталей кривошипно-шатунного механизма и цилиндропоршневой группы от форсирования ДВС. С повышением степени сжатия и частоты вращения коленчатого вала интенсивность износа уменьшается быстрее погрешностей. Это объясняется влиянием погрешностей на свойства трибосопряжений двигателя автомобиля, согласованное развитие которых обеспечивает повышенный рост долговечности и износостойкости деталей.

Выводы

Форсирование и увеличение мощности двигателя, а также энерговооруженности автомобиля, обеспечиваемые модернизацией производства и снижением погрешностей проектирования, повышают показатели надежности деталей и сопряжений и машины в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коченов В.А. и др. Влияние геометрии трущихся поверхностей на долговечность и износостойкость трибосопряжений. Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 10. С. 41–42.
2. Коченов В.А. и др. Оценка проектирования и изготовления трибосопряжений. Тракторы и сельхозмашины. 2011. №12. С. 52–54.
3. Коченов В.А. и др. Прогнозирование долговечности и износостойкости ДВС. Тракторы и сельхозмашины. 2013. №4. С. 38–40.
4. Минеев А.М. Двигатели Заволжского моторного завода. Нижний Новгород. Издательство Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, 1998. 256с.

MODERNIZATION OF PRODUCTION, FORCING OF ICE , DURABILITY AND WEAR RESISTANCE OF PARTS

Keywords: *Errors in design and production, the wear rate, forcing, rate of compression, speed of crankshaft rotation.*

Annotation. *Article analyses the dependence of durability and wear resistance on the technical possibilities of production and forcing ICE.*

ГОЕВА ВЕРА ВЛАДИМИРОВНА – доцент кафедры «Тракторы и автомобили», Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (triamur@mail.ru).

GOEVA VERA VLADIMIROVNA – docent of the chair «Tractors and automobiles», Nizhny Novgorod State Engineering and Economic Institute, Russia, Knyaginino, (triamur@mail.ru).

ГРИШИН НИКОЛАЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ – старший преподаватель кафедры «Тракторы и автомобили», Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (triamur@mail.ru).

GRISHIN NIKOLAY EVGENIEVICH – senior lecturer of the chair «Tractors and automobiles», Nizhny Novgorod State Engineering and Economic Institute, Russia, Knyaginino, (triamur@mail.ru).

КАЗАКОВ СЕРГЕЙ СЕРГЕЕВИЧ – старший преподаватель кафедры «Тракторы и автомобили», Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (triamur@mail.ru).

KAZAKOV SERGEY SERGEEVICH – senior lecturer of the chair «Tractors and automobiles», Nizhny Novgorod State Engineering and Economic Institute, Russia, Knyaginino, (triamur@mail.ru).

КОЧЕНОВ ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ – кандидат технических наук, доцент кафедры «Тракторы и автомобили», Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (vakochoenov@yandex.ru).

KOCHENOV VLADIMIR ALEKSANDROVICH – candidate of technical sciences, docent of the chair «Tractors and automobiles», Nizhny Novgorod State Engineering and Economic Institute, Russia, Knyaginino, (vakochoenov@yandex.ru).

ВЛИЯНИЕ КРИВИЗНЫ В ПЛАНЕ НА ИЗМЕНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТОВ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ

Ключевые слова: коэффициент боковой силы, коэффициент подъемной силы, кривизна в плане, момент тангажа, угол скольжения.

Аннотация. Приведен анализ экспериментальных данных на основе испытаний моделей с переменной кривизной в плане. Рассмотрен характер изменения коэффициентов аэродинамических сил и моментов.

Располагая данными аэродинамических экспериментов, необходимо определить характер изменения коэффициентов аэродинамических сил в зависимости от ряда факторов, а также установить наиболее выгодную форму профиля, имеющую кривизну в плане.

Для удобства анализа данных модели были промаркированы соответствующим образом. Модели «каплевидной» формы отмечены как «А», а модели «бочкообразной» формы как «С». Рассмотрим каждый коэффициент по отдельности.

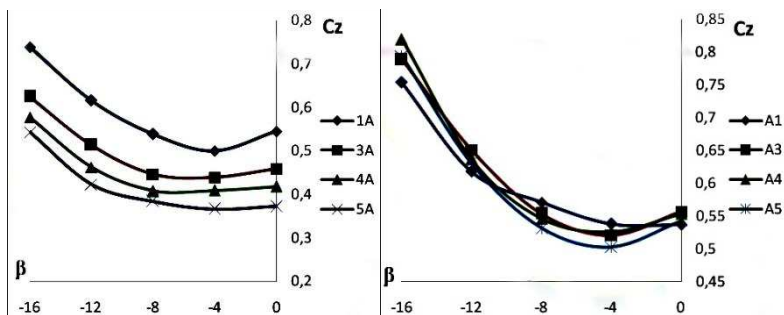


Рисунок 1 – Изменение коэффициента подъемной силы C_z в зависимости от изменения угла скольжения β и сечения моделей «каплевидной» формы

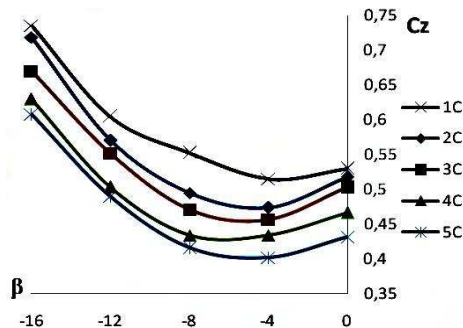


Рисунок 2 – Изменение коэффициента подъемной силы C_z в зависимости от изменения угла скольжения β и сечения моделей «бочкообразной» формы

Коэффициент подъемной силы (C_z). Из графиков (рис.1, 2) следует, что модели типа пА (правильная капля) и С имеют больший интервал изменения значений коэффициента C_z , чем модели типа Ап (обратная капля). У моделей Ап изменение коэффициента C_z при изменении формы сечения незначительно, но модели данного типа обладают большими значениями C_z при изменении угла натекания воздушного потока β .

Наиболее выгодным профилем, относительно величины коэффициента подъемной силы, является профиль 5А.

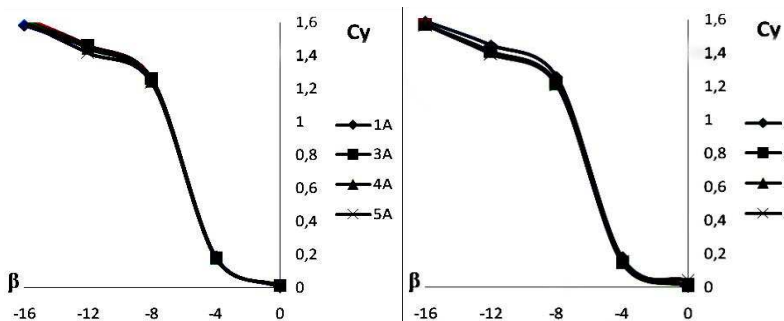


Рисунок 3 – Изменение коэффициента боковой силы C_y в зависимости от изменения угла скольжения β и сечения моделей «каплевидной» формы

Коэффициент боковой силы (C_y). Изменение значений коэффициента боковой силы C_y при изменении угла β и профиля сече-

ния незначительно и происходит по одной и той же зависимости, что позволяет сделать вывод об отсутствии влияния кривизны в плане (рис. 3, 4) в нашем эксперименте. При малых углах набегания воздушного потока на модель коэффициент C_y изменяется практически по линейному закону, что подтверждает выводы Барта.

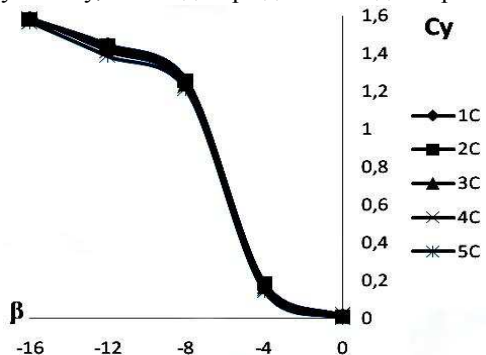


Рисунок 4 – Изменение коэффициента боковой силы C_y в зависимости от изменения угла скольжения β и сечения моделей «бочкообразной» формы

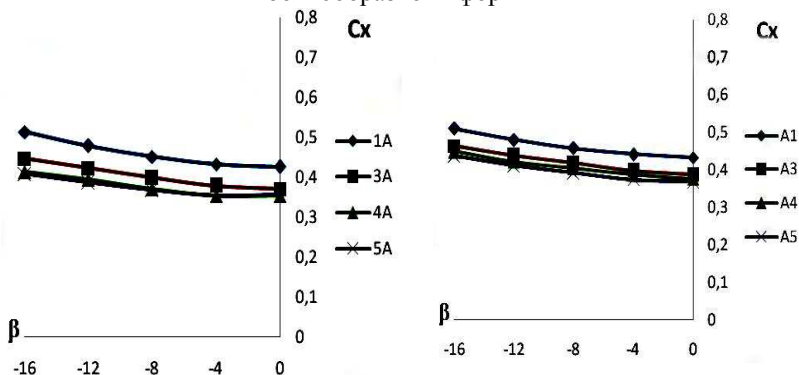


Рисунок 5 – Изменение коэффициента лобового сопротивления C_x в зависимости от изменения угла скольжения β и сечения моделей «каплевидной» формы

Коэффициент лобового сопротивления (C_x). Изменение коэффициента лобового сопротивления при изменении угла скольжения и сечения моделей представляет собой зависимость, близкую к линейной (рис.5, 6). При этом наименьшими значениями коэффициента C_x

обладают формы 4А, 5А и 5С, имеющие большую величину выпуклости. Представленные графические зависимости дополняют работу.

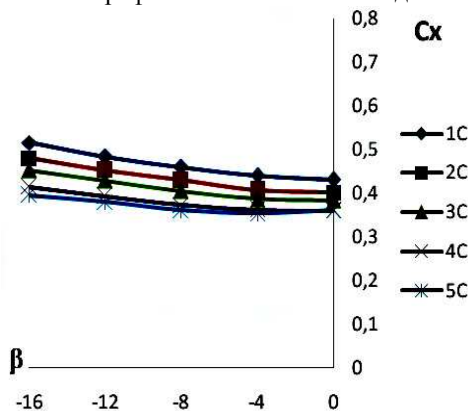


Рисунок 6 – Изменение коэффициента лобового сопротивления $C_{хв}$ зависимости от изменения угла скольжения β и сечения моделей «бочкообразной» формы

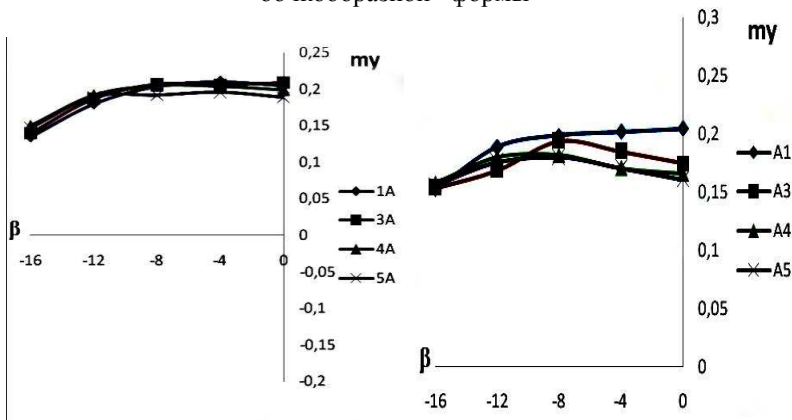


Рисунок 7 – Изменение момента m_y в зависимости от изменения угла скольжения β и сечения моделей «каплевидной» формы

Момент тангажа (m_y). Момент тангажа определяет галопирование автомобиля. При изменении угла скольжения и кривизны в плане изменения значений момента тангажа незначительны и происходят примерно по одному и тому же закону (рис.7, 8). Исключением при этом является профиль 5А, имеющий

максимальную кривизну в плане в передней части модели (рис.7).

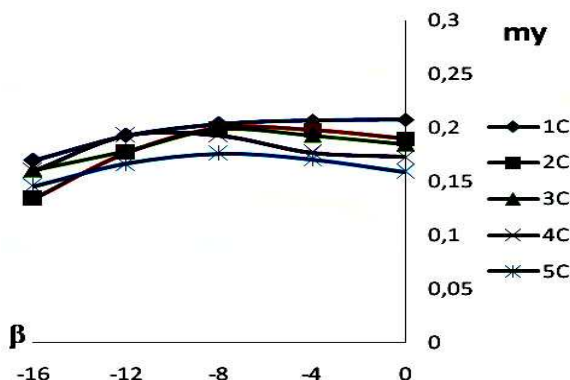


Рисунок 8 – Изменение момента m_y в зависимости от изменения угла скольжения β и сечения моделей «бочкообразной» формы

Резюмируя вышесказанное, можно сделать вывод, что при изменении режима обтекания наиболее выгодными формами профиля являются 5A и 5C, имеющие максимальную кривизну в плане, в передней и средней части модели соответственно. Данным формам соответствуют самые низкие значения коэффициентов аэродинамического сопротивления, а характер изменения, при изменении угла скольжения β , представляет из себя пологую кривую либо прямую линию.

EFFECT OF THE CURVATURE IN THE PLAN CHANGES TO VALUES OF THE COEFFICIENTS OF THE AERODYNAMIC FORCES

Annotation. Shown analysis of the experimental database of on the basis of tests models with variable curvature in plane. We consider the nature of the change the coefficients of aerodynamic forces and moments.

Keywords: Curvature in plane, the lift coefficient, the coefficient of side force, the pitching moment, the glancing angle.

ГРИШИН НИКОЛАЙ ЕВГЕНИЕВИЧ – старший преподаватель кафедры «Тракторы и автомобили», Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (triamur@mail.ru).

GRISHIN NIKOLAI EVGENIEVICH – senior lecturer of the chair «Tractors and cars», the Nizhniy Novgorod state engineering-economic institute, Russia, Knyaginino, (triamur@mail.ru).

КОТИН АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ – аспирант кафедры «Тракторы и автомобили», Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (triamur@mail.ru).

KOTIN ALEKSANDR IVANOVICH – the post-graduate student of the chair «Tractors and cars», the Nizhniy Novgorod state engineering-economic institute, Russia, Knyaginino, (triamur@mail.ru).

ЛОПОТКИН АЛЕКСЕЙ МИХАИЛОВИЧ – аспирант кафедры «Тракторы и автомобили», Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (triamur@mail.ru).

LOPOTKIN ALEKSEI MIHAILOVICH – the post-graduate student of the chair «Tractors and cars», the Nizhniy Novgorod state engineering-economic institute, Russia, Knyaginino, (triamur@mail.ru).

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ ПЛАНОВОЙ ПРОЕКЦИИ МАСШТАБНОЙ МОДЕЛИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ НА АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Ключевые слова: автомобиль, аэродинамические коэффициенты, выпуклость, изменения, масштаб, проекция, сечения.

Аннотация. Представлены и проанализированы результаты трубного эксперимента с моделью переменной кривизны ее проекции в плане. Определены зависимости аэродинамических коэффициентов от изменения параметров – выпуклости и ее местоположения.

При отсутствии развитой теоретической базы аэродинамики автомобиля широко применяются параметрические исследования. Собственно любое изменение внешней формы автомобиля во время аэродинамического эксперимента можно отнести к параметрическим исследованиям. Чаще всего подвергается изменению геометрия профильного сечения кузова. Для оценки изменений используют линейные и угловые параметры. Исследования влияния изменения формы плановой проекции кузова на аэродинамические показатели носят локальный характер. Не определены зависимости от этих изменений, результаты которых можно перенести на другие объекты с количественной оценкой. Трудность возникает при оценке изменений формы автомобиля в плане. В авиационной аэродинамике профиль крыла оценивают различными показателями, например удлинением крыла, выпуклостью. Даже при наличии современной вычислительной техники профиль крыла невозможно описать математическим методом. Исходя из этого, для проведения эксперимента была спроектирована и изготовлена масштабная модель с изменяемой плановой кривизной. Базовая модель, масштаба 1:5, имела плоские боковые поверхности, габаритные размеры, тождественные по величине автомобилю малого класса. Модель имела боковые сменные элементы разной кривизны. Параметром, оценивающим кривизну боковой поверхности элемента, является выпуклость. Выпуклость определяется отношением прироста

ширины в определенном поперечном сечении к длине модели. Поперечные сечения находились на различных расстояниях от передней кромки модели: - 0,166 от длины модели; 0,334; 0,5; 0,666; 0,834. Выпуклость изменялась дискретно в каждом сечении от 0 для базовой модели до максимальной величины 0,05. Таким образом, форма проекции модели в плане изменялась от формы капли до формы перевернутой капли. Выбор дискретных величин выпуклости определен в результате анализа чертежей легковых автомобилей. Для упрощения изготовления модели и ускорения проведения эксперимента в аэродинамической трубе модель изготовлена симметричной относительно ее центра.

Базовая модель при осесимметричном обтекании воздушным потоком имела следующие аэродинамические показатели:

- коэффициент лобового сопротивления $C_x=0,470$;

- коэффициент подъемной силы $C_z=0,478$ ($C_{z1}=0,031$; $C_{z2}=0,447$);

- коэффициент момента тангажа $m_y=0,208$.

Результаты аэродинамического эксперимента с моделью переменной плановой кривизны представлены в графическом виде на рис.1,2,3.

При анализе результатов испытаний за отправную точку отсчета были взяты аэродинамические показатели базовой модели, т.е. внешней формы, близкой к параллелепипеду, с плоскими боковыми поверхностями. С увеличением выпуклости модели для всех выбранных поперечных сечений величина коэффициента лобового сопротивления C_x уменьшается (рис.1). Характер изменения нелинейный, но близок к нему. При максимальной заданной выпуклости ($b/L=0,05$) модели уменьшение величины коэффициента C_x составило 28%. Экстраполируя зависимость, можно предположить, что минимальная величина коэффициента лобового сопротивления достигается при значении параметра выпуклости, равной 0,07. Из сведений технической литературы известно, что аэродинамическое сопротивление каплевидного тела вращения, с ориентацией заостренной части вниз по потоку, на порядок меньше, чем у того же объекта, ориентированного противоположно [1, с. 61]. Но эти сведения относятся к объекту находящемуся в свободном воздушном потоке. В нашем случае модель имела отрывные течения и продувалась вблизи экрана, имитирующего земную поверхность. Расположение выпуклости в передней части модели является оптимальным.

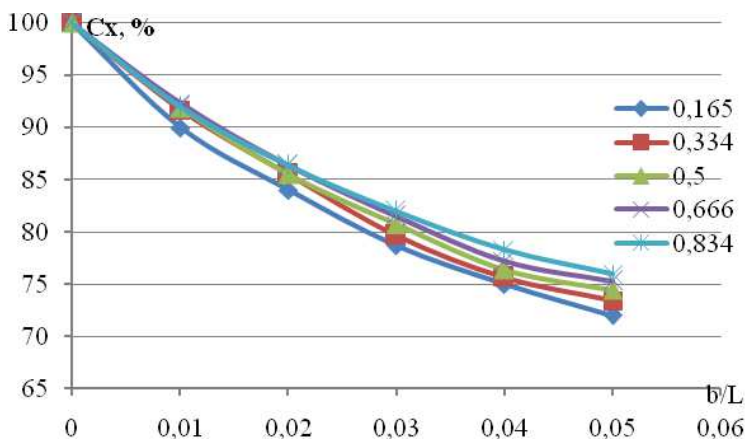


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента лобового сопротивления C_x от выпуклости модели при различных l/L

При малых значениях выпуклости модели (b/L менее 0,02) подъемная сила растет в сравнении с показателем для базовой модели. Большим значениям выпуклости соответствует тенденция к уменьшению коэффициента подъемной силы C_z (рис.2). Но только при расположении максимального сечения у передней части модели величина подъемной силы становится меньше, чем у базовой.

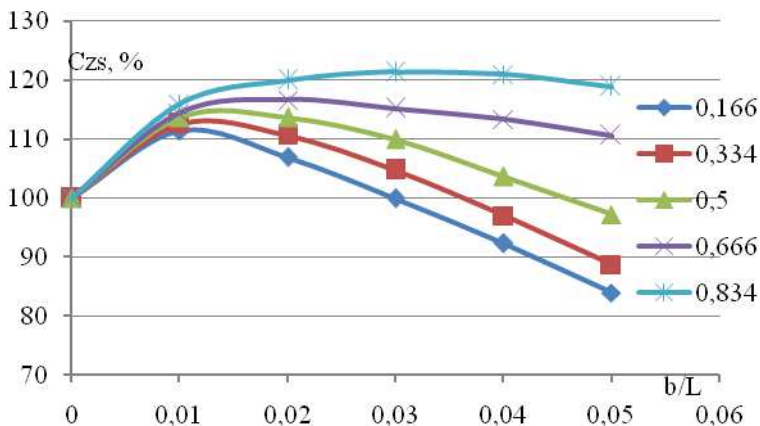


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента подъемной силы C_z от выпуклости модели при различных l/L

При максимальной выпуклости модели наименьшее значение подъемной силы зафиксировано при $l/L=0,166$ (рис.3). По отношению к базовой модели снижение составило 16%. Аэродинамическая сила является прижимной. Интересен тот факт, что при этой выпуклости модель с расположением максимального поперечного сечения в середине базы автомобиля имеет подъемную силу, равную базовой. Смещение этого сечения в сторону задней части модели влечет увеличение подъемной силы. Несомненно, что это увеличение связано с изменением характеристики спутного следа за моделью.

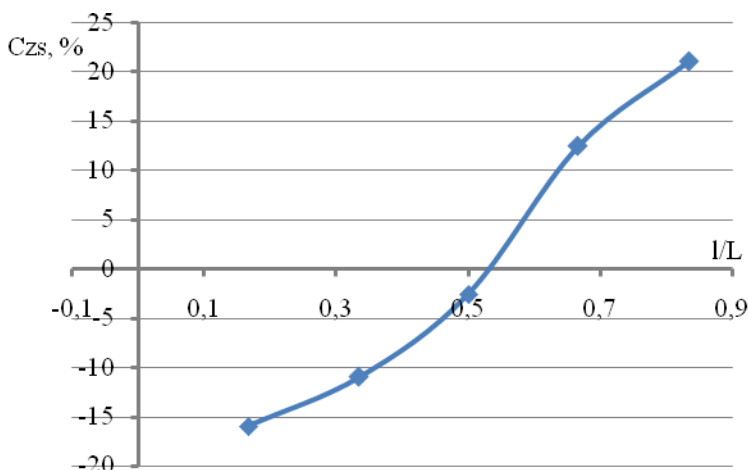


Рисунок 3 – Зависимость подъёмной силы C_{zs} от смещения максимального поперечного сечения по длине модели при максимальной выпуклости ($b/L=0,05$)

Выводом анализа полученных результатов аэродинамического эксперимента с масштабной моделью переменной плановой выпуклостью является:

- смещение поперечного сечения максимальной выпуклости в сторону передней части модели улучшает аэродинамические характеристики;
- увеличение параметра выпуклости улучшает аэродинамические характеристики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Королев Е.В. Аэродинамическое сопротивление плохообтекаемых тел/ Е.В. Королев, Р.Р. Жамалов// Вестник НГИЭИ. Сериятехническиенауки. Выпуск 1(2). Княгинино: НГИЭИ, 2011. 164с.

EFFECTS OF CHANGING GEOMETRY SCHEDULED THE PROJECTION SCALE MODELS OF CAR ON THE AERODYNAMIC CHARACTERISTICS

Keywords: *model, scale, car, convexity, section, aerodynamic coefficients changes projection.*

Annotation. *Present and analyze the tubal the experiment with a model of variable curvature of its the projection in the plan. The dependences of the of the aerodynamic coefficients of parameter changes - convexity and her location.*

ЖАМАЛОВ РАФИК РАФАИЛЕВИЧ – преподаватель кафедры «Тракторы и автомобили», Нижегородский государственный инженерно-экономический институт», Россия, Княгинино, (triamur@mail.ru).

ZHAMALOV RAFIK RAFAILEVICH, lecturer of the chair «Tractors and cars», the Nizhniy Novgorod state engineering-economic institute, Russia, Knyaginino, (triamur@mail.ru).

КОРОЛЕВ ЕВГЕНИЙ ВИКТОРОВИЧ – кандидат технических наук, профессор кафедры «Тракторы и автомобили», Нижегородский государственный инженерно-экономический институт», Россия, Княгинино, (triamur@mail.ru).

KOROLEV EVGENIY VIKTPROVICH – candidate of technical sciences, the professor of the chair «Tractors and cars», the Nizhniy Novgorod state engineering-economic institute, Russia, Knyaginino, (triamur@mail.ru).

КОТИН АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ – аспирант кафедры «Тракторы и автомобили», Нижегородский государственный инженерно-экономический институт», Россия, Княгинино, (triamur@mail.ru).

KOTIN ALEKSANDR IVANOVICH – the post-graduate student of the chair «Tractors and cars», the Nizhniy Novgorod state engineering-economic institute, Russia, Knyaginino, (triamur@mail.ru).

СКОРОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТОКСИЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ ДИЗЕЛЯ 4Ч11,0/12,5 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА

Ключевые слова: дизель, дымность, оксиды азота, токсичность, экологические показатели, этанол, этанола-топливная эмульсия.

Аннотация. В данной статье рассмотрены проблемы токсичности дизельных двигателей и возможность расширения топливной базы имеющихся современных дизелей. Статья содержит результаты исследований, проведенных на двигателе Д-243 (4Ч11,0/12,5), при работе на этанола-топливной эмульсии. Представлено влияние применения этанола-топливной эмульсии на экологические показатели дизельного двигателя на различных скоростных и нагрузочных режимах.

К настоящему времени в нашей стране, как и во всем мире, складывается неблагоприятная экологическая обстановка. Существенный вклад в загрязнение окружающей среды, и в первую очередь воздуха, безусловно, вносит и автомобильный транспорт. Одним из наиболее эффективных способов снижения отработавших газов (ОГ) является использование альтернативных топлив, в том числе из возобновляемого сырья. Такими топливами являются метиловый и набирающий большую актуальность этиловый спирты и эмульсии на его основе [1, с. 52; 4, с. 36]. В то же время использование этих топлив в двигателях с искровым зажиганием применяется достаточно давно и показало свою эффективность (снижение выбросов вредных веществ, при использовании газового и спиртового топлива, составляет на разных двигателях, по оценке специалистов, от 20 до 40%) [5, с. 27]. При этом практически не изучен вопрос об использовании вышеуказанных топлив в автомобильных и тракторных дизелях. А это на основании уже проведенных нами исследований, подтвержденных документально, позволя-

ет значительно снизить выбросы с ОГ таких токсичных компонентов, как оксиды азота NO_x (до 30%) и сажи (до 90%) [2, с. 54; 3, с. 75]. Столь существенное сокращение выбросов вредных веществ с ОГ позволит уже существующим и находящимся в эксплуатации двигателям соответствовать современным экологическим требованиям.

Скоростные характеристики изменения содержания токсичных компонентов в ОГ дизеля 4Ч11,0/12,5 на оптимальном установочном УОВТ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала представлены на рис. 1 [1, с. 53; 2, с. 55; 5, с. 156].

Из графиков видно, что при работе дизеля на ДТ на всем скоростном диапазоне работы содержание углеводородов CH_x в ОГ увеличивается. При увеличении частоты вращения уменьшается содержание оксидов азота NO_x в ОГ от 1175 ppm при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ до 830 ppm при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$. Уменьшение содержания NO_x составляет 29,4 %. При увеличении частоты вращения уменьшается содержание CO_2 в ОГ. Так, при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ значение CO_2 составляет 7,0 %, а при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ значение CO_2 составляет 6,4 %. Содержание CO_2 в ОГ уменьшается на 8,6 %. Содержание CO в ОГ понижается с 0,225 % при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ до 0,120 % при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, или в 1,9 раза. Дымность ОГ с увеличением частоты вращения увеличивается. Так, при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ дымность ОГ составляет 2,5 единицы по шкале Bosch, а при частоте $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ – 3,1 единицы по шкале Bosch, т.е. дымность повышается в 1,24 раза.

Если рассматривать изменение токсических показателей при работе дизеля на ЭТЭ можно сделать следующие выводы. При увеличении частоты вращения уменьшается содержание NO_x в ОГ от 785 ppm при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ до 605 ppm при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$. Уменьшение содержания NO_x составляет 23 %. При работе дизеля на ЭТЭ при увеличении частоты вращения коленчатого вала содержание CH_x в ОГ увеличивается на всем скоростном диапазоне работы. При увеличении частоты вращения снижается содержание CO_2 в ОГ. Так, при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ содержание CO_2 в ОГ составляет 7,9 %, а при увеличении частоты вращения до максимальной, т.е. при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, содержание CO_2 в ОГ составляет 6,1 %. Содержание CO_2 снижается на 22,8 %. Содержание CO в ОГ снижается с 0,145 % при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ до 0,095 % при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, или на 34,5 %. Дымность ОГ (С) с увеличением частоты вращения увеличивается. Так, при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ дымность ОГ составляет 0,9 единицы по шкале Bosch, а при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ – 1,4 единицы по шкале Bosch, т.е. повышается в 1,6 раза.

Анализируя изменение содержания токсичных компонентов в ОГ дизеля 4Ч 11,0/12,5 при переходе с ДТ на ЭТЭ при работе дизеля на оптимальном установочном УОВТ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала, можно отметить следующее. Содержание NO_x в ОГ при работе дизеля на ЭТЭ меньше, чем при работе дизеля на ДТ. Так, при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ содержание NO_x снижается с 1175 ppm при работе дизеля на ДТ до 785 ppm при работе дизеля на ЭТЭ. Снижение составляет 33,2 %. На большей частоте вращения коленчатого вала также происходит снижение содержания NO_x . Так, при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ содержание NO_x при работе дизеля на ДТ составляет 830 ppm, а при работе дизеля на ЭТЭ составляет 605 ppm. Снижение составляет 27,1 %. Содержание CH_x в ОГ при работе дизеля на ЭТЭ на малой частоте вращения ($n = 1200 \text{ мин}^{-1}$) повышается и составляет 0,070 % по сравнению с содержанием CH_x при работе дизеля на ДТ, которое составляет 0,046 %, т.е. увеличивается в 1,5 раза. При увеличении частоты вращения до $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ содержание CH_x в ОГ при работе дизеля на ЭТЭ также возрастает и составляет 0,35 % по сравнению с содержанием CH_x при работе дизеля на ДТ, которое равно 0,074 %, т.е. увеличивается в 4,7 раза.

Содержание CO_2 в ОГ при работе дизеля на ДТ при частоте вращения $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ составляет 7,0 %, а при работе дизеля на ЭТЭ – 7,9 %, т.е. повышается на 12,9 %. При увеличении частоты вращения до $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ содержание CO_2 в ОГ при работе дизеля на ДТ составляет 6,4 %, а при работе дизеля на ЭТЭ – 6,1 %. Т.е. снижение содержания CO_2 составляет 4,7 %. Содержание CO в ОГ при частоте вращения $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ на ДТ составляет 0,225 %, а при работе дизеля на ЭТЭ – 0,145 %. Содержание CO в ОГ уменьшается в 1,6 раза. При увеличении частоты вращения до $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ содержание CO в ОГ при работе дизеля на ДТ составляет 0,12 %, а при работе дизеля на ЭТЭ 0,095 %, т.е. уменьшается в 1,3 раза. Дымность ОГ (С) при работе дизеля на ЭТЭ, по сравнению с работой на ДТ, изменяется с увеличением частоты вращения. Так, при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ при работе дизеля на ДТ, значение дымности составляет 2,5 единицы по шкале Bosch, а при работе дизеля на ЭТЭ – 0,9 единицы по шкале Bosch. При увеличении частоты вращения до $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ значение дымности при работе дизеля на ДТ составляет 3,1 единицы по шкале Bosch, а при работе дизеля на ЭТЭ 1,4 единицы по шкале Bosch, т.е. дымность снижается более чем в 2 раза.

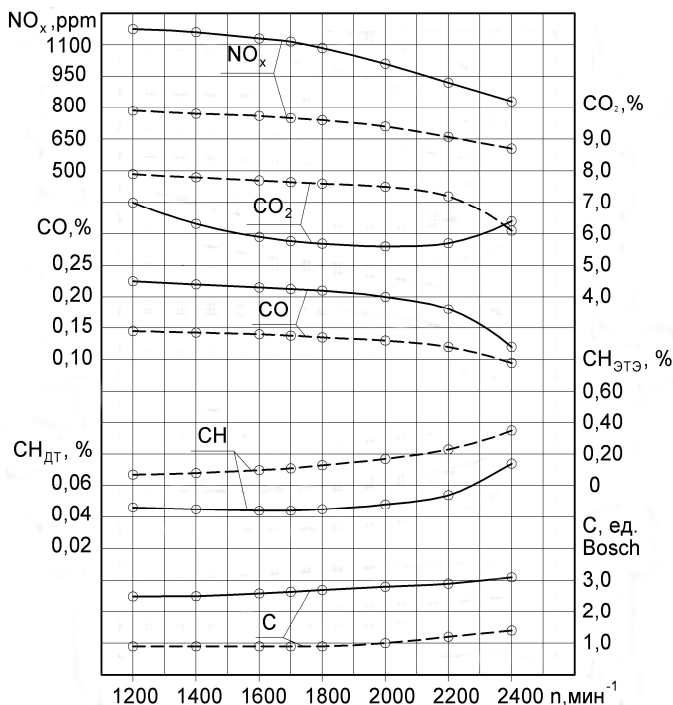


Рисунок 1 – Влияние применения ЭТЭ на токсические показатели дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала: — — дизельный процесс, — — — — ЭТЭ

Анализируя изменение содержания токсичных компонентов в ОГ дизеля 4Ч 11,0/12,5 при переходе с ДТ на ЭТЭ, отметим, что при работе дизеля на ЭТЭ на всем скоростном диапазоне уменьшается содержание в ОГ дизеля оксида углерода CO , происходит увеличение диоксида углерода CO_2 , возрастает содержание суммарных углеводородов CH_x . При этом значительно снижается содержание оксидов азота NO_x и уменьшается дымность ОГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зонов А.В. Исследование применения ЭТЭ на показатели процесса сгорания, объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч11,0/12,5 в зависимости от угла поворота коленчатого вала. С. 52–53.
2. Зонов А.В., Лиханов В.А., Чупраков А.И., Шаромов И.М. Влияние применения этанола-топливной эмульсии на эффективные показатели дизеля 4Ч11,0/12,5. Транспорт на альтернативном топливе. 2011. Т. 22. № 4. С. 54–56.
3. Зонов А.В., Лиханов В.А., Чупраков А.И., Шаромов И.М. Влияние этанола на процесс сгорания в цилиндре дизеля 4Ч11,0/12,5. Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 3. С. 75–77.
4. Лиханов В.А., Сайкин А.М. Снижение токсичности авто-тракторных дизелей. 2-е изд., испр. и доп. М.: Колос, 1994. 224 с.
5. Лиханов В.А. Снижение токсичности и улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения метанола. Киров: Вятская ГСХА, 2001. 212 с.

VELOCITY CHARACTERISTICS OF CHANGE OF TOXIC COMPONENTS RATE IN 4CH11.0/12.5 DIESEL WORKED-OUT GASES IN DEPENDENCE ON FREQUENCY OF CRANKSHAFT ROTATION

Keywords: toxicity, diesel, ethanol, ethanol and fuel emulsion, ecological indicators, nitrogen oxides, smoke.

Annotation. This article examines the problem of toxicity of diesel engines and the possibility of expanding the base of available fuel for modern diesel engines. The article contains the results of studies on the engine D-243 (4CH11,0/12,5), while working on ethanol and fuel emulsion. It shows the effect of the use of ethanol and fuel emulsion on the ecological indicators of diesel engine at different speed and load conditions.

ЗОНОВ АНТОН ВАСИЛЬЕВИЧ – кандидат технических наук, доцент кафедры начертательной геометрии и черчения, Вятский государственный университет, Россия, Киров, (antonzonov@yandex.ru).

ZONOV ANTON VASILYEVICH – candidate of Technical Sciences, docent of the chair «Descriptive geometry and drawing», Vyatka State University, Russia, Kirov, (antonzonov@yandex.ru).

РАСЧЕТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА (ЭТАНОЛА) И ХАРАКТЕРИСТИК ВПРЫСКИВАНИЯ И РАСПЫЛИВАНИЯ В ДИЗЕЛЕ 2Ч10,5/12,0

Ключевые слова: впрыскивание, дизель, распыливание, топливная струя, угол рассеивания, физические свойства, этанол.

Аннотация. В данной статье рассмотрено впрыскивание в цилиндр двигателя маловязкого этилового спирта. Это ведет к увеличению угла рассеивания топливной струи и ее боковой поверхности, что приводит к увеличению количества испарившегося топлива за период задержки воспламенения и более «мягкой» работе двигателя. Увеличение угла рассеивания топливной струи позволяет увеличить число сопловых отверстий и интенсифицировать «закрутку» воздушного заряда, что, в конечном итоге, положительно отражается на топливной экономичности двигателя. Статья содержит результаты исследований, проведенных на двигателе 2Ч10,5/12,0 при работе на альтернативном топливе – этаноле. Представлено расчетно-теоретическое исследование физических свойств этанола и характеристик впрыскивания и распыливания в данном дизеле.

Характеристики процесса сгорания в дизеле с объемным и объемно-пленочным смесеобразованием зависят от динамики и структуры струй распыленного топлива, их числа и ориентации в пространстве, взаимодействия струй с воздушным зарядом цилиндра и стенками КС. Это необходимо учитывать при разработке моделей смесеобразования и сгорания в дизеле. Смесеобразование в дизеле 2Ч10,5/12,0 при работе на этаноле с двойной системой топливоподачи (ДСТ) осуществляется в полусферической КС, расположенной эксцентрично в поршне. Впрыскивание топлива в КС производится распылителями с тремя сопловыми отверстиями. Смесеобразование обеспечивается кинетической энергией впрыснутого топлива и энергией воздушного заряда.

Остановимся на рассмотрении вопроса, связанного с обоснованием и разработкой математической модели процессов смесеобразования и сгорания в цилиндре дизеля жидких альтернативных топлив (АТ). На наш взгляд, с учетом отличия физико-химических свойств АТ, можно применить к альтернативным топливам разработанную математическую модель процессов смесеобразования и сгорания жидких углеводородных топлив нефтяного происхождения, основные положения которой изложены ниже.

К физическим характеристикам топлива, оказывающим влияние на процессы его испарения и выгорания, можно отнести среднюю объемную температуру кипения разгонки топлива, критические температуру и давление фазового перехода жидкого топлива в пар и др. С учетом отличия этих характеристик АТ от характеристик дизельных топлив можно определить константу испарения топлива и по кинетическим уравнениям испарения и выгорания распыленного топлива рассчитать характеристики тепловыделения на участках впрыскивания, развитого диффузионного горения и догорания.

В связи со сложностью протекания физико-химических процессов в цилиндре дизеля теоретические соотношения, полученные на основании законов химической кинетики, необходимо дополнить эмпирическими коэффициентами, учитывающими особенности протекания процесса сгорания в цилиндре дизеля. При создании и разработке математической модели смесеобразования и сгорания альтернативных жидких углеводородных топлив (метанол, этанол, рапсовое масло, метилэфир рапсового масла и другие) используются математические выражения и критериальные зависимости, предложенные Лышевским А. С. и уточненные Разлейцевым Н.Ф. применительно к быстроходным форсированным дизелям [1, с. 134; 2, с. 409]. Была проведена оценка возможности использования критериальных зависимостей для определения дальнобойности l_T и угла раскрытия топливной струи g_T , мелкости распыливания d_T применительно к жидким альтернативным топливам [2, с. 411]. В математических выражениях присутствуют такие физические параметры топлива, как плотность топлива γ_T , динамическая вязкость μ_T и поверхностное натяжение σ_T . Для стандартного (летнего) дизельного топлива вышеуказанные параметры имеют такие значения: $\gamma_T = 860 \text{ кг/м}^3$; $\mu_T = 3,8 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$; $\sigma_T = 28 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$. При получении Лышевским А.С. критериальных зависимостей использовались данные опытов с жидкостями, для которых γ_T , μ_T и σ_T изменялись в пределах: $\gamma_T = (0,725...0,93) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; $\mu_T = (0,425...89,7) \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$; $\sigma_T = (22,25...30,7) \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$.

Исходя из того, что для жидких альтернативных топлив γ_T , m_T и s_T , по-видимому, не выйдут за пределы крайних значений указанных величин (например, для этанола $\gamma_T = 790 \text{ кг/м}^3$; $m_T = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$), можно сделать вывод о том, что характеристики впрыскивания и динамику развития струи можно рассчитывать по критериальным зависимостям Лышевского А.С. [1, с. 134].

Рассматривая структуру выражений для определения величин l_T , g_T , d_T , можно отметить, что при неизменных режимных, конструктивных и регулировочных параметрах двигателя претерпевают изменения (в случае применения альтернативных топлив) значения величин γ_{TA} , m_{TA} и s_{TA} .

Рассмотрим математические выражения, по которым определяются характеристика впрыскивания топлива и критериальные зависимости.

Средняя скорость за время впрыскивания цикловой порции топлива

$$U_0 = \frac{B_{\text{ц}}}{(\mu f_{\text{с}} \cdot i_{\text{с}} \cdot \rho_{\text{т}} \cdot \tau_{\text{впр}})}, \quad (1)$$

где $B_{\text{ц}}$ – цикловая порция топлива; $\mu f_{\text{с}}$ – площадь эффективного проходного сечения распыливающих отверстий; i – количество распыливающих отверстий; $\tau_{\text{впр}}$ – продолжительность впрыскивания порции топлива.

В формулах для расчета показателей струи распыленного топлива используются следующие критерии:

- критерий Вебера, характеризующий соотношение сил поверхностного натяжения и инерции:

$$W_e = \frac{U_0^2 \cdot d_{\text{с}} \cdot \rho_{\text{т}}}{\sigma_{\text{т}}}; \quad (2)$$

- критерий М, характеризующий соотношение сил поверхностного натяжения и вязкости:

$$M = \frac{\mu_{\text{т}}^2}{(d_{\text{с}} \cdot \rho_{\text{т}} \cdot \sigma_{\text{т}})}; \quad (3)$$

- отношение плотностей воздуха и топлива:

$$\rho = \frac{\rho_{\text{а}}}{\rho_{\text{т}}}, \quad (4)$$

где $d_{\text{с}}$ – диаметр распыливающего отверстия форсунки; $\rho_{\text{а}}$ – плотность воздуха в цилиндре двигателя.

Проведем оценку влияния физических параметров топлива на характеристики впрыскивания и распыливания. При проведении оцен-

ки будем считать, что изменяются только физические параметры топлива (традиционного и альтернативного), а режимные, регулировочные и конструктивные параметры двигателя остаются без изменений.

Запишем выражение для расчета границы между начальным и основным участками развития струи:

$$l_T = C_s \cdot d_c \cdot W_e^{0,25} \cdot \mu^{0,4} \cdot \rho^{-0,6}, \quad (5)$$

где $C_s = 8,85$ – эмпирический коэффициент [1, с. 134].

$$l_T = C_s \cdot d_c \cdot (U_0^2 \cdot d_c \cdot \rho_T \cdot \sigma^{-1})^{0,25} \cdot (\mu_T^2 \cdot \rho_T^{-1} \cdot d_c^{-1} \cdot \sigma_T^{-1})^{0,4} \cdot \left(\frac{\rho_B}{\rho_T} \right)^{-0,6}. \quad (6)$$

После ряда несложных преобразований получим выражение l_T функции величин g_T , m_T и s_T .

$$l_T = A \cdot \rho_T^{-0,05} \cdot \sigma_T^{-0,65} \cdot \mu_T^{0,8}, \quad (7)$$

где A – множитель, включающий в себя постоянные величины.

Аналогично (7) запишем выражение для альтернативного топлива

$$l_{TA} = A \cdot \rho_{TA}^{-0,05} \cdot \sigma_{TA}^{-0,65} \cdot \mu_{TA}^{0,8}. \quad (8)$$

Разделив выражение l_{TA} на l_T , получаем

$$\frac{l_{TA}}{l_T} = \left(\frac{\rho_{TA}}{\rho_T} \right)^{-0,05} \cdot \left(\frac{\sigma_{TA}}{\sigma_T} \right)^{-0,65} \cdot \left(\frac{\mu_{TA}}{\mu_T} \right)^{0,8}. \quad (9)$$

Как видно из выражения (9), увеличение или уменьшение плотности топлива относительно стандартной величины практически не влияет на границу между начальным и основным участками развития струи. Основным фактором, влияющим на расположение границы между участками, является величина динамической вязкости топлива, так как ее значение, в зависимости от вида топлива, может изменяться в широком диапазоне (десятки раз), тогда как поверхностное натяжение изменяется в 1,3...1,5 раза.

Рассчитаем относительное время τ_{sA}/τ_s достижения струей альтернативного топлива стенки камеры сгорания. При проведении расчетов принимаем, что путь, проходимый струей традиционного и альтернативного топлива одинаков и равен расстоянию от распылителя форсунки до стенки камеры.

Запишем выражение для определения дальнобойности струи топлива на основном участке ее развития:

$$l_T = B_s^{0,5} \cdot \tau_s^{0,5}, \quad (10)$$

где $B_s = \frac{d_c \cdot U_0 \cdot W_e^{0,21} \cdot M^{0,16}}{(D_s \cdot \sqrt{2} \cdot \rho)}$, $D_s = 4...5$ – коэффициент [1, с. 134].

Время достижения топливной струей стенки камеры сгорания t_s запишем следующим образом:

$$\tau_s = l_T^2 \cdot \frac{D_s \cdot \sqrt{2} \cdot \rho}{d_c \cdot U_0 \cdot W_e^{0,21} \cdot M^{0,16}}. \quad (11)$$

После преобразований получим выражение:

$$\tau_s = l_T^2 \cdot D_s \cdot \sqrt{2} \cdot \rho_T^{0,37} \cdot \sigma_T^{0,37} \cdot \mu_T^{-0,32}. \quad (12)$$

Для альтернативного топлива:

$$\tau_{s_A} = l_T^2 \cdot D_s \cdot \sqrt{2} \cdot \rho_{T_A}^{0,37} \cdot \sigma_{T_A}^{0,37} \cdot \mu_{T_A}^{-0,32}. \quad (13)$$

Относительное время достижения вершиной струи топлива стенки камеры сгорания:

$$\frac{\tau_{s_A}}{\tau_s} = \left(\frac{\rho_{T_A}}{\rho_T} \right)^{0,37} \cdot \left(\frac{\sigma_{T_A}}{\sigma_T} \right)^{0,37} \cdot \left(\frac{\mu_{T_A}}{\mu_T} \right)^{-0,32}. \quad (14)$$

Как видно из (14), по мере увеличения γ_{T_A} и σ_{T_A} по сравнению с аналогичными величинами для летнего дизельного топлива и постоянном (мало изменяющемся) значением μ_{T_A} увеличивается время прохождения топливной струей расстояния от распылителя форсунки до стенки камеры сгорания. Это приводит к увеличению количества испарившегося топлива в объеме камеры сгорания, что оказывает влияние на динамику тепловыделения в начальной фазе процесса сгорания и увеличению «жесткости» работы двигателя. Если величина динамической вязкости топлива значительно уменьшается (например, этанол $\mu_{T_A} = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$, летнее дизельное топливо $\mu_T = 3,8 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$) время t_{sA} уменьшается в 2,5 раза, что, в конечном итоге, приводит к увеличению доли пленочного смесеобразования и «мягкой» работе двигателя.

Критериальное уравнение для отыскания средних диаметров капель топливной струи записывается в следующем виде

$$d_k = E_k \cdot d_c \cdot (\rho \cdot W_e)^{-0,266} \cdot M^{0,0733}, \quad (15)$$

где E – постоянный коэффициент, зависящий от конструкции форсунки и способа осреднения размеров капель.

Исходя из того, что конструкция форсунки остается неизменной при переходе на альтернативное топливо, коэффициент E не изменяется.

Распишем составляющие уравнения для отыскания среднего диаметра капель традиционного топлива

$$d_k = E_k \cdot d_c \cdot \left[\frac{\rho_a}{\rho_T} \cdot \left(\frac{B_c}{\mu f_c \cdot i_c \cdot \rho_T \cdot \tau_{впр}} \right)^2 \cdot d_c \cdot \frac{\rho_T}{\sigma_T} \right]^{-0,266} \cdot [\mu_T^2 \cdot \rho_T^{-1} \cdot d_c^{-1} \cdot \sigma_T^{-1}]^{0,0733} =$$

$$= B \cdot \rho_T^{0,4587} \cdot \sigma_T^{0,1927} \cdot \mu_T^{0,1466}, \quad (16)$$

где B – константа, включающая в себя все величины, неизменные для разных видов топлива.

Уравнение для расчета среднего диаметра капель альтернативного топлива:

$$d_{kA} = B \cdot \rho_{TA}^{0,4587} \cdot \sigma_{TA}^{0,1927} \cdot \mu_{TA}^{0,1466}. \quad (17)$$

Относительное изменение диаметра капель при переходе от традиционного топлива к альтернативному:

$$\frac{d_{kA}}{d_k} = \left(\frac{\rho_{TA}}{\rho_T} \right)^{0,4587} \cdot \left(\frac{\sigma_{TA}}{\sigma_T} \right)^{0,1927} \cdot \left(\frac{\mu_{TA}}{\mu_T} \right)^{0,1466}. \quad (18)$$

Как видно из выражения (18), на диаметр капель оказывают влияние плотность, поверхностное натяжение и вязкость топлива. По мере уменьшения γ_{TA} , σ_{TA} и μ_{TA} (переход к менее тяжелым и маловязким топливам) средний диаметр капель уменьшается. При применении в качестве топлива этилового спирта средний диаметр капли топлива уменьшается в 1,6 раза (по сравнению с летним дизельным топливом). Некоторое уменьшение дальности топливной струи (за счет уменьшения диаметра капель) несколько компенсирует ухудшение процессов испарения и смесеобразования капель топлива.

Наиболее интенсивно идут процессы испарения и смесеобразования распыленного топлива на основном участке развития струи (при малоизменяющемся угле раскрытия струи возрастает ее боковая поверхность по мере удаления от распылителя форсунки).

Критериальное уравнение определения угла раскрытия топливной струи на основном участке:

$$\gamma_T = 2 \cdot \arctg \left(F_s \cdot W_e^{0,32} \cdot M^{-0,07} \cdot \rho^{0,5} \right), \quad (19)$$

где $F_s = 0,009$ – постоянный коэффициент [2, с. 412].

$$\tg \left(\frac{\gamma_T}{2} \right) = F_s \cdot W_e^{0,32} \cdot M^{-0,07} \cdot \rho^{0,5}. \quad (20)$$

Распишем составляющие уравнения (20):

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\gamma_T}{2}\right) = F_s \cdot \left[\left(\frac{B_c}{\mu f_s \cdot i_c \cdot \rho_T \cdot \tau_{\text{вип}}} \right)^2 d_c \cdot \frac{\rho_T}{\sigma_T} \right]^{0,32} \cdot [\mu_T^2 \cdot \rho_T^{-1} \cdot d_c^{-1} \cdot \sigma_T^{-1}]^{0,07} \cdot \left(\frac{\rho_a}{\rho_T} \right)^{0,5} \quad (21)$$

После преобразований получим следующее уравнение:

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\gamma_T}{2}\right) = F_s \cdot C \cdot \rho_T^{-0,75} \cdot \sigma_T^{-0,25} \cdot \mu_T^{-0,14}, \quad (22)$$

где C – константа, включающая в себя все величины, неизменные для различных топлив.

Аналогично для струи альтернативного топлива запишем

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\gamma_{TA}}{2}\right) = F_s \cdot C \cdot \rho_{TA}^{-0,75} \cdot \sigma_{TA}^{-0,25} \cdot \mu_{TA}^{-0,14} \quad (23)$$

Относительное изменение угла рассеивания топливной струи при переходе от традиционного топлива к альтернативному

$$\frac{\operatorname{tg}\left(\frac{\gamma_{TA}}{2}\right)}{\operatorname{tg}\left(\frac{\gamma_T}{2}\right)} = \left(\frac{\rho_{TA}}{\rho_T} \right)^{-0,75} \cdot \left(\frac{\sigma_{TA}}{\sigma_T} \right)^{-0,25} \cdot \left(\frac{\mu_{TA}}{\mu_T} \right)^{-0,14} \quad (24)$$

При впрыскивании в цилиндр двигателя, например, маловязкого этилового спирта угол рассеивания топливной струи и ее боковая поверхность увеличиваются, что приведет к увеличению количества испарившегося топлива за период задержки воспламенения и более «мягкой» работе двигателя. Увеличение угла рассеивания топливной струи позволит увеличить число сопловых отверстий и интенсифицировать «закрутку» воздушного заряда, что, в конечном итоге, положительно отразится на топливной экономичности двигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лышевский А.С. Процессы распыливания топлива дизельными форсунками. М.: МАШГИЗ, 1963. 181 с.
2. Полевщиков А.С., Чувашев А.Н., Девятьяров Р.Р. Распыливание топлива и смесеобразование в цилиндре дизеля 2Ч10,5/12,0 при работе на этаноле с двойной системой топливоподачи // Сборник научных трудов международной конференции Двигатель 2010, посвященной 180-летию МГТУ им. Баумана Н. Э. М.: МГТУ им. Баумана Н. Э., 2010. С. 409–413.

CALCULATION AND THEORETICAL STUDY OF PHYSICAL PROPERTIES OF ALTERNATIVE FUEL (ETHANOL) AND CHARACTERISTICS OF INJECTION AND ATOMIZATION OF THE DIESEL 2CH10,5/12,0

Keywords: *injection, diesel, ethanol, fuel jet, the angle of deflection, physical properties, atomization.*

Annotation: *in this article the injection cylinder engine low-viscosity ethyl alcohol. This leads to the angle of dispersion of the fuel spray and its lateral surface, that leads to increase of evaporated fuel for ignition delay period and more «soft» work of the engine. Increasing the angle of dispersion of the fuel spray allows to increase the number of nozzle holes and intensify the «spin» of air charges that ultimately has a positive effect on fuel economy. The article contains the results of research conducted on the engine 2Ч10,5/12,0 when working on alternative fuels – ethanol. Presented calculation and theoretical study of physical properties of ethanol and characteristics of injection and atomization in this diesel.*

ЗОНОВ АНТОН ВАСИЛЬЕВИЧ – кандидат технических наук, доцент кафедры начертательной геометрии и черчения, Вятский государственный университет, Россия, Киров, (antonzonov@yandex.ru).

ZONOV ANTON VASILYEVICH – candidate of Technical Sciences, docent of the chair «Descriptive geometry and drawing», Vyatka State University, Russia, Kirov, (antonzonov@yandex.ru).

ПОЛЕВЩИКОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ – кандидат технических наук, доцент кафедры архитектуры и градостроительства, Вятский государственный университет, Россия, Киров, (polevshikov@vyatsu.ru).

POLEVSCHIKOV ALEXANDR SERGEEVICH – candidate of technical sciences, docent of the chair «Architecture and urban planning», Vyatka State University, Russia, Kirov, (polevshikov@vyatsu.ru).

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ ЗАГРУЗКИ МТА

Ключевые слова: вероятность, граф состояния, математический аппарат цепей Маркова, тракторный агрегат (МТА), методика.

Аннотация. В данной статье описывается методика определения баланса времени смены через за счет определения коэффициента использования времени смены τ с учетом вероятностного характера работы посевного агрегата. Модель технологического процесса (граф состояний) и математическое описание выполнено с использованием математического аппарата цепей Маркова.

Проблема оптимизации МТА является актуальной в силу ряда причин, и основная из них – это случайность процессов, протекающих во время работы системы в процессе выполнения технологических и технических операций. При использовании методик, позволяющих с максимально приближенной точностью определять вероятность отказов работы элементов комплекса, появляется возможность наиболее экономически обоснованного эксплуатационного резервирования.

Важнейшим эксплуатационным показателем агрегатов является производительность. Кроме сочетания $B_{p, \text{опт}}$ и $v_{p, \text{опт}}$, которые являются важными составляющими для обоснования производительности агрегата (1), определяющим является коэффициент использования времени смены τ .

$$W_q = B_p \cdot v_p \cdot \tau, \quad (1)$$

где W_q – производительность агрегата, $\text{м}^2/\text{с}$; τ – коэффициент использования времени смены, который определяется согласно ГОСТ 24055-88, ГОСТ 24059-80 из баланса времени смены [3, с. 6; 4, с. 7]

$$T_{\text{см}} = T_p + T_{\text{п}} + T_{\text{т}} + T_{\text{то}} + T_{\text{тн}} + T_{\text{х}} + T_{\text{етм}} + T_{\text{пм}} + T_{\text{пр}} \cdot n_{\text{пр}} + T_{\text{ер}} \cdot n_{\text{ер}} + \\ + (T_{\text{шт}} \cdot n_{\text{шт}} + T_{\text{еп}}) \cdot n_{\text{еп}} + T_{\text{ол}} + T_{\text{н}} + T_{\text{м}}, \quad (2)$$

где T_p – время основной работы, ч; $T_{\text{п}}$ – время, затрачиваемое на повороты, ч; $T_{\text{т}}$ – время на технологическое обслуживание, ч; $T_{\text{то}}$ – время

устранения технических отказов, ч; $T_{\text{тн}}$ – время устранения технологических неисправностей, ч; $T_{\text{пр}}$, $n_{\text{пр}}$ – время подготовки к переезду агрегата из бригады до поля и обратно, число таких переездов, ч; $T_{\text{х}}$ – время холостого хода агрегата при обработке загона, ч; $T_{\text{стм}}$ – время ежедневного технического обслуживания трактора и сельскохозяйственной машины, ч; $T_{\text{пн}}$ – время получения наряда, ч; $T_{\text{ер}}$, $n_{\text{ер}}$ – средняя продолжительность переезда до поля и обратно, число переездов, ч; $T_{\text{сп}}$, $n_{\text{сп}}$ – время переезда на другое поле, число переездов, ч; $T_{\text{пп}}$, $n_{\text{пп}}$ – время подготовки агрегата к переезду на другое поле (подготовка к работе после переезда), число таких переездов, ч; $T_{\text{ол}}$, $T_{\text{н}}$ – время на отдых и личные надобности, иные потери времени, ч; $T_{\text{м}}$ – время простоя по метеорологическим причинам, ч.

Интенсивности переходов агрегата из состояния в состояние определяются из выражения $\lambda_{ij}=1/T_{ij}$. Рассмотрим методику определения T_{ij} [9, с. 62].

Из перечисленных выше составляющих времени смены часть относится к элементам, не зависящим от параметров агрегатов, такие как $T_{\text{пн}}$, $T_{\text{ол}}$, $T_{\text{н}}$, они принимаются постоянными, и влияющим на технологический процесс, такие как $T_{\text{п}}$, $T_{\text{т}}$, $T_{\text{то}}$, $T_{\text{тн}}$ и другие. Так время поворотов $T_{\text{п}}$ будет зависеть от количества поворотов $n_{\text{п}}$ и их продолжительности $t_{\text{п}}$.

$$T_{\text{п}} = n_{\text{п}} \cdot t_{\text{п}}. \quad (3)$$

При этом количество поворотов $n_{\text{п}}$ будет напрямую зависеть от сменной производительности и длины гона L

$$n_{\text{п}} = \frac{W_{\text{см}}}{L \cdot B_{\text{п}}}. \quad (4)$$

При совершении поворота затрачиваемое время будет зависеть от способа движения, вида поворота и ширины захвата агрегата.

Продолжительность одного поворота будет равна

$$t_{\text{п}} = \frac{L_{\text{п}}}{v_{\text{п}}} = \frac{l_{\text{п}} + 2e}{v_{\text{п}}}, \quad (5)$$

где $L_{\text{п}}$ – общая длина поворота, м; $v_{\text{п}}$ – скорость агрегата при повороте; $l_{\text{п}}$ – длина поворота; e – длина выезда агрегата, которая определяется для беспетлевого поворота

$$e = a_{\text{е}} \cdot B_{\text{п}}, \quad (6)$$

где $a_{\text{е}}$ – поправочный коэффициент выезда агрегата.

Подставляя выражение (6) в (5), получим:

$$t_{\pi} = \frac{l_{\pi} + 2a_e \cdot B_p}{v_{\pi}}. \quad (7)$$

Продифференцировав выражение (3) с учетом выражений (4), (7), время холостых поворотов будет:

$$T_{\pi} = \frac{B \cdot T_p \cdot (l_{\pi} + 2a_e B_p)}{L \cdot B_p \cdot v_{\pi}}. \quad (8)$$

Время, затрачиваемое на технологическое обслуживание, определим исходя из выражения:

$$T_T = n_T \cdot (t_{\pi} + t_3 + t_o), \quad (9)$$

где n_T – количество обслуживаний за смену; t_{π} , t_3 , t_o – время, затрачиваемое для подъезда агрегата, загрузки и отъезда после загрузки соответственно, с.

Величину n_T определим из соотношения

$$n_T = \frac{n_{\text{тн}i} \cdot B_p \cdot v_p \cdot T_p \cdot \rho_{oi} \cdot \gamma_i}{V_{\text{тн}i} \cdot \rho_{ni}}, \quad (10)$$

где $V_{\text{тн}i}$ – объем i -го семенного бункера, м³; $n_{\text{тн}i}$ – количество семенных бункеров, шт; γ_i – плотность технологического материала, кг/м³; ρ_{ni} , ρ_{oi} – соответственно коэффициенты наполнения и опорожнения.

Время на подъезд и отъезд рассчитывается с учетом расстояний L_{π} и L_o и скоростей v_{π} и v_o :

$$t_{\pi} = \frac{L_{\pi}}{v_{\pi}} \quad (11)$$

или

$$t_o = \frac{L_o}{v_o}. \quad (12)$$

Время t_3 зависит от производительности W_3 загрузчиков или загрузочного устройства:

$$t_3 = \frac{V_{\text{тн}i} \cdot \gamma_i \cdot \rho_{ni}}{W_3 \cdot \rho_{oi}}. \quad (13)$$

Подставив полученные значения в (9) и условившись, что для данного типа агрегата $v_{\pi}/v_p = \varepsilon_{\pi} = \text{const}$, $v_o/v_p = \varepsilon_o \approx \text{const}$, получим:

$$T_T = n_{\text{тн}i} \cdot B_p \cdot T_p \cdot \left(\frac{\rho_{oi} \cdot \gamma_i}{V_{\text{тн}i} \cdot \rho_{ni}} \left(\frac{L_{\pi}}{\varepsilon_{\pi}} + \frac{L_o}{\varepsilon_o} \right) + \frac{v_p \cdot \gamma_i}{W_3} \right). \quad (14)$$

Количество времени, требуемое для устранения технических неисправностей будет зависеть от количества неисправностей $n_{\text{то}}$ за смену и средней продолжительности устранения одной неисправности $t_{\text{то}}$:

$$T_{\text{то}} = n_{\text{то}} \cdot t_{\text{то}}, \quad (15)$$

где $t_{\text{то}}$ – время на выполнение одного технического обслуживания.

При этом фактическая наработка агрегата на отказ и износ его механизмов зависят от продолжительности и объема выполненных работ. Поэтому наработку на отказ целесообразно определять с учетом средней длины $L_{\text{то}}$ пути между отказами, при которой:

$$n_{\text{то}} = \frac{v_p \cdot T_p}{B_p \cdot L_{\text{то}}}. \quad (16)$$

Средняя наработка на отказ с учетом ширины захвата отнесенной на один метр конструктивной ширины:

$$L_{\text{то}} = \frac{\beta \cdot l_{\text{то}}}{B_p}, \quad (17)$$

где β – коэффициент использования конструктивной ширины захвата; $l_{\text{то}}$ – наработка на отказ условного элемента на 1 метр захвата.

Подставив значения $n_{\text{то}}$ и $L_{\text{то}}$ в (15), получим:

$$T_{\text{то}} = \frac{B_p \cdot v_p \cdot T_p \cdot t_{\text{то}}}{\beta \cdot l_{\text{то}}}. \quad (18)$$

По аналогии с предыдущим выражением определим время устранения технологических неисправностей, представим в виде

$$T_{\text{тн}} = \frac{B_p \cdot v_p \cdot T_p \cdot t_{\text{тн}}}{\beta \cdot l_{\text{тн}}}, \quad (19)$$

где $t_{\text{тн}}$ – время устранения одного технологического отказа, с;

$l_{\text{тн}}$ – наработка на технологический отказ в расчете на 1 м конструктивной ширины захвата.

На основании анализа нормативных данных [5, с. 152; 8, с. 56] составляющие баланса времени смены $T_{\text{ет}}$, $T_{\text{ем}}$, $T_{\text{пр}}$, $T_{\text{пп}}$ можно представить посредством статистических зависимостей:

$$T_{\text{ет}} = a_{\text{ет}} \cdot N_e + b_{\text{ет}}, \quad (20)$$

$$T_{\text{ем}} = a_{\text{ем}} \cdot B_p \cdot v_p + b_{\text{ем}}, \quad (21)$$

$$T_{\text{пр}} = a_{\text{пр}} \cdot B_p \cdot v_p + b_{\text{пр}}, \quad (22)$$

$$T_{\text{пп}} = a_{\text{пп}} \cdot B_p \cdot v_p + b_{\text{пп}}, \quad (23)$$

где a и b – коэффициенты, выбираемые исходя из результатов экспериментальных исследований.

Значения $T_{\text{ер}}$ и $T_{\text{еп}}$ также могут быть выражены в функции $B \cdot V$. Время переезда $T_{\text{ер}}$ зависит от расстояния $l_{\text{ер}}$ до места работы и скорости $V_{\text{ер}}$ переезда и определяется из следующего равенства:

$$T_{\text{ер}} = \frac{l_{\text{ер}} \cdot (1 + a_{\text{ер}} \cdot B_p \cdot v_p)}{v_{\text{ер}}}, \quad (24)$$

Аналогично определяется время внутрисменных переездов

$$T_{\text{еп}} = \frac{l_{\text{еп}} \cdot (1 + a_{\text{еп}} \cdot B_p \cdot v_p)}{v_{\text{еп}}}, \quad (25)$$

где $l_{\text{еп}}$ – среднее расстояние между участками, м; $v_{\text{еп}}$ – допустимая скорость движения трактора, м/с.

Большинство вышеизложенных составляющих баланса времени смены имеют явно выраженный вероятностный характер изменения своего состояния, поэтому работу агрегата можно представить как случайный процесс, ход и исход которых зависит от многих случайных факторов. Для вычисления характеристик, определяющих эффективность работы МТА, строится вероятностная модель, для математического описания которой применяется математический аппарат Марковских случайных процессов [2, с. 38].

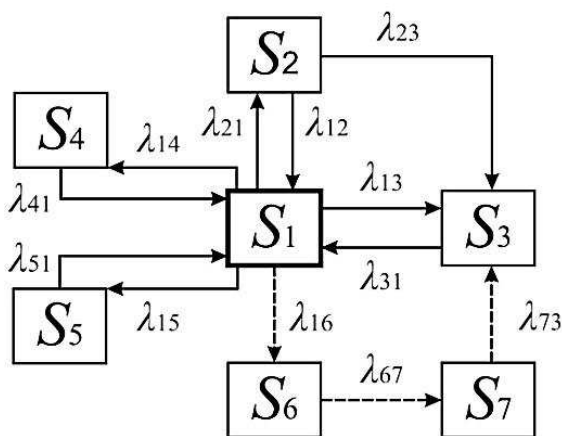


Рисунок 1 – Граф состояний посевного агрегата

На рисунке 1 представлен граф состояния работы посевного агрегата, представленный в виде сложной системы S , которая в последовательные моменты времени $t_1, t_2, \dots, t_n$ оказывается в тех или иных состояниях, ведя себя, например, так $S_7 \rightarrow S_3 \rightarrow S_1 \rightarrow S_5 \rightarrow S_1$. Здесь каждое состояние изображено в виде прямоугольника, а возможные переходы из состояния в состояние – в виде стрелки и обозначаются λ_{ij} [6, с. 9]. Достоинство графов заключено в простоте и наглядности изображаемого процесса. Одна из основных задач теории случайных графов – определить, при какой вероятности P будет проявлено некоторое свойство, которое присуще данному типу графа [7, с. 45].

Обозначим S_i^k событие, заключающееся в том, что после K шагов система находится в состоянии S_i . Процесс, происходящий в системе, представим как последовательность событий, в которой для каждого шага вероятность перехода из состояния S_i в любое S_j не зависит от того, когда и как система пришла в состояние S_i . Такая цепь событий называется Марковской. Опишем Марковскую цепь событий с помощью вероятностей состояний $P_i(S)$, полная группа которых для каждого номера шага K равна

$$P_1(K) + P_2(K) + \dots + P_n(K) = 1. \quad (26)$$

Пусть рассматриваемый агрегат имеет ряд дискретных состояний (1):

S_1 – агрегат работает; S_2 – производится поворот; S_3 – производится технологическое обслуживание (загрузка посевного материала, очистка рабочих органов и т.д.); S_4 – производится регулировка и устранение технологических неисправностей; S_5 – производится техническое обслуживание и устранение неисправностей; S_6 – подготовка к переезду; S_7 – переезд к месту работы, с поля на поле или к месту стоянки.

Предполагается, что в любой момент времени система S может перейти в то или иное состояние.

Пусть $P_i(t)$ – вероятность того, что в момент t система S будет находиться в состоянии S_i ($i=1\dots n$). При этом для любого момента времени сумма вероятностей состояний равна 1.

Определим вероятности состояний $P_1(t), P_2(t) \dots P_n(t)$ для любого времени t .

Предполагаем, что система S в момент времени t находится в состоянии S_i . За элементарно малый промежуток времени Δt система

из состояния S_i перейдет в состояние S_j с плотностью вероятности перехода λ_{ij}

$$\lambda_{ij} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_{ij}(\Delta t)}{\Delta t}, \quad (27)$$

где $P_{ij}(\Delta t)$ – вероятность того, что система, находящаяся в момент t в состоянии S_i , за время Δt перейдет из него в состояние S_j . Очевидно, при малом Δt , $P_{ij}(\Delta t) = \lambda_{ij}\Delta t$. Зная размеченный граф состояний (рис. 1), можно определить вероятности состояний $P_i(t)$ как функции времени. Эти вероятности удовлетворяют дифференциальным уравнениям Колмогорова [1, с. 124].

Найдем одно из вероятностных состояний, например, $P_5(t)$ (рис. 1), которое говорит о том, что в момент t система находится в состоянии S_5 . Придадим малое приращение Δt и найдем вероятность того, что в момент времени $t + \Delta t$ система будет находиться в состоянии S_5 . Это возможно в двух случаях: в первом, в момент t система была в состоянии S_5 , а за Δt не вышла из этого состояния; во втором, в момент t система была в состоянии S_1 , и за время Δt перешла из него в S_5 .

Вероятность первого варианта найдем как произведение вероятности $P_5(t)$ того, что в момент t система была в состоянии S_5 , на условную вероятность того, что, будучи в состоянии S_5 , система за время Δt не перейдет из него в S_1 , т.е. $(1 - \lambda_{51} \cdot \Delta t) \cdot P_5(t)$.

Применив ту же методику для остальных вероятностных состояний, мы получим аналогичные дифференциальные уравнения, которые будут объединены в общую систему (28). Для наглядности уберем аргумент записи t у функций P_i и запишем систему уравнений в виде:

$$\begin{aligned} \frac{dP_1}{dt} &= \lambda_{31} \cdot P_3 + \lambda_{21} \cdot P_2 + \lambda_{41} \cdot P_4 + \lambda_{51} \cdot P_5 - (\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14} + \lambda_{15} + \lambda_{16}) \cdot P_1 \\ \frac{dP_2}{dt} &= \lambda_{12} \cdot P_1 - (\lambda_{21} + \lambda_{23}) \cdot P_2; \quad \frac{dP_3}{dt} = \lambda_{23} \cdot P_2 - \lambda_{73} \cdot P_7 + \lambda_{13} \cdot P_1 + \lambda_{31} \cdot P_3; \\ \frac{dP_4}{dt} &= \lambda_{14} \cdot P_1 - \lambda_{41} \cdot P_4; \quad \frac{dP_5}{dt} = \lambda_{15} \cdot P_1 - \lambda_{51} \cdot P_5; \quad \frac{dP_6}{dt} = \lambda_{16} \cdot P_1 - \lambda_{61} \cdot P_6; \\ \frac{dP_7}{dt} &= \lambda_{67} \cdot P_6 - \lambda_{73} \cdot P_7. \end{aligned} \quad (28)$$

Эти уравнения вероятностей состояний называются уравнениями Колмогорова.

Задавая начальные вероятности P_i в момент $t = 0$ и решая систему (28), получим изменение системы во времени. При $t \rightarrow \infty$ система

выходит на стационарный режим функционирования, т.е. существуют финальные вероятности $P_i = \lim P_i(t)$.

При $t \rightarrow \infty$ дифференциальные уравнения переходят в систему алгебраических уравнений, из которых находим вероятности состояний P_i :

$$\begin{aligned} \lambda_{31} \cdot P_3 + \lambda_{21} \cdot P_2 + \lambda_{41} \cdot P_4 + \lambda_{51} \cdot P_5 - (\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14} + \lambda_{15} + \lambda_{16}) P_1 &= 0; \\ \lambda_{12} \cdot P_1 - (\lambda_{21} + \lambda_{23}) P_2 &= 0; \lambda_{23} P_2 - \lambda_{73} P_7 + \lambda_{13} P_1 + \lambda_{31} P_3 = 0; \\ \lambda_{14} \cdot P_1 - \lambda_{41} P_4 &= 0; \lambda_{15} P_1 - \lambda_{51} P_5 = 0; \lambda_{16} P_1 - \lambda_{61} P_6 = 0; \\ \lambda_{67} \cdot P_6 - \lambda_{73} P_7 &= 0. \end{aligned} \quad (29)$$

Вероятность пребывания агрегата в различных состояниях определяем

$$\begin{aligned} P_1 &= \left[\lambda_{31} \cdot A + \frac{\lambda_{21} \cdot \lambda_{12}}{\lambda_{21} + \lambda_{23}} - \lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{16} \right]^{-1}; P_2 = \frac{\lambda_{12} \cdot P_1}{\lambda_{21} + \lambda_{23}}; \\ P_3 &= P_1 \cdot A; P_4 = \frac{\lambda_{14} \cdot P_1}{\lambda_{41}}; P_5 = \frac{\lambda_{15} \cdot P_1}{\lambda_{51}}; P_6 = \frac{\lambda_{16} \cdot P_1}{\lambda_{61}}; P_7 = \frac{\lambda_{67} \cdot \lambda_{16} P_1}{\lambda_{73} \cdot \lambda_{61}}; \\ A &= \frac{\lambda_{23} \cdot \lambda_{12} \cdot \lambda_{61} + \lambda_{67} \cdot \lambda_{16} \cdot (\lambda_{21} + \lambda_{23}) + \lambda_{13} \cdot \lambda_{61} (\lambda_{21} + \lambda_{23})}{(\lambda_{21} + \lambda_{23}) \cdot \lambda_{61} \cdot \lambda_{31}}. \end{aligned} \quad (30)$$

Плотности вероятности перехода определим по следующим уравнениям [9]:

$$\begin{aligned} \lambda_{12} &= \frac{v_p}{L_{то}}, \lambda_{21} = \frac{1}{T_{то}}, \lambda_{24} = \frac{T_x}{T_p \cdot T_{то}}, \lambda_{14} = \frac{v_p}{L_r}, \lambda_{31} = \frac{1}{T_r}, \\ \lambda_{13} &= \frac{v_p}{L_r}, \lambda_{41} = \frac{1}{T_x}, \lambda_{43} = \frac{B \cdot v \cdot U}{v_i \cdot \gamma_i \cdot \rho_i}, \lambda_{45} = \frac{B \cdot v}{F_{п}}, \lambda_{56} = \frac{1}{T_{пп}}, \lambda_{61} = \frac{1}{T_{еп}}. \end{aligned} \quad (31)$$

Решая систему (30) с учетом (31), находим искомые вероятности P_i пребывания агрегата в различных состояниях.

Коэффициент использования времени смены τ определим через вероятность пребывания агрегата в рабочем состоянии

$$\tau = t_{p,3} \cdot P_1, \quad (32)$$

где $t_{p,r}$ – коэффициент регламентируемых затрат времени смены.

Выводы. Определение коэффициента использования времени смены, по схеме Марковских случайных процессов, позволяет учесть вероятностный характер условий эксплуатации агрегатов. Повышение производительности агрегата обеспечивается за счет более эффективного использования рабочего времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вентцель Е. С. Исследование операций. М.: Сов. радио, 1972. 542 с.
2. Вентцель Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров // Учеб. пособие для вузов. 2-е изд., стер. М.: Высш. шк., 2000. 383 с.
3. ГОСТ 24055-88 Методы эксплуатационно-технологической оценки. М.: Изд-во стандартов, 1988. 15 с.
4. ГОСТ 24059-88 Методы эксплуатационно-технологической оценки. М.: Изд-во стандартов, 1988. 10 с.
5. Зангиев А. А. Эксплуатация машинно-тракторного парка Текст. / А. А. Зангиев, А. В. Шпилько, А. Г. Левшин. М.: Колос С, 2008. 320 с.
6. Косолапов В. В., Скороходов А. Н. Определение эффективности работы посевного агрегата / В. В. Косолапов, А. Н. Скороходов // Сельский механизатор. 2012. № 10. С. 9–10.
7. Новожилов А. И. Применение теории графов к формированию технолого-технических ресурсов в растениеводстве. /А. И. Новожилов, А. В. Пасин, Л. А. Кистанова, А. Ю. Еремин, А. А. Потоцкий, Е. А. Лукашин //Вестник ФГОУ ВПО «МГФУ им. В.П. Горячкина». 2010. С.43–46.
8. Панин А. В. Оптимизация технологических процессов в зерновом производстве / А. В. Панин // Экономика АПК: проблемы и решения : сб. труд, междунар. науч.-практич. конф. ВНИИЭТУСХ. 4.2. М.: Восход-А, 2005. С. 58–61.
9. Скороходов А. Н. Обоснование методов повышения эффективности использования технологических комплексов в растениеводстве): дис. д.т.н: 05.20.01 / А. Н. Скороходов. М.: 1997. 348 с.

JUSTIFICATION FOR OPTIMAL LOADING OF MTA

Keywords: machine-tractor aggregate (MTA), graph of the statement, probability, mathematical apparatus of chains by Markov, method.

Annotation. This article describes the method of determining the balance of shifts time by determining the coefficient of time-use taking into account the probabilistic nature of the seeder. The model of the process (graph of the statement), and the mathematical description is made with the use of the mathematical apparatus of chains by Markov.

КОСОЛАПОВ ВЛАДИМИР ВИКТОРОВИЧ – старший преподаватель кафедры «Тракторы и автомобили», Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (Vladimir.kosolapov@mail.ru).

KOSOLAPOV VLADIMIR VIKTOROVICH – senior lecturer of the chair «Tractors and Automobiles», Nizhny Novgorod State Engineering and Economic Institute, Russia, Knyaginino, (Vladimir.kosolapov@mail.ru).

КОСОЛАПОВА ЕЛЕНА ВАЛЕНТИНОВНА – старший преподаватель кафедры «Технический сервис», Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (K-art-inka@yandex.ru).

KOSOLAPOVA ELENA VALENTINOVNA – senior lecturer of the chair «Technical Service», Nizhny Novgorod State Engineering and Economic Institute, Russia, Knyaginino, (K-art-inka@yandex.ru).

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА ИЗ ОТХОДОВ И СЫРЬЯ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Ключевые слова: биогазовая установка, гидродинамический теплогенератор-деструктор, отходы, субстрат, технология, эффект кавитации.

Аннотация. Рассматривается использование эффекта кавитации для подготовки субстрата – материала для получения биогаза из отходов и сырья сельскохозяйственного производства во вновь разработанной биогазовой установке, в которой применён также вновь созданный гидродинамический теплогенератор-деструктор.

По статистическим данным в России, общее количество органических отходов сельского хозяйства ежегодно составляет 773 млн т, из которых можно получить 66 млрд куб.м. биогаза или около 110 млрд кВт·ч электроэнергии. Большая часть отходов приходится на АПК – стебли, навоз, солома. При этом ежегодный ущерб от отходов агропромышленного комплекса оценивается в 450 млрд рублей. Например, загрязнение рек и озёр сточными водами. К тому же в России большая часть почв – это малоурожайные почвы, требующие интенсивного внесения удобрений.

Таким образом, развитие биогазовой промышленности должно идти в двух направлениях: создание крупных биоэнергетических станций и создание фермерских биогазовых установок, что должно стимулировать развитие биогазовых технологий.

Использование новых технологий позволит решить в сельской местности:

- проблему отходов;
- помочь в энергообеспечении и энергосбережении;
- повысить плодородность почв, а соответственно, и урожай, что значительно увеличит рентабельность установок и сократит сроки окупаемости.

Биогазовая установка – это элемент современного, безотходного производства во многих областях сельского хозяйства и пищевой промышленности.

Основа любой биогазовой установки – биореактор. К его конструкции предъявляются достаточно жесткие требования. Так, корпус должен быть прочным, при абсолютной герметичности стенок. Обязательны хорошая теплоизоляция стенок и их способность надежно противостоять коррозии. При этом должна быть предусмотрена возможность загрузки и опорожнения реактора, а также доступ к его внутреннему пространству для обслуживания [1, с. 8].

Технологический процесс осуществляется следующим образом. Субстрат из животноводческого помещения поступает в емкость 1 для предварительной подготовки, далее фекальным насосом субстрат циркулирует по замкнутому контуру через деструктор 2.

Специально спроектированный деструктор 2 позволяет создавать в его полости эффект кавитации, разрушительная сила которой используется для придания исходному сырью однородной и гомогенной консистенции.

Под воздействием направленной и управляемой кавитации в биологическом сырье рвутся сложные связи волокон органических веществ на молекулярном уровне. Как следствие этого процесса, дисперсность биологического сырья значительно увеличивается, и его частицы уменьшаются в размерах. Таким образом, штаммам бактерий, участвующих в процессе образования биогаза, создаются более благоприятные условия для разложения биогенных материалов благодаря разрушению неоднородности их структуры и, соответственно, увеличения площади покрытия бактериями биологического сырья.

После подготовки загружают в реактор предварительного брожения 3, где в течение 2...3 суток происходит предварительное брожение продукта, при этом нагрев на данной стадии не нужен, что позволяет экономить.

Одновременно перемешивающим устройством субстрат передвигается в метантенк 4, где осуществляется анаэробное сбраживание.

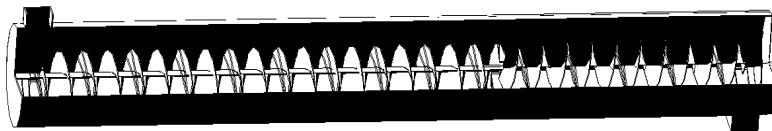


Рисунок 1 – Спиральное перемешивающее устройство

Использование спирального перемешивающего устройства обусловлено вязкостью субстрата, а также длиной реактора. При перемещении, в котором довольно трудно использовать другие типы перемешивающих устройств.

Биогаз, образующийся в процессе брожения, поступает в газгольдер и далее к потребителю. Для нагрева навоза до температуры брожения и поддержания теплового режима в метантенке применяют теплообменник, через который протекает горячая вода, нагреваемая в котле [3, с. 24; 4, с. 42]. Сброженный навоз выгружают в навозохранилище 5 и далее используют в качестве удобрения на полях.

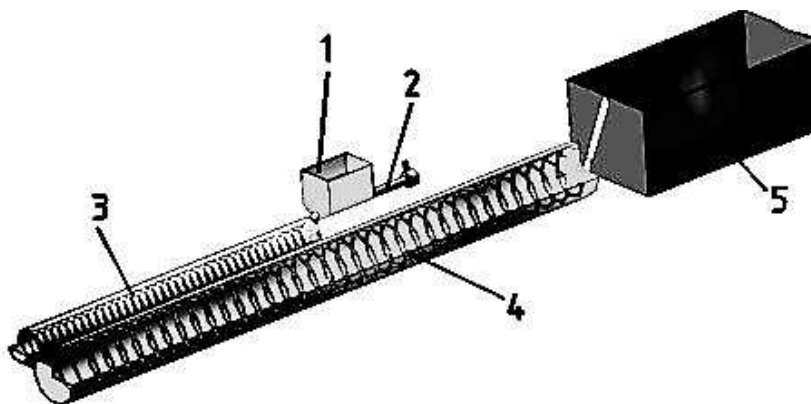


Рисунок 2 – Биогазовая установка

Биогаз успешно применяется как топливо. Его можно сжигать в горелках отопительных установок, водогрейных котлов, газовых плит, использовать в холодильных установках абсорбционного типа, в инфракрасных излучателях, в автотракторных двигателях, в газовом цикле Отто (с искровым зажиганием) и газодизельном цикле (с впрыскиванием небольшой дозы запального дизельного топлива). Карбюраторные двигатели легко переводятся на газ: достаточно лишь заменить карбюратор на смеситель.

Одновременно с получением биогаза метановое сбраживание навоза обеспечивает его дезодорацию, дегельминтизацию, уничтожение способности семян сорных растений к всхожести, перевод удобрительных веществ в легкоусвояемую растениями минеральную форму. При этом питательные (для растений) вещества – азот, фосфор и калий – практически не теряются.

Для нормального протекания брожения необходима слабощелочная реакция среды ($pH = 6,7 \dots 7,6$). Расщепление органики на отдельные составляющие и превращение в метан может проходить лишь во влажной среде, поскольку бактерии могут перерабатывать вещества только в растворенном виде. В этой связи брожение твердых субстратов должно происходить с добавлением воды.

Биореактор является газонепроницаемым, полностью герметичным резервуаром, теплоизолированным слоем утеплителя. Внутри биореактора поддерживается фиксированная температура, необходимая для жизнедеятельности микроорганизмов. Подогрев биореактора осуществляется теплой водой. Система подогрева – это сеть трубок, находящихся на внутренней стенке поверхности биореактора, в котором происходит образование газа из субстратов[2, с. 84].

Биогазовая установка является источником товарной продукции:

- тепловой энергии – от сжигания биогаза;

- электрической энергии – 1 м^3 биогаза позволяет выработать $2 \dots 3 \text{ кВт}$ электроэнергии;

- газ–топливо для автотранспорта;

- высококачественные удобрения – экологически чистые, лишённые нитратов, семян сорняков, болезнетворной микрофлоры. (Расход этих удобрений для обработки 1 га земли в $10 \dots 20$ раз меньше, чем необработанного навоза, при повышении урожайности на $30 \dots 40 \%$).

Биогазовая установка избавляет от экологических проблем, поскольку предотвращает выброс метана в атмосферу, сокращает или позволяет отказаться от применения химических удобрений.

Биогаз, полученный в собственной ферме или подворье, если не полностью, то хотя бы частично может обеспечить потребности сельских жителей, владельцев дачных и садовых участков в топливе и электроэнергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баадер В., Доне Е., Бренндерфер М. Биогаз: теория и практика. (Пер. с нем. М.И. Серебряного). М.: Колос. 1982. 148 с.
2. Ковалев Н.Г. Глазков И.К. Проектирование систем утилизации навоза на комплексах М.: Агропромиздат. 1989. 160 с.
3. Оболенский Н.В., Крайнов, Ю.Е. Гидродинамический источник теплоты. «Механизация и электрификация сельского хозяйства». 2012. № 1. С. 24–25.
4. Осокин В.Л. Результаты экспериментально-теоретических исследований по разработке стенда испытаний подогревателей воды. Княгинино: НГИЭИ, 2011. 142 с.

TECHNOLOGY OF BIOGAS PRODUCTION FROM WASTE AND ROW MATERIAL IN AGRICULTURAL PRODUCTION

Keywords: *technology, biogas plant, substrate, heat hydrodynamic heat generator-destructor, the effect of cavitation.*

Annotation. *Article considers the use of cavitation effect to the preparation of substrate – material for biogas from waste and raw materials of agricultural production in the newly developed biogas plant , in which the newly created hydrodynamic heat generator-destructor is also applied.*

КРАЙНОВ ЮРИЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ – ассистент, Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (Krainov24@mail.ru).

KRAYNOV YURY EVGENIEVICH – the senior lecturer of the chair «Technical service», Nizhny Novgorod State Engineering and Economic Institute, Russia, Knyaginino, (Krainov24@mail.ru).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА И ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРЕБРЕНИЯ ОТ ПАРАМЕТРОВ РЕБРА МИНЖС

Ключевые слова: индукционный нагреватель жидких сред, спирально-винтовое ребро, тепловой поток, теплопроводность, эффективность оребрения.

Аннотация. Приводятся расчетные математические выражения эффективности оребрения и теплового потока, отводимого ребром модернизированного индукционного нагревателя жидких сред.

Спирально-винтовое ребро (рис. 1) представляет собой сложный трехмерный объект.

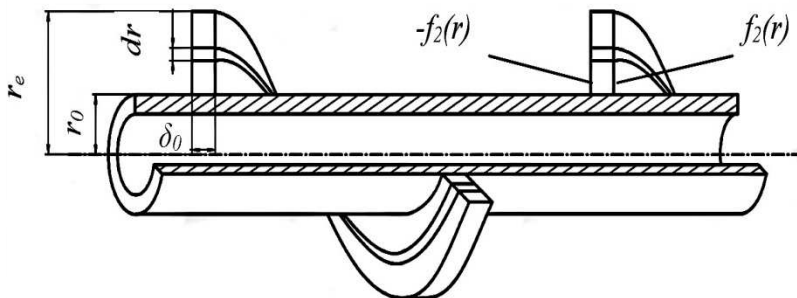


Рисунок 1 – спирально-винтовое ребро прямоугольного профиля

Для упрощения решения задачи теплообмена его можно представить в виде совокупности последовательно соединенных радиальных колец. Таким образом, мы сводим решение задачи к рассмотрению двухмерной математической модели.

Обобщенное дифференциальное уравнение теплопроводности радиального ребра [1, с. 98]. Одно кольцо оребрения представлено на рисунке 2.

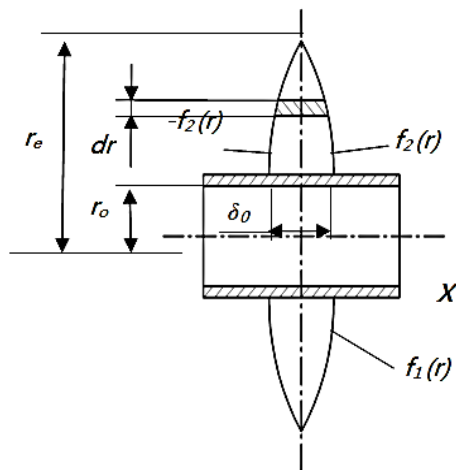


Рисунок 2 – Радиальное ребро произвольного профиля

Согласно литературе [1, с. 98], здесь введены следующие обозначения. Элементарная площадь поперечного сечения ребра $dS = f_1(r)dr$. Профиль ограничен двумя симметричными кривыми $y = f_2(r)$ и $y = -f_2(r)$. Поэтому $f_1(r) = 2f_2(r)$. Обозначим через Q температуру ребра, которая является функцией r .

Тепловой поток в радиальном направлении через элементарную площадку ds равен:

$$dW = j_r \cdot dS .$$

Плотность теплового потока j :

$$j_r = -\lambda_p \frac{dQ}{dr} .$$

$W(r)$ тепловой поток в ребре на расстоянии r от оси X равен:

$$W(r) = j_r \cdot 2\pi \cdot dx .$$

В «нашей» модели $dx = 2 f_2(r)$.

И получим выражение для $W(r)$:

$$W(r) = -\lambda_p \frac{dQ}{dr} \cdot 2\pi r \cdot 2f_2(r).$$

Тепловой поток, пересекающий границу $r+dr$, определяется, тем же выражением за исключением значения аргумента.

В единицу времени в элементе ребра dr за счет теплопередачи в ребре накапливается тепловая энергия:

$$dW = \lambda_p \frac{d}{dr} \left[(2\pi r) \cdot 2f_2(r) \frac{dQ}{dr} \right] dr, \quad (1)$$

где λ_p – коэффициент теплопроводности.

Это выражение для не зависящего от времени (стационарного) режима можно приравнять к тепловому потоку, покидающему элемент путем конвекции:

$$dq = 2\alpha(2\pi dr)Q, \quad (2)$$

где α – коэффициент теплоотдачи.

$$4\pi\lambda_p \frac{d}{dr} \left(rf_2(r) \frac{dQ}{dr} \right) = 4\pi\alpha r Q.$$

Это уравнение можно представить в виде:

$$\lambda_p \left(f_2(r) \frac{dQ}{dr} + r \frac{df_2}{dr} \cdot \frac{dQ}{dr} + rf_2(r) \frac{d^2Q}{dr^2} \right) = \alpha r Q$$

или

$$\lambda_p \left[f_2(r)r \frac{d^2Q}{dr^2} + f_2(r) \frac{dQ}{dr} + r \frac{df_2(r)}{dr} \frac{dQ}{dr} \right] = \alpha Q r. \quad (3)$$

Для радиального ребра прямоугольного профиля, контур профиля имеет вид:

$$f_2(r) = \frac{\delta_0}{2} ,$$

где δ_0 – толщина ребра и ее производная равна нулю. Подставляя $f_2(r)$ и её производную в (3), получаем:

$$\frac{1}{2} \lambda_p \delta_0 \left[\frac{dQ}{dr} + r \frac{d^2 Q}{dr^2} \right] = \alpha Q r .$$

Это уравнение удобно представить в виде:

$$r^2 \frac{d^2 Q}{dr^2} + r \frac{dQ}{dr} - m^2 r^2 Q = 0 , \quad (4)$$

где $m = (2\alpha / \lambda_p \delta_0)^{1/2}$.

Окончательно представим:

$$\frac{d^2 Q}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dQ}{dr} - m^2 Q = 0 . \quad (5)$$

Уравнение (5) – модифицированное дифференциальное уравнение Бесселя [2, с. 278]. Его общее решение определяется соотношением:

$$Q = C_1 I_0(mr) + C_2 K_0(mr) . \quad (6)$$

Произвольные постоянные C_1 и C_2 вычисляются с помощью граничных условий:

$$\text{При } r = r_0 \quad Q = Q_0 ; \quad (7)$$

$$\text{При } r = r_e \quad \frac{dQ}{dr} = 0 . \quad (8)$$

Подставив эти граничные условия в (5), получим два уравнения для определения C_1 и C_2 :

$$Q_0 = C_1 I_0(mr_0) + C_2 K_0(mr_0) ;$$

$$0 = C_1 I_1(mr_e) - C_2 K_1(mr_e) .$$

Вычислив C_1 и C_2 и подставив их в (5), получим зависимость для распределения температурного напора по радиусу:

$$Q = \frac{Q_0 [K_1(mr_e)I_0(mr) + I_1(mr_e)K_0(mr)]}{I_0(mr_0)K_1(mr_e) + I_1(mr_e)K_0(mr_0)}. \quad (9)$$

При $r = r_0$ (9), разумеется, дает $Q = Q_0$.

Тепловой поток через основание ребра определяется по общей формуле

$$q_0 = -2\pi\lambda_P r_0 \delta_0 \left. \frac{dQ}{dr} \right|_{r=r_0}.$$

Дифференцируя (9), вычисляя производную при $r = r_0$ и подставляя результат в предыдущее соотношение, получаем:

$$q_0 = 2\pi r_0 \delta_0 \lambda_P m Q_0 \left[\frac{I_1(mr_e)K_1(mr_0) - K_1(mr_e)I_1(mr_0)}{I_0(mr_0)K_1(mr_e) + I_1(mr_e)K_0(mr_0)} \right]. \quad (10)$$

Тепловой поток, передаваемый идеально проводящим ребром $q_{id} = 2\pi(r_e^2 - r_0^2)\alpha Q_0$. Следовательно, эффективность ребра:

$$\eta = \frac{2\pi r_0 \delta_0 \lambda_P m \theta_0}{2\pi(r_e^2 - r_0^2)\alpha \theta_0} \left[\frac{I_1(mr_e)K_1(mr_0) - K_1(mr_e)I_1(mr_0)}{I_0(mr_0)K_1(mr_e) + I_1(mr_e)K_0(mr_0)} \right]. \quad (11)$$

Учитывая, что $m^2 = 2\alpha / \lambda_P \delta_0$, запишем предыдущее соотношение в виде

$$\eta = \frac{2r_0}{m(r_e^2 - r_0^2)} \left[\frac{I_1(mr_e)K_1(mr_0) - K_1(mr_e)I_1(mr_0)}{I_0(mr_0)K_1(mr_e) + I_1(mr_e)K_0(mr_0)} \right]. \quad (12)$$

Определение площади спирально-винтового ребра. Для этого используем цилиндрическую систему координат:

$$\vec{r} = \vec{r}(\rho, \varphi, z),$$

$\vec{r}$ – радиус вектор точки, принадлежащий ребру.

В общем случае:

$$d\vec{r} = d\rho \cdot \vec{e}_\rho + \rho d\varphi \cdot \vec{e}_\varphi + dz \cdot \vec{e}_k.$$

Для точек, находящихся на ребре, существует связь между dz и $d\varphi$:

$$dz = \frac{h}{2\pi} \cdot d\varphi.$$

Тогда для $d\vec{r}$ имеем:

$$d\vec{r} = d\rho \cdot \vec{e}_r + \left(\rho \cdot \vec{e}_\varphi + \frac{h}{2\pi} \cdot \vec{e}_k \right) d\varphi$$

и для элементарной площади имеем:

$$\begin{aligned} ds &= \left[\vec{e}_r \left(\rho \cdot \vec{e}_\varphi + \frac{h}{2\pi} \cdot \vec{e}_k \right) \right] d\rho d\varphi = \left| \rho [\vec{e}_r \cdot \vec{e}_\varphi] + \frac{h}{2\pi} [\vec{e}_r \cdot \vec{e}_k] \right| d\rho d\varphi = \\ &= \left| \rho \cdot \vec{e}_k - \frac{h}{2\pi} \vec{e}_\varphi \right| d\rho d\varphi, \end{aligned}$$

где $\left[\vec{e}_r \left(\rho \cdot \vec{e}_\varphi + \frac{h}{2\pi} \cdot \vec{e}_k \right) \right]$ – векторное произведение.

Соответственно, для ds получим:

$$ds = \sqrt{\left(\frac{h}{2\pi} \right)^2 + \rho^2} d\rho d\varphi.$$

и для площади ребра, приходящейся на шаг винта, имеем:

$$s = 2\pi \int_{R_1}^{R_2} \sqrt{\left(\frac{h}{2\pi} \right)^2 + \rho^2} d\rho.$$

Проинтегрировав выражение, получим:

$$s = \pi \left(\rho \sqrt{\left(\frac{h}{2\pi} \right)^2 + \rho^2} + \left(\frac{h}{2\pi} \right)^2 \ln \left(\rho + \sqrt{\left(\frac{h}{2\pi} \right)^2 + \rho^2} \right) \right) \Bigg|_{R_1}^{R_2}.$$

Тогда площадь спирально-винтового ребра составит:

$$s = \pi \left(R_2 \sqrt{\left(\frac{h}{2\pi} \right)^2 + R_2^2} - R_1 \sqrt{\left(\frac{h}{2\pi} \right)^2 + R_1^2} + \left(\frac{h}{2\pi} \right)^2 \ln \frac{R_2 + \sqrt{\left(\frac{h}{2\pi} \right)^2 + R_2^2}}{R_1 + \sqrt{\left(\frac{h}{2\pi} \right)^2 + R_1^2}} \right). \quad (13)$$

Эффективность теплопередачи ребра определяется, в частности, его площадью. В этом смысле часть спирали, приходящейся на шаг винта, эквивалентна по своему тепловому действию радиальному ребру, умноженному на фактор:

$$\gamma = s / \pi (R_2^2 - R_1^2).$$

Вывод. Для расчета эффективности оребрения η спирально-винтового ребра следует использовать выражение (12). Тепловой поток q_0 , отводимый ребром, определяется выражением (10), умноженным на коэффициент γ .

ЛИТЕРАТУРА

1. Керн Д., Краус А. Развитые поверхности теплообмена. М.: Издательство «Энергия», 1977. 464 с.
2. Янке Е., Эмде Ф., Леш Ф. Специальные функции. Формулы графики. Таблицы. М.: Издательство «Наука», 1968. 344 с.

DETERMINATION OF THE DEPENDENCY OF HEAT FLOW AND EFFECTIVENESS OF FINNING ON PARAMETERS OF MINZHS RIB

Keywords: *induction heater of liquids, spiral rib, thermal conductivity, heat flow, the efficiency of the finning.*

Annotation. *The article contains calculated mathematical expressions of efficiency finning and heat flow led by a rib of upgraded induction heater of liquids.*

МИРОНОВ ЕВГЕНИЙ БОРИСОВИЧ – преподаватель кафедры технического сервиса, Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (mironov-e@mail.ru).

MIRONOVEVGENIY BORISOVICH – lecturer of the chair «Technical service», Nizhny Novgorod State Engineering and Economic Institute, Russia, Knyaginino, (mironov-e@mail.ru).

СЕПАРАЦИЯ СЛАБОПРОВОДЯЩИХ СУСПЕНЗИЙ В БЕГУЩЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Ключевые слова: очистка, сепарация, суспензия, электрическое поле, электрод.

Аннотация. *Представлены результаты экспериментальных исследований по сепарации подсолнечного масла в бегущем электрическом поле. Определены параметры системы напряжений для питания электродных систем сепараторов периодического и непрерывного действия.*

Решение народно-хозяйственной задачи повышения эффективности очистки и сепарации жидких продуктов агропромышленного производства включает в себя поиск новых и совершенствование существующих методов и технических средств очистки и сепарации слабопроводящих суспензий. К таким жидкостям относятся всевозможные растительные масла, животные жиры, их растворы, моторные масла, углеводородные топлива, биотоплива растительного происхождения, трансформаторное масло и др. Все эти продукты представляют собой сложные гетерогенные системы на основе слабопроводящей жидкости. Очистка нефтепродуктов направлена на удаление сопутствующих веществ, которые снижают эксплуатационные показатели технических жидкостей, масел и топлив. Из растительных масел удаляют как пищевые компоненты, которые на этапе сохранения окисляются и вызывают помутнение, дополнительные привкусы и запахи, снижающие потребительские свойства продукта, так и непищевые примеси.

Один из путей повышения эффективной очистки и сепарации жидких продуктов – применение электрических методов разделения дисперсных систем. В основу электросепарации положено осаждение взвешенных частиц на электроды под действием электрического поля. Этот метод имеет наибольшую эффективность для очистки неполярных жидкостей, диэлектрические свойства которых дают возможность подавать высокое напряжение на электроды [5, с.5].

Предшествующие теоретические исследования показали, что бегущее электрическое поле, созданное многофазной системой электродов, позволяет существенно расширить спектр применения электрических средств очистки и сепарации слабопроводящих суспензий благодаря дополнительной силе, которая действует на частицы в бегущем поле. Эта сила двигает частицы вдоль рядов электродов и позволяет не только транспортировать их в зоны выгрузки при очистке жидкостей в устройствах непрерывного действия, но и разделять частицы по признакам электрофизических свойств благодаря использованию двух полей разной частоты, бегущих встречно [3, с. 44].

Целью работы является экспериментальное определение параметров системы напряжений для питания электродных систем сепараторов периодического и непрерывного действия.

Исследования проводились на экспериментальной установке, состоящей из многофазного высоковольтного источника питания переменного тока и камеры (рис. 1). Источник питания включает в себя двухфазный генератор регулируемой частоты с произвольным сдвигом фаз, усилитель и повышающие трансформаторы. В качестве генератора использовался персональный компьютер с программными средствами «Авангард», которые позволили осуществить функции низкочастотного двухканального генератора в диапазоне частот от 0 до 20 кГц. Исходные сигналы генератора поступают на два канала звуковой карты компьютера. Сигнал одного из каналов может произвольно сдвигаться по фазе относительно другого. Амплитуда сигнала регулируется и не зависит от частоты. Таким образом, с помощью персонального компьютера реализовывались функции генератора и фазовращателя. Симметричная трехфазная и четырехфазная системы напряжений были получены от несимметричной двухфазной с помощью трансформаторов. При запуске одновременно двух генераторов (повторный запуск программы) можно получить независимые сигналы разных частот, что дает возможность создания двух встречно бегущих полей.

Полученное многофазное напряжение подавалось на электроды 2 камеры (рис. 1). Для каждой из систем напряжений рассматривались две схемы подачи напряжения: со сдвигом фаз между потенциалами противоположных электродов и без сдвига.

В системе многофазных электродов на частицу суспензии действует сила со стороны пульсирующего поля, которая движет частицы в ячейки-накопители, и одновременно со стороны бегущего поля, которая движет частицы вдоль рядов электродов. Эти силы имеют одинаковый порядок, поэтому для исследования процесса очистки в экспериментальной установке между рядами электродов устанавливались

тонкие диэлектрические перегородки 4, как показано на рисунке 1. Такие перегородки не позволяют частицам задерживаться в ячейках-накопителях 3. Исследование влияния пульсирующего поля проводилось без таких перегородок, причем отбор проб осуществлялся в центральной области камеры, а бегущего поля – с перегородками и отбор проб осуществлялся в крайней области камеры со стороны движения частиц.

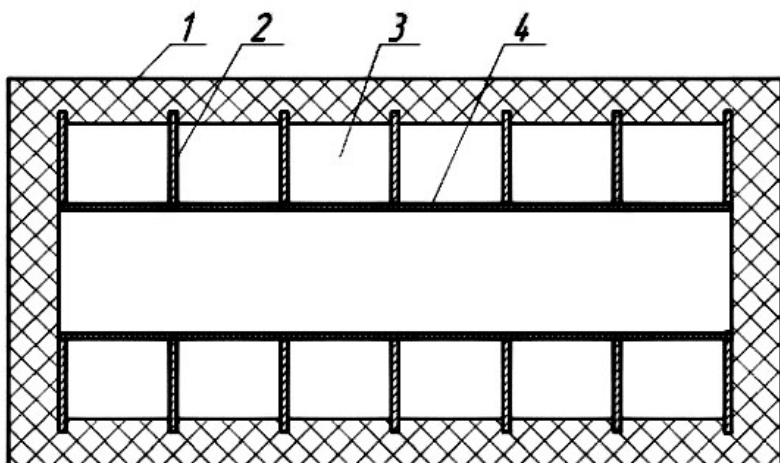


Рисунок 1 – Конструкция камеры: 1 – корпус; 2 – электроды; 3 – ячейка-накопитель частиц; 4 – диэлектрическая перегородка

Для проведения экспериментальных исследований были выбраны электродные системы с отношением расстояния между рядами электродов l к расстоянию между электродами в ряду h (l/h), которые отвечают максимальной силе: $l/h = 0,3$ – для трехфазной системы без сдвига фаз; $l/h = 1$ – для трехфазной системы со сдвигом фаз; $l/h = 0,5$ – для четырехфазной системы без сдвига фаз; $l/h = 1$ – для четырехфазной системы со сдвигом фаз [4, с.81]. Расстояние между электродами в ряду составляло $h = 1$ см. Напряжение на электродах устанавливалось таким, чтобы напряженность поля во всех случаях была одинаковой и составляла 5 кВ/см. Напряженность определялась по результатам математического моделирования поля двухрядных систем пластинчатых электродов методом комплексного потенциала [2, с.117].

В качестве критерия оценки качества очистки применен показатель «степень очистки», а сепарации – «коэффициент разделения». Эти показатели рассчитывались по формуле:

$$C = \frac{100(X_1 - X_2)}{X_1}, \quad (1)$$

где C – степень очистки (коэффициент разделения), %; X_1 – массовое содержание частиц взвеси в суспензии до очистки или сепарации, %; X_2 – массовое содержание частиц взвеси в суспензии после очистки или сепарации, %.

Исследования процесса очистки в пульсирующем и бегущем полях проводились для суспензии подсолнечного шрота в подсолнечном масле. Влажность шрота составляла 10 %. При такой влажности удельная электропроводность частиц шрота составляет $1,4 \cdot 10^{-7}$ См/м, диэлектрическая проницаемость – $5,3 \cdot 10^{-11}$ Ф/м [1, с.173]. Для данной суспензии угловая частота, которая отвечает максимальной силе в бегущем электрическом поле, равняется 1256 рад/с [1, с.173].

Результаты экспериментальных исследований процесса очистки в пульсирующем электрическом поле (рис. 2) показали, что наиболее эффективно процесс проходит в трехфазных электродных системах при отсутствии сдвига фаз между потенциалами противоположных электродов.

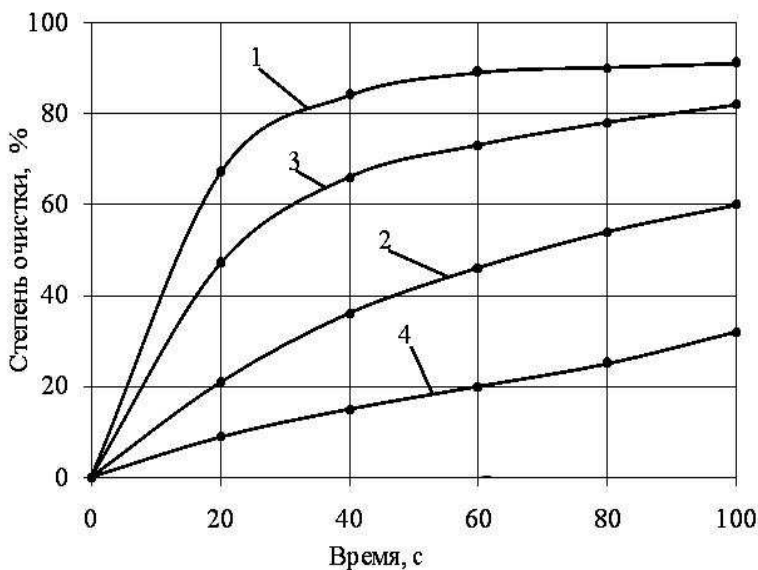


Рисунок 2 – Динамика очистки подсолнечного масла от шрота в пульсирующем поле: 1 – трехфазная система без сдвига фаз;

2 – трехфазная система со сдвигом фаз; 3 – четырехфазная система без сдвига фаз; 4 – четырехфазная система со сдвигом фаз

Очистка подсолнечного масла в бегущем поле наиболее эффективна в четырехфазных системах электродов (рис. 3). При сравнении графических зависимостей рисунка 2 и рисунка 3 очевидно, что скорость очистки в пульсирующем поле превышает скорость в бегущем поле. Это объясняется меньшим расстоянием, которое требуется пройти частицам для того чтобы покинуть зону очистки.

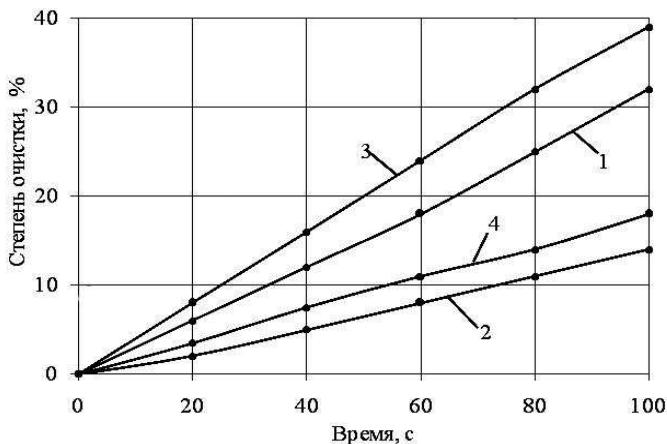


Рисунок 3 – Динамика очистки подсолнечного масла от шрота в бегущем поле: 1 – трехфазная система без сдвига фаз; 2 – трехфазная система со сдвигом фаз; 3 – четырехфазная система без сдвига фаз; 4 – четырехфазная система со сдвигом фаз

Для увеличения силы, действующей на частицы в бегущем поле, можно уменьшать размеры межэлектродной области пропорционально уменьшая величину напряжения. Поэтому исследования процесса разделения частиц шрота влажностью 6% и 14% проводились в камере с цилиндрическими электродами диаметром 0,5 мм при $l/h = 0,5$ и $h = 5$ мм. Содержание шрота каждой из фракций составляло 0,25 %. Удельная электропроводность частиц первой фракции – $4,4 \cdot 10^{-8}$ См/м, диэлектрическая проницаемость – $4,4 \cdot 10^{-11}$ Ф/м. Угловая частота, которая отвечает максимальной силе, для этой фракции равняется 446 рад/с. Частицы второй фракции имели удельную электропроводность $4,3 \cdot 10^{-7}$ См/м, диэлектрическую проницаемость – $7,2 \cdot 10^{-11}$ Ф/м. Угловая частота, которая отвечает максимальной силе, для этой фракции равняется 3215 рад/с [1, с.173].

Экспериментальные исследования проводились для четырехфазной системы электродов без сдвига фаз между потенциалами противоположных электродов. Величина напряжения частотой 446 рад/с равнялась величине напряжения частотой 3215 рад/с.

Результаты (рис. 4) показали высокую эффективность разделения частиц взвеси с разными электрофизическими свойствами при небольших концентрациях взвеси каждой из фракций ($X < 1\%$).

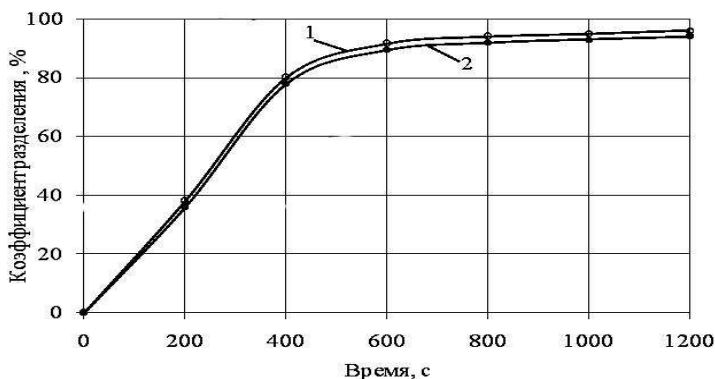


Рисунок 4 – Динамика разделения шрота подсолнечного масла в бегущем поле: 1 – фракция с влажностью 6 %; 2 – фракция с влажностью 14 %

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. В устройствах очистки периодического действия нужно применять пульсирующее электрическое поле, которое создается трехфазными системами электродов без сдвига фаз между противоположными электродами, что обеспечивает степень очистки подсолнечного масла от нежировых примесей в виде шрота 90 % за 70 с.

2. В сепараторах подсолнечного масла нужно использовать два встречно бегущих поля, которые создаются четырехфазными системами цилиндрических электродов без сдвига фаз между противоположными электродами, что обеспечивает коэффициент разделения фракций нежировых примесей 90 % за 300 с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Назаренко І. П. До питання визначення електрофізичних властивостей діелектричних суспензій / І. П. Назаренко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Вип. 11. Т. 4. Мелітополь, 2011. С. 167–175.

2. Назаренко І. П. Моделювання електричного поля багатоелектродних систем пристроїв електричної очистки та сепараторації діелектричних суспензій / І. П. Назаренко, В. Ф. Яковлев, О. І. Лобода, С. В. Петриченко // Вісник Сумського національного аграрного університету. Суми: СНАУ, 2012. Вип.3(23): Механізація та автоматизація виробничих процесів. С. 117–122.

3. Назаренко І. П. Теоретичні дослідження в засвіді електричного поля з діелектричними суспензіями в багатоелектродних системах / І. П. Назаренко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наук. фак. видання / ТДАТУ. Мелітополь, 2012. Вип. 12, т. 1. С. 35–45.

4. Назаренко І. П. Теоретичне обґрунтування геометричних параметрів багатофазних електродних систем електросепараторів слабопровідних суспензій / І. П. Назаренко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наук. фак. видання / ТДАТУ. Мелітополь, 2013. Вип. 13, т. 2. С. 75–82.

5. Эфендиев О. Ф. Электроочистка жидкости в пищевой промышленности / О. Ф. Эфендиев. М.: Пищевая промышленность, 1977. 149 с.

SEPARATION OF DIELECTRIC SUSPENSION IN THE MOVING ELECTRIC FIELD

Keywords: *electric field, cleaning, separation, suspension, electrode.*

Annotation. *The results of experimental researches on separation of sunflower-seed oil in the moving electric field are represented. The parameters of the system of tension for the feed of the systems of electrodes of separators of periodic and continuous action are determinate.*

НАЗАРЕНКО ИГОРЬ ПЕТРОВИЧ – кандидат технических наук, доцент кафедры гидравлики и теплотехники, Таврический государственный агротехнологический университет, Украина, Мелитополь, (nazarenko-64@mail.ru).

NAZARENKO IGOR PETROVICH – candidate of engineering sciences, the senior lecturer of hydraulics and heating engineering, the Tavriya State Agrotechnological University, Ukraine, Melitopol, (nazarenko-64@mail.ru).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАДИУСА КРИВИЗНЫ ЛОПАТОК РОТОРА-ВЕНТИЛЯТОРА ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ЗЕРНА

Ключевые слова: дробилка зерна, критерии оптимизации, модели регрессии, радиус кривизны, ротор-вентилятор.

Аннотация. В статье представлены результаты исследований рабочего процесса дробилки с ротором-вентилятором при измельчении зерна.

На лабораторной установке [1, с. 9], состоящей из дозатора, зерноприемника, двух материалопроводов, дробилки и осадителя (рис.1), проведены эксперименты по изучению рабочего процесса измельчения зерна.



Рисунок 1 – Общий вид лабораторной установки

Работа установки осуществляется следующим образом. Исходный материал загружался и подавался в дробилку при помощи дозатора. Необходимую подачу осуществляли заслонкой по тарифовочной таблице. Зерно из дозатора поступало в зерноприёмник и далее по гибкому пневмопроводу – на измельчение в дробилку с ротором-

вентилятором. Измельчённый материал потоком воздуха транспортировался в осадитель по гибкому пневмопроводу.

В процессе проведения экспериментальных исследований использовали различные приборы и аппаратура. Электрическую мощность, потребляемую из сети переменного тока, измеряли с помощью токоизмерительных клещей MastechMS2203. Рассев и взвешивание проб готового продукта осуществляли с помощью лабораторного рассева РЛ-1 и весов ВК-300.01.

Для определения влияния конструктивных факторов на показатели работы дробилки после проведения поисковых экспериментов реализован план Бокса – Бенкена для четырех факторов:

- x_1 – подача материала Q , кг/ч;
- x_2 – диаметр кольца ротора D_k , мм (рис. 2);
- x_3 – радиус кривизны лопаток ρ , мм (рис. 2, 3);
- x_4 – диаметр отверстий решета d_p , мм.

Подачу материала Q задавали равной 180 кг/ч (нижний уровень), 230 кг/ч (основной уровень) и 280 кг/ч (верхний уровень), исходя из максимальной пропускной способности дробилки. Диаметр кольца ротора D_k задавали равным 100, 120 и 140 мм, исходя из геометрических параметров дробильной камеры. Радиусы кривизны лопаток были приняты согласно результатам поисковых опытов 40, 50 и 60 мм для нижнего, основного и верхнего уровней варьирования. Диаметр отверстий решета d_p принимали равным 3, 4 и 5 мм.

В ходе исследований оценивалось влияние изучаемых факторов на следующие критерии оптимизации:

- качество получаемого продукта, характеризуемое: $\bar{y}_1$ – процентным содержанием целых зёрен m_1 , $\bar{y}_2$ – пылевидной фракции m_2 и $\bar{y}_3$ – остатком на сите с отверстиями диаметром 3 мм m_3 , % в готовом продукте;

- $\bar{y}_4$ – удельные энергозатраты $\mathcal{E}$, $\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т} \cdot \text{ед.ст.изм.}}$;
- $\bar{y}_5$ – степень измельчения λ ;
- $\bar{y}_6$ – средний размер измельченных частиц $d_{\text{ср}}$, мм.

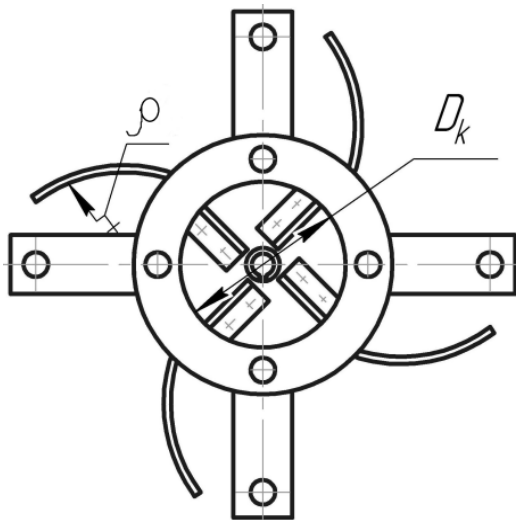


Рисунок 2 – Ротор-вентилятор

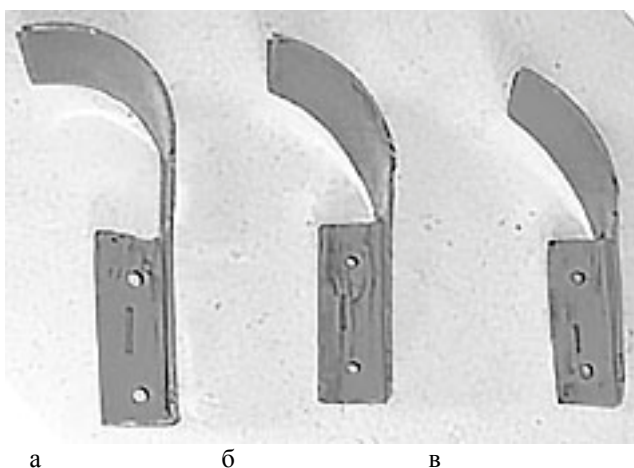


Рисунок 3 – Общий вид исследуемых лопаток ротора-вентилятора:
а – радиус кривизны 40 мм; б – радиус кривизны 50 мм;
в – радиус кривизны 60 мм

Исследования проводили на зерне ячменя сорта Эльф с эквивалентным диаметром 4,21 мм, влажностью 13...14 %.

Таблица 1 – Матрица плана и результаты эксперимента

№	Фактор				Критерий оптимизации					
	Q , кг/ч	D_k , мм	ρ , мм	d_p , мм	m_1 , %	m_2 , %	m_3 ,%	Ξ , $\frac{\text{кгм}^2}{\text{м} \cdot \text{сек}^2 \cdot \text{мм}}$	λ	d_{cp} , мм
	x_1	x_2	x_3	x_4	$\bar{y}_1$	$\bar{y}_2$	$\bar{y}_3$	$\bar{y}_4$	$\bar{y}_5$	$\bar{y}_6$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,53	6,12	1,61	2,61	1,64
2	-1,0	-1,0	0,0	0,0	1,41	0,63	4,58	2,7	2,8	1,52
3	1,0	-1,0	0,0	0,0	1,57	0,66	2,93	1,64	2,61	1,62
4	-1,0	1,0	0,0	0,0	1,55	0,64	2,47	2,47	2,7	1,57
5	1,0	1,0	0,0	0,0	1,17	0,96	4,11	2,09	2,9	1,46
6	0,0	0,0	-1,0	-1,0	2,4	0,9	7,24	2,52	2,84	1,49
7	0,0	0,0	1,0	-1,0	1,45	1,05	4,76	2,56	3,12	1,36
8	0,0	0,0	-1,0	1,0	6,08	0,37	17,24	3,79	2,22	1,92
9	0,0	0,0	1,0	1,0	11,8	0,47	34,57	5,05	1,8	2,36
10	-1,0	0,0	0,0	-1,0	1,03	1,14	3,5	3,23	3,23	1,31

Продолжение таблицы 1

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11
0,0	1,0	-1,0	1,0	-1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	-01,0	1,0
-1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	-1,0	1,0	-1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	1,0	1,0	-1,0	-1,0	1,0	1,0	-1,0	-1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
-1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	-1,0
0,9	1,15	1,49	1,79	2,13	1,73	2,04	1,22	1,52	1,6	10,2	10,1	1,06
1,48	0,04	0,06	0,48	0,53	0,52	0,04	1,01	0,5	0,53	0,28	0,25	1,79
3,04	4,09	4,75	4,68	6,69	4,23	5,23	4,41	5,46	6,12	29,57	29,56	3,4
2,35	2,55	4,33	1,55	2,68	2,75	3,32	1,79	2,11	1,61	2,33	5,7	1,66
3,29	2,92	2,87	2,8	2,61	2,87	2,8	2,82	2,66	2,61	1,87	1,77	3,36
1,29	1,45	1,47	1,51	1,62	1,47	1,5	1,5	1,59	1,64	2,27	2,27	1,26

Продолжение таблицы 1

24	0,0	1,0	0,0	-1,0	1,53	1,37	5,53	2,24	2,93	1,45
25	0,0	-1,0	0,0	1,0	12,5	0,18	36,18	4,35	1,73	2,45
26	0,0	1,0	0,0	1,0	8,24	0,55	23,56	3,48	2,05	2,07
27	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,53	6,12	1,61	2,61	1,64

После проведения опытов и обработки полученных результатов получены модели регрессии (при 95 % доверительной вероятности):

$$\bar{y}_1 = 1,6 + 4,23 \cdot x_4 - 1,24 \cdot x_2 \cdot x_4 + 1,688 \cdot x_3 \cdot x_4 + 4,045 \cdot x_4^2; \quad (1)$$

$$\bar{y}_2 = 0,53 + 0,13 \cdot x_2 - 0,133 \cdot x_3 - 0,469 \cdot x_4 + 0,301 \cdot x_4^2; \quad (2)$$

$$\bar{y}_3 = 4,8 + 11,934 \cdot x_4 - 3,778 \cdot x_2 \cdot x_4 + 4,953 \cdot x_3 \cdot x_4 + 11,218 \cdot x_4^2; \quad (3)$$

$$\bar{y}_4 = 1,81 - 0,774 \cdot x_1 + 0,845 \cdot x_4 + 0,426 \cdot x_1^2 - 0,45 \cdot x_1 \cdot x_4 + 0,685 \cdot x_3^2 + (4) \\ + 0,305 \cdot x_3 \cdot x_4 + 1,218 \cdot x_4^2;$$

$$\bar{y}_5 = 2,61 - 0,61 \cdot x_4 + 0,101 \cdot x_1^2 + 0,17 \cdot x_2 \cdot x_4 - 0,175 \cdot x_3 \cdot x_4 - 0,178 \cdot x_4^2; \quad (5)$$

$$\bar{y}_6 = 1,57 + 0,432 \cdot x_4 - 0,135 \cdot x_2 \cdot x_4 - 0,071 \cdot x_3^2 + 0,143 \cdot x_3 \cdot x_4 + 0,209 \cdot x_4^2. \quad (6)$$

При максимальных значениях подачи материала и диаметра кольца количество целых зерен, не превышающее требования ГОСТ, наблюдалось при радиусе кривизны лопаток (54...60) мм и диаметре отверстий решета (3...4) мм. При этом количество пылевидной фракции составляло (0,6...1,2) %, а остаток на сите с отверстиями диаметром 3 мм – (4...8) %. Удельные энергозатраты составляли $(1,8...2,6) \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т} \cdot \text{ед.ст.изм.}}$.

Значительное снижение пылевидной фракции наблюдалось при уменьшении диаметра кольца D_k . При фиксированных значениях $\rho = (54...60)$ мм, $d_p = (3...4)$ мм, $Q = 280$ кг/ч количество пылевидной фракции составляло для $D_k = 100$ мм – (0,3...1) %, $D_k = 120$ мм – (0,45...0,9) % (рис. 5). При этом содержание в готовом продукте целых зерен уменьшалось в два раза (рис. 4).

Значительное влияние на средневзвешенный размер готового продукта оказывает диаметр отверстий решета (рис. 6). На решете с диаметром отверстий 3 мм $d_{cp} = (1 \dots 1,3)$ мм, с диаметром отверстий 4 мм – $d_{cp} = (1,5 \dots 1,6)$ мм, с диаметром отверстий 5 мм – $d_{cp} = (2 \dots 2,3)$ мм. Но при использовании решет с диаметром отверстий 4 мм и 5 мм содержание целых зерен превышает нормы ГОСТ в 3...4 раза.

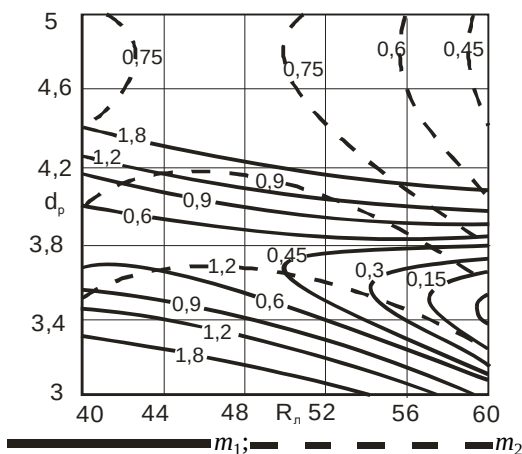


Рисунок4 – Влияние R_n и d_p на m_1 и m_2 при $D_k = 140$ мм, $Q = 280$ кг/ч

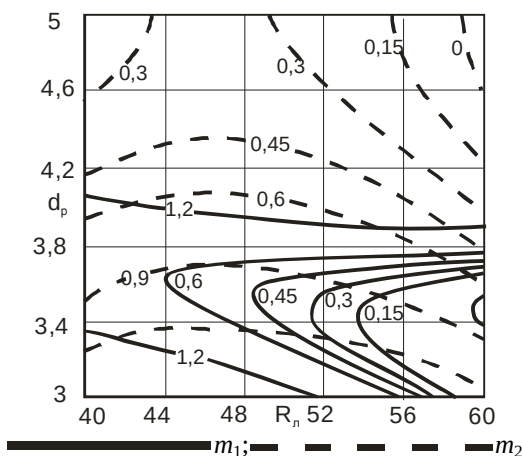


Рисунок5 – Влияние R_n и d_p на m_1 и m_2 при $D_k = 120$ мм, $Q = 280$ кг/ч

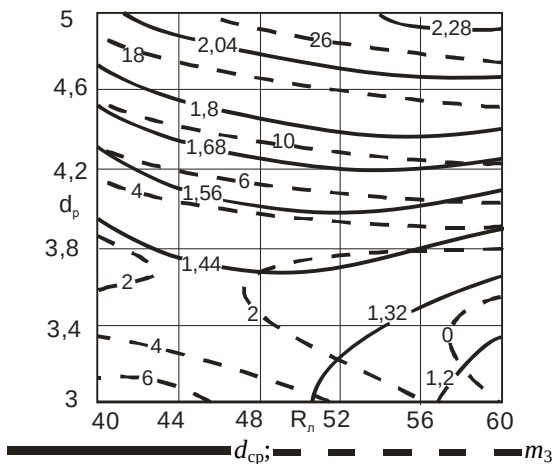


Рисунок6 – Влияние $R_{\text{л}}$ и $d_{\text{р}}$ (при $D_{\text{к}} = 120$ мм, $Q = 280$ кг/ч) на $m_{\text{з}}$ и $d_{\text{сп}}$

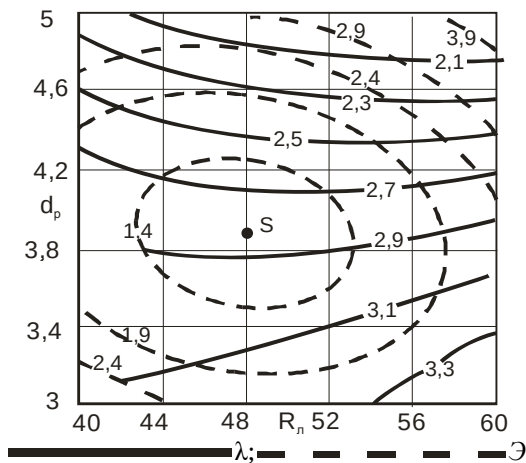


Рисунок7 – Влияние $R_{\text{л}}$ и $d_{\text{р}}$ (при $D_{\text{к}} = 120$ мм, $Q = 280$ кг/ч) на $\mathcal{E}$ и λ

По результатам проведенных исследований можно сделать выводы, что для достижения оптимальных условий рабочего процесса дробилки необходимо, чтобы диаметр кольца составлял 140 мм, радиус лопаток (50...60) мм. Подача материала должна быть максимальна. При данных значениях факторов содержание пылевидной фракции и целых зерен в готовом продукте, а также остаток на сите с диаметром

3 мм будет минимальным. При этом удельные энергозатраты, степень измельчения и средний размер готового продукта составят соответственно $(1,4...3,4) \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т} \cdot \text{ед.ст.изм.}}$, 2...3,5 и (1,2...2,3) мм в зависимости от диаметра отверстий решета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савиных П. А., Булатов С. Ю., Нечаев В. Н. Зернодробилка с ротором-вентилятором // Сельский механизатор. 2012. № 9. С. 9.

DETERMINATION OF THE OPTIMUM RADIUS OF CURVATURE ROTOR WITH FAN BLADES DURING GRAIN POUNDING

Keywords: grain crusher, rotor with fan, the radius of curvature, the regression model, the optimization criteria.

Annotation. The article presents the results of research of working process of grain crusher with rotor and fan during grain pounding.

НЕЧАЕВ ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ – преподаватель кафедры «Основы сельского хозяйства, химии и экологии», Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (osnovsh@yandex.ru).

NECHAEV VLADIMIR NIKOLAEVICH –lecturer of the chair «Bases of agriculture, chemistry and ecology», Nizhny Novgorod State Engineering and Economic Institute , Russia , Knyaginino, (osnovsh@yandex.ru).

РОМАНЫЧЕВ МИХАИЛ – студент 5 курса инженерного факультета, Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (osnovsh@yandex.ru).

ROMANYCHEV MIKHAIL – a 5th year student of engineering faculty, Nizhny Novgorod State Engineering and Economic Institute, Russia, Knyaginino, (osnovsh@yandex.ru).

КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ ФЕРМЕНТАЦИИ И ФЕРМЕНТЕРОВ

Ключевые слова: анализ, классификация, процесс, тип, ферментация, ферментеры.

Аннотация. Проведен анализ и предложена классификация существующих способов ферментации и аппаратов для их осуществления.

В процессе приготовления ферментированных кормов одной из стадий является первичная ферментация, в результате которой получают, в так называемых первичных ферментерах, жидкую рабочую закваску.

С целью выбора вида ферментации и соответствующего оборудования проведен анализ и на его основании нами классифицированы существующие виды ферментации (рис. 1) и ферментеров (рис. 2).

Ферментация – это совокупность процессов, результатом которых является культуральная жидкость [1].

Ферментация (культивирование) может протекать как в аэробных, так и в анаэробных условиях (рис. 1).

Аэробное культивирование применяют в тех случаях, когда в процессе задействованы аэробные микроорганизмы-продуценты. Аэрацию смеси осуществляют подачей воздуха или других газов через газоподводящие трубки, форсунки и т. д.

Анаэробные процессы протекают в герметичных емкостях либо посредством продувания культивируемой среды инертными газами. Конструкция ферментера при анаэробной ферментации проще, чем при аэробной.

По времени протекания процесса можно выделить следующие виды ферментации: периодическая, периодическая подпиткой, объемно-доливочная и непрерывная (рис. 1).

При периодической ферментации перед началом процесса вносятся все необходимые ингредиенты. Далее ферментер закрывают, создают оптимальные условия для протекания процесса. Ферментация

проводится определенное время. После завершения полученный продукт выгружают, чистят ферментер и далее процесс повторяется.

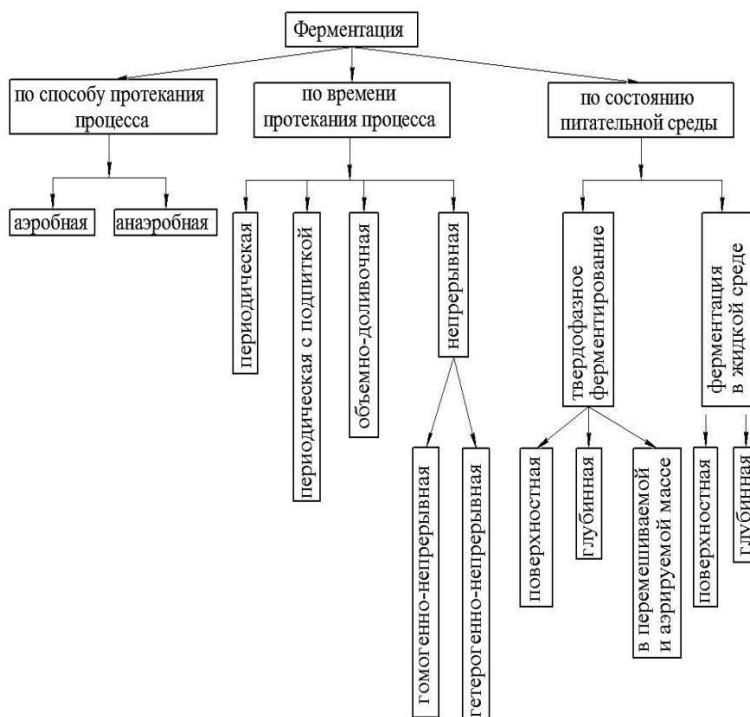


Рисунок 1 – Классификация процессов ферментации

Широкое применение получила периодическая ферментация с подпиткой. Этот процесс более контролируемый по сравнению с периодической ферментацией. Кроме того, появляется возможность регулировать скорость роста клеток.

Также нашла применение объемно-доливочная ферментация, когда часть объема из ферментера периодически изымается, а вместо нее добавляется эквивалентный объем среды. Второе название данного процесса – полунепрерывная ферментация.

При непрерывной ферментации в ферментере создаются оптимальные условия для протекания процесса, подача и вытекание питательной среды в ферментер происходит непрерывно. Такая ферментация позволяет получать большие объемы продукта.

Непрерывный процесс ферментации, в свою очередь, разделяется на гомогенный и гетерогенно-непрерывный (рис. 1).

Гомогенно-непрерывный процесс протекает в аппарате при интенсивном перемешивании и постоянных параметрах.

Гетерогенно-непрерывный процесс протекает в соединенных вместе нескольких ферментерах, причем в первый аппарат подают питательную жидкость, а готовый продукт выходит из последнего.

Ферментацию можно проводить как в жидкой, так и в твердофазной среде.

Культивирование на жидких средах можно разделить на поверхностную и глубинную ферментацию. Поверхностная протекает в кюветах со средой. Кюветы располагают в вентилируемые воздухом камеры. В результате процесса на поверхности среды образуется биомасса в виде пленки или твердого слоя.

Глубинная ферментация происходит во всем объеме жидкой среды. Данный вид ферментации осуществляется как периодическим, так и непрерывным способами.

Твердофазная ферментация, в твердой, сыпучей либо пастообразной среде влажностью от 30 до 80 % осуществляется тремя способами (рис. 1):

- 1) субстрат при поверхностных процессах располагают на подносах тонким слоем (3...7 мм);
- 2) глубинную твердофазную ферментацию проводят в глубоких открытых сосудах, субстрат при этом не перемешивают;
- 3) твердофазная ферментация производится перемешиванием в аэрируемой массе субстрата.

Несмотря на то, что в твердофазной ферментации с увеличением слоя субстрата затруднено обеспечение микроорганизмов кислородом и возникают проблемы с отводом теплоты при постоянной температуре во всей ферментационной среде, такие процессы имеют и преимущества по сравнению с ферментацией в жидкой среде: меньшие затраты на оборудование и эксплуатацию; более легкое отделение и очистка продукта; невозможность заражения культуры продуцента посторонней микрофлорой; отсутствие сбросов в окружающую среду большого количества сточных вод.

Для каждого вида процесса ферментации разработаны различные конструкции ферментеров (рис. 2).

Так, например, разработаны аппараты аэробной поверхностной ферментации, которые широко применяются для производства органических кислот. Поверхностная жидкофазная ферментация протекает в бродильных вентилируемых камерах с размещенными на стел-

лажах кюветами. В таких же камерах, но с размещенными на стеллажах лотками, в которые насыпают сыпучую твердую среду слоем 10...15 мм, проводят твердофазную ферментацию. С целью лучшей аэрации среды днище лотков выполнено перфорированным [1].

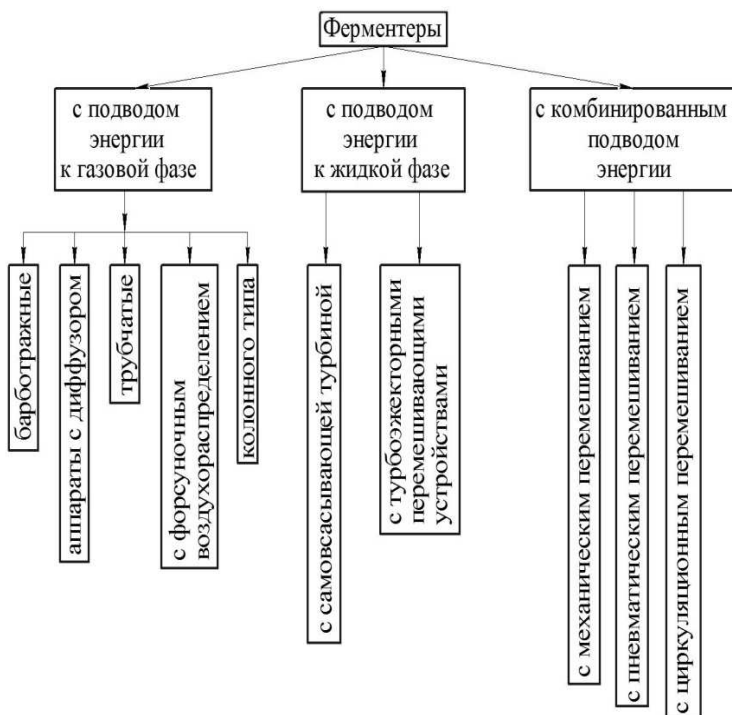


Рисунок 2 – Классификация ферментеров

С целью интенсификации массо- и энергообмена клеток со средой разработаны аппараты аэробной глубинной ферментации. Но эти аппараты имеют более сложную конструкцию.

С точки зрения конструктивных особенностей ферментеры различаются способами подвода энергии и аэрации среды [1]:

- 1) ферментеры с подводом энергии к газовой фазе;
- 2) ферментеры с подводом энергии к жидкой фазе;
- 3) ферментеры с комбинированным подводом энергии (рис. 2).

В ферментерах с подводом энергии к газовой фазе аэрация и перемешивание субстрата происходит сжатым воздухом.

К таким аппаратам относятся:

1) барботажные ферментеры. Подача воздуха в них осуществляется через барботажные устройства, которые расположены в нижней части аппарата;

2) аппараты с диффузором. Смешивание субстрата с воздухом, который поступает по распределительным трубам, в данных ферментерах происходит в нижней части аппарата посредством внутреннего цилиндра-диффузора;

3) трубчатые ферментеры. Под действием потока воздуха жидкость циркулирует по реактору и сепаратору;

4) ферментеры с форсуночным распределением воздуха. Воздух в таких ферментерах подается через форсунки, расположенные в нижней части аппаратов;

5) ферментеры колонного типа выполнены в виде цилиндрической колонны, которая разделена горизонтальными перегородками на несколько секций. В таких устройствах воздух барботирует через слой жидкости каждой тарелки, за счет движения жидкости через кольцевую щель обеспечивается противоточное движение двух фаз – газовой и жидкой.

К ферментерам с подводом энергии к жидкой фазе относятся:

1) аппараты с самовсасывающей турбиной состоят из цилиндрического диффузора и мешалки с полыми лопастями и валом. При вращении мешалки создается разрежение, которое приводит к подъему жидкости в кольцевом зазоре между диффузором и стенками аппарата с последующим ее возвращением в диффузор;

2) ферментер с турбоэжекторными перемешивающими устройствами. Эти устройства разделены вертикальными перегородками на несколько секций. В каждой секции имеется эжектор и диффузор. Перемещение жидкости из одной секции в другую происходит через окна в перегородках.

Ферментеры с комбинированным подводом энергии представляют собой цилиндрический сосуд, внутри которого расположена механическая мешалка и барботер. В аппаратах этого типа подвод энергии к газовой фазе осуществлен для аэрации, а к жидкой фазе – для перемешивания. Перемешивание в данных ферментерах осуществляется тремя способами.

Аппараты с механическим перемешиванием снабжены механической мешалкой. Аэрация осуществляется путем барботаж. С целью разбрызгивания воздуха рядом с барботером установлен механический вибратор.

Аппараты с пневматическим перемешиванием. Перемешивание и аэрацию усиливают с помощью вращающихся дисков с отверстиями или придонных пропеллеров. Такие аппараты могут быть также дополнены диффузором.

В аппаратах с циркуляционным перемешиванием жидкость циркулирует по замкнутому контуру. Движение субстрату придает насос или другое аналогичное устройство. Ферментеры выполнены в виде цилиндра.

Вывод. Проведенный анализ позволил изучить виды ферментации и типы ферментеров, а также определиться с конструкционным решением устройства для приготовления ферментированных кормов в условиях мелких (фермерских) сельскохозяйственных организаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ферментация. Типы ферментеров и биореакторов.
<http://www.agro-mashnpo.ru/alfavit/fermenter-fermentator>

CLASSIFICATION OF THE FERMENTATION PROCESS AND FERMENTS

Keywords: *analysis, classification, process type, fermentation, ferments.*

Annotation. *Article contains the analysis and proposes a classification of existing fermentation processes and devices for their implementation.*

СВИСТУНОВ АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ – аспирант, Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (kng_almas@mail.ru).

SVISTUNOV ALEXANDER IVANOVICH – aspirant, Nizhny Novgorod State Engineering and Economic Institute, Russia, Knyaginino, (kng_almas@mail.ru).

Министерство образования Нижегородской области

**Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования**

**НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

Уважаемые коллеги!

**Научный журнал «Вестник НГИЭИ»
приглашает к сотрудничеству!**

**Научный журнал «Вестник НГИЭИ» публикует статьи
по научным направлениям, экономические и технические науки.**

Условия и порядок приема рукописей

1. Редакция принимает к публикации материалы на русском языке по темам, соответствующим основным научным направлениям журнала. Научные статьи принимаются в течение года и при условии положительных результатов независимой экспертизы включаются в очередной номер журнала.

2. В журнале публикуются статьи, отличающиеся высокой степенью научной новизны, теоретической и практической значимости. В статье должны быть изложены основные научные результаты исследования. Материалы статьи должны быть оригинальными, ранее нигде не публиковавшимися. Авторами статей могут быть ученые-исследователи, докторанты, аспиранты, соискатели.

3. Авторы предоставляют рукописи в редакцию журнала на электронные адреса (ngieiipc@gmail.com и provalenova@ngiei.ru) один файл формата Microsoft Word. Файлы, инфицированные вирусами, не обрабатываются и не принимаются к опубликованию.

4. Поступившие в редакцию материалы регистрируются и в течение 3-х дней автору (авторам) по электронной почте высылается подтверждение о получении статьи.

5. Статьи, не соответствующие условиям публикации и требованиям к оформлению, не рассматриваются.

6. Если рецензия содержит рекомендации по исправлению и доработке статьи, то она направляется автору с предложением учесть ре-

комендации при подготовке нового варианта статьи. Датой поступления статьи в данном случае считается день получения редакцией окончательного варианта статьи.

7. Плата с аспирантов за публикацию статей не взимается.

Адрес редакции, издателя, типографии

606340, Россия, Нижегородская область, город Княгинино, улица Октябрьская, дом 22 а.

Требования к публикуемым статьям и их оформлению

Форматирование основного текста

1. Текст должен быть набран в Microsoft Word и сохранен в файле, только с расширением(.rtf).
2. Название файла должно состоять из фамилии первого автора и двух первых слов названия статьи (Петров В.А. Эффективность.rtf).
3. Формат страницы – А5 (книжный).
4. Поля – все по 20 мм.
5. Абзацный отступ – 0,75 см.
6. Шрифт – Times New Roman,обычный; размер кегля (символов) – 10 пт.
7. Межстрочный интервал – одинарный.
8. Номер страницы располагается внизу от центра.

Объем статьи

От 0,5 до 1,0 авторского (учетно-издательского) листа – 20–40 тыс. знаков (с пробелами).

Требования и структура публикуемой статьи

Публикуемая в журнале статья должна состоять из следующих последовательно расположенных элементов:

1. Индекс универсальной десятичной классификации (УДК) – слева, обычным шрифтом; индекс УДК должен соответствовать заявленной теме; если тема комплексная, то используются несколько индексов УДК разделенных (:).
2. Инициалы автора (авторов) и фамилия (фамилии) – по центру, прописными буквами, курсивом (на русском языке). Авторы перечисляются в алфавитном порядке.
3. Заголовок (название) статьи – по центру, полужирным шрифтом прописными буквами (на русском языке), отступив одну строку от

Ф.И.О. автора (авторов); название статьи не должно иметь знаков переноса слов.

4. Ключевые слова (5–10) курсивом (на русском за исключением самого словосочетания «**Ключевые слова:**», которое пишется полужирным шрифтом и курсивом. Ключевые слова и словосочетания перечисляются в алфавитном порядке.

5. Аннотация (до 500знаков) курсивом (на русском языке) за исключением самого слова «**Аннотация.**», которое пишется полужирным шрифтом и курсивом.

6. Текст статьи.

7. Литература – отделяется одной строкой от основного текста статьи и пишется прописными буквами «ЛИТЕРАТУРА».

8. Заголовок (название) статьи (на английском языке) – прописными буквами, жирным шрифтом, по центру; через одну пустую строку от литературы.

9. Ключевые слова (5–10) курсивом (на английском языке) за исключением самого словосочетания «**Keywords:**», которое пишется полужирным шрифтом и курсивом; через одну пустую строку от названия статьи (на английском языке).

10. Аннотация (до 500знаков) курсивом (на английском языке) за исключением самого слова «**Annotation.**», которое пишется полужирным шрифтом и курсивом; через одну пустую строку от ключевых слов (на английском языке).

11. Сведения об авторе (на русском языке) – фамилия, имя, отчество пишется полностью прописными буквами и жирным шрифтом, через тире (–) строчными буквами указывается научная степень, научное звание, должность, место работы, страна, город, электронный адрес, телефон.

12. Сведения об авторе (на английском языке) – фамилия, имя, отчество пишется полностью прописными буквами и жирным шрифтом, через тире (–) строчными буквами указывается научная степень, научное звание, должность, место работы, страна, город, электронный адрес, телефон.

Литература

Литература оформляется в алфавитном порядке по Госту 2008 в виде затекстовых сносок (на каждый источник должна быть ссылка).

Рисунки, схемы, диаграммы, фотографии

Иллюстрации должны быть четкими и только черно-белыми. Шрифт в иллюстрациях должен быть сопоставим с 10 размером. Ил-

люстрациям присваивается порядковый номер, подписываются словом «Рисунок – ». Название рисунка пишется по центру, обычным шрифтом и строчными буквами, кроме прописной в первом слове.

Таблицы

Название таблицы пишется по центру после самого слова «Таблица – » с указанием ее порядкового номера. Название таблицы пишется обычным шрифтом и строчными буквами, кроме прописной в первом слове.

Одновременное использование таблиц и графиков (рисунков) для изложения одних и тех же результатов не допускается.

Формулы

Набор формул осуществляется только в текстовом редакторе Microsoft Equation.

Нумерация формул – сквозная, арабскими цифрами, справа в конце строки, в круглых скобках.

Размер символов в формуле должен соответствовать 10 размеру основного текста.

УДК 631.1.017

С. А. СУСЛОВ

**ОПТИМАЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ
ПОСЕВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР
В АГРОРАЙОНАХ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Ключевые слова: группировка, оптимизация, посевная площадь, экономико-математическая модель.

Аннотация. Проведена группировка сельскохозяйственных организаций по посевной площади зерновых культур. Выявлены наиболее экономически эффективные организации по агроклиматическим районам в зависимости от размера посевных площадей. На основе линейной оптимизации определен эффект от лучшего сочетания организаций по размерам землепользования.

Одним из актуальных вопросов сельского хозяйства является установление в организациях оптимальных размеров землепользования, которые влияют на размер всего сельскохозяйственного производства, а именно: объем капитальных вложений, денежно-материальные затраты, транспортные расходы, концентрация и специализация, эффективность управления и т. д.

Земля – это единственный не заменимый фактор сельскохозяйственного производства, обладающий неподвижностью, а следовательно, наибольшей устойчивостью. К тому же процессы концентрации и интенсификации производства отражаются прежде всего на земле путем повышения ее плодородия.

Установление оптимальных размеров посевных площадей вносит устойчивость в землепользование организаций, так как неизменность ее границ является первой и главной предпосылкой рациональной организации производства, а именно ведения и освоения правильных севооборотов, систем земледелия и животноводства [1, с. 17].

На размеры организаций и их производственных подразделений оказывают влияние многие факторы – природные, экономические, технические, организационные и другие. Каждый из них действует не разрозненно, а в сочетании друг с другом и нередко в противополож-

ном направлении: одни влияют в направлении укрупнения размеров землепользования, другие, напротив, – в сторону уменьшения этих размеров. Это усложняет определение роли факторов в нахождении оптимальных размеров [2, с. 28].

Таблица 1 – Климатическая характеристика агрономических районов Нижегородской области

Агрономический район	Сумма положительных температур	Продолжительность безморозного периода, дней
Северо-Восточный (I)	1800–1900	120–125
Центральный левобережный (II)	1900–2000	130–135
Приречный почвозащитный (III)	2000–2100	130–135
Пригородный (IV)	2100–2150	130–135
Центральный правобережный (V)	2150–2200	135–140
Юго-Западный (VI)	2200–2250	135–140
Юго-Восточный (VII)	2250–2300	135–140

Вследствие этого была проведена группировка сельскохозяйственных организаций внутри каждого агрорайона. Группировочным признаком выступила посевная площадь зерновых культур, занимающих доминирующее место в структуре посевов (табл. 2). Размер групп в каждом агрорайоне определялся по методу равных интервалов.

Для определения эффекта от оптимизации размеров посевных площадей по агрорайонам была составлена экономико-математическая модель. Цель задачи – определить структуру организаций с оптимальными размерами посевных площадей по агрорайонам, обеспечивающую максимум прибыли от продажи продукции.

$$Z = \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} R_{jk} X_{jk} \rightarrow \max ,$$

где j – индекс переменной; J – множество переменных по размерам организаций; K – множество агрорайонов; R_{jk} – прибыль (убыток) от реализации сельскохозяйственной продукции j-го размера организаций k-го агрорайона; X_{jk} – количество организаций j-го размера в k-ом агрорайоне.

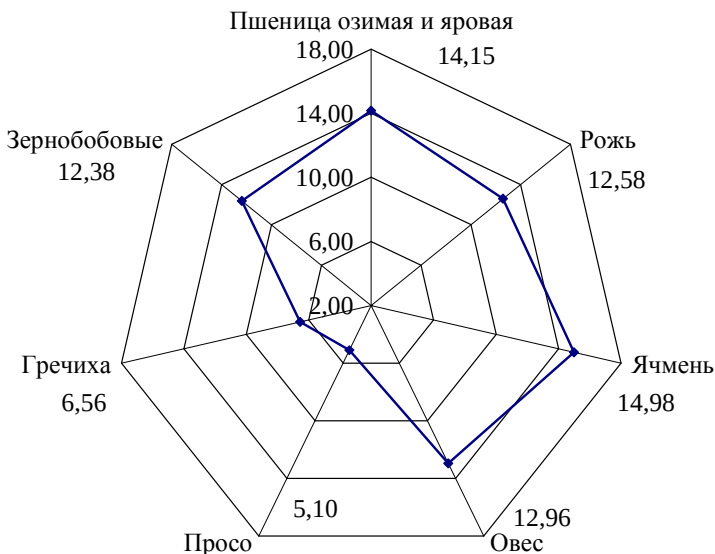


Рисунок 1 – Средняя урожайность зерновых культур за 1995–2000 год, ц с га

Проведение исследования в целом по области, без разбивки организаций по агрорайонам, и установление единых границ в группировках не позволило бы выявить, где в регионе сконцентрированы крупные, средние и мелкие организации и в каких природно-климатических условиях эффективность каждой выше. Вследствие этого при проведении экономических исследований по оптимальным размерам землепользования нужно учитывать весь комплекс факторов, влияющих на функционирование организаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бородин И. А. Концентрация производства и оптимальные размеры сельскохозяйственных предприятий. М.: Издательство «Знание», 1966. 76 с.
2. Социально-экономические проблемы устойчивого развития сельских территорий: монография / Под ред. проф. А. Е. Шамина. Княгинино: НГИЭИ, 2011. 256 с.
3. Сулов С. А., Шамин А. Е. Повышение экономической эффективности производства и переработки зерна: монография. Княгинино: НГИЭИ, 2010. 192 с.

THE OPTIMUM SIZES OF AREAS UNDER CROPS OF GRAIN CROPS IN AGROAREAS OF THE NIZHNIY NOVGOROD REGION

Keywords: *optimization, an area under crops, grouping, economic-mathematical model*

Annotation. *The grouping agricultural organizatsy on an area under crops of grain crops is spent. Are revealed most ekonomicheskies the effective organizations on agroclimatic areas, in forvisimosti from the size of areas under crops. On the basis of linear optimizatsii the effect from the best combination of the organizations, on the sizes of land tenure is defined.*

СУСЛОВ СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и статистики, Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (nccmail4@mail.ru), тел. 89512458566.

SUSLOV SERGEI ALEKSANDROVICH – candidate of economics sciences, the senior lecturer of chair of economy and statistics, the Nizhniy Novgorod state engineering-economic institute, Russia, Knyaginino, (nccmail4@mail.ru), тел. 89512458566.
